

**50-я научная конференция МФТИ**  
**Факультет проблем физики и энергетики**  
**Секция физики высоких плотностей энергии**

---

УДК 533.72

*Дракон А.В.*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

**Неравновесные эффекты при росте железных  
кластеров**

Данная работа посвящена исследованию неравновесного излучения и ионизации, возникающих при быстрой конденсации пересыщенного пара железа и росте наночастиц. Для создания пересыщенного пара использовался пиролиз пентакарбонила железа  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  за ударными волнами.

Эксперименты проводились в ударной трубе стандартной конструкции. Прохождение ударной волны и последующее формирование железных наночастиц наблюдалось путём регистрации сигнала экстинкции на длине волны 632 нм. Временноразрешённые спектры неравновесного излучения области за фронтом ударной волны были получены с помощью высокоскоростной ССД камеры, оснащённой светосильным внешним спектрографом. Кроме того, с помощью ФЭУ, оснащённого интерференционным фильтром, регистрировались временные профили излучения исследуемой среды на длине волны  $615 \pm 10$  нм. Пространственное разрешение этих измерений составляло около 2 мм, что соответствовало временному разрешению в диапазоне 1–3 мкс.

Для наблюдения неравновесной ионизации формирующихся железных кластеров ударная труба была оборудована пристеночными зондами специальной конструкции. Калибровочные эксперименты, проведённые в аргоне, содержащем естественную примесь натрия, показали, что зонды обладают достаточным для поставленных задач временным разрешением ( $\sim 5$  мкс) и позволяют осуществлять измерение концентраций свободных электронов в диапазоне  $10^8$ – $10^{12}$   $\text{см}^{-3}$ .

Были проведены несколько серий экспериментов при сравнительно низкой интенсивности ударных волн (числа Маха 2–4) и варьировании газа-разбавителя (аргон-гелий) и концентрации ПКЖ (0,1–2%). Равновесная температура за ударной волной при такой постановке эксперимента составляла менее 1600 К, что исключало возможность возникновения равновесного излучения и ионизации как исследуемой среды, так и каких-либо примесей. Тем не менее в экспериментах при прохождении ударной волны регистрировались пики излучения и концентрации электронов.

Зарегистрированный в эксперименте спектр неравновесного излучения располагается в области 400–700 нм и имеет сплошную природу, что является свидетельством

сложной структуры излучающих молекул. В соответствии с результатами предыдущих исследований формирования углеродных кластеров [1] было предположено, что излучение возникает при быстрой конденсации пара железа. Была предложена кинетическая модель, описывающая формирование возбужденных кластеров. За основу принята развитая в [2] модель, в которую добавлены блоки реакций, описывающие формирование возбужденных кластеров и их тушение в столкновениях с атомами несущего газа. Ограничивая рассмотрение простейшим случаем и предполагая, что за возникновение излучения ответственны только возбужденные димеры  $\text{Fe}_2^*$ , можно получить зависимость пиковой интенсивности излучения от концентрации ПКЖ и оценить соответствие предложенной модели экспериментальным данным, что и было осуществлено. Нормированные соответствующим образом экспериментальные точки хорошо описываются линейной зависимостью в бoльцмановских координатах. Эффективная энергия активации процесса составляет около 1,1 эВ, что согласуется с данными об энергии активации константы скорости диссоциации ПКЖ.

Следует подчеркнуть, что характерные времена образования наночастиц в условиях ударно-трубного эксперимента, определённые из сигнала экстинкции и подтвержденные расчётом с использованием развитой кинетической модели, составляют менее 1 мкс, что не позволяет разрешить зону их формирования какой-либо диагностикой и получить данные о кинетике формирования возбужденных наночастиц в явном виде.

Результаты данной работы позволяют заключить, что неравновесное возбуждение электронных состояний формирующихся наночастиц является основным механизмом, ответственным за возникновение излучения и ионизации, наблюдавшихся ранее за ударными волнами, распространяющимися в инертных газах с примесью карбониллов металлов [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагнер Х.Г., Денне Й., Емельянов А.В., Еремич А.В., Заслонко И.С., Шумова В.В. Сверхравновесное возбуждение радикалов  $\text{C}_2$  при термическом распаде  $\text{C}_3\text{O}_2$  // ДАН. Химия. — 2001. — Т. 379, № 1. — С. 63–68.
2. Giesen A., Kovalik A., Roth P. Iron-atom condensation interpreted by a kinetic model and a nucleation model approach // Phase Transitions. — 2004. — V. 77, №. 1, 2. — P. 115129.
3. Ахмадов У.С., Заслонко И.С., Смирнов В.Н. Кинетика конденсации паров железа в ударных волнах // Хим. физика. — 1989. — Т. 8, № 10. — С. 1400.

---

Представленная выше версия доклада является ознакомительной.

Версию доклада, предназначенную для печати, можно найти в факультетском сборнике трудов конференции. Электронные материалы конференции публикуются по адресу [http://www.mipt.ru/nauka/conf50/plen\\_sections/](http://www.mipt.ru/nauka/conf50/plen_sections/)