

Для рассмотренных условий были отобраны регистрации профилей температуры в приводном слое воздуха и получены оценки плотности потока контактного тепла q_k . Величины этих потоков достигали значений до 200 Вт/м². Это значит, что при условии, когда температура воздуха больше температуры воды, суммарный поток тепла может быть направлен от воздуха в воду, если поток тепла на испарение много меньше интенсивности контактной теплопередачи. Этот случай, когда на поверхности воды существует теплый слой воды, может реализоваться в специфических условиях лаборатории, тогда как в условиях открытого моря такого рода профили наблюдаются редко. В отличие от лабораторных условий в открытом море больший вклад в суммарный поток тепла дает испарение и эффективное излучение поверхности моря [2]. Интенсивное испарение, эффективное излучение и малый контактный теплообмен — все это формирует в условиях открытого моря холодную пленку, и суммарный поток, как правило, оказывается направленным от воды в воздух.

Таким образом, наиболее приближенными к условиям открытого моря и малооблачной погоды в лабораторных исследованиях относятся случаи, когда температура воздуха ниже температуры воды, а суммарный поток тепла направлен в воздух.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Андреев Е. Г., Гуров В. К., Хунджуа Г. Г. В кн.: Теплообмен V. Т. 10. Киев, 1976, с. 94—97. [2] Андреев Е. Г., Пыркин А. Ю. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1982, 23, № 3, с. 72.

Поступила в редакцию
06.04.83

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1984, т. 25, № 1

УДК 533.6.011.72

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ СИЛЬНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН В АРГОНЕ

Суфиан Аслам (Пакистан), А. П. Рязин
(кафедра молекулярной физики)

При экспериментальных исследованиях структуры сильных ударных волн (УВ) и процессов течения ударно нагретого газа неоднократно отмечались различные особенности: нарушение плоской формы фронта УВ в ударной трубе, возникновение вспышек свечения за фронтом, немонотонное распределение плотности и концентраций электронов в релаксационной зоне, возникновение «предвестников» перед УВ и др. [1—7].

В последние годы были опубликованы результаты систематических экспериментальных исследований неустойчивостей в УВ и неустойчивости течения за ними в аргоне, криптоне, ксеноне, углекислом газе, фреоне (см. [1] и цитированные там работы). Было обнаружено следующее: возникновение неустойчивостей в УВ носит пороговый по скорости и начальному давлению характер; УВ с нестабильной структурой фронта соответствуют как немонотонным, так и монотонным участкам равновесной адиабаты Гюгонио (Ar, Kr, Xe, CO₂).

Эксперименты, проведенные в аргоне и ксеноне, показали, что: а) в аргоне при начальном давлении $p_1 = 5$ Тор и числе Маха УВ $M \sim 17$

возникали регулярные возмущения релаксационной зоны, которые существенно уменьшались при введении малой примеси водорода; б) при тех же условиях в аргоне у стенок ударной трубы протяженность зоны релаксации значительно меньше, чем в центре; в) замена материала стенки (покрытие стенки из нержавеющей стали жидким стеклом) приводила к устранению пристеночных возмущений перед фронтом УВ в ксеноне.

Однако для объяснения наблюдаемых и выявления новых особенностей УВ существующих экспериментальных данных оказывается недостаточно. Особенно это относится к УВ с минимальными значениями времен релаксации ионизации.

В связи с этим в настоящей работе изучалось изменение структуры УВ в аргоне при увеличении их интенсивности для начальных давлений 3 и 25 Тор в диапазонах скоростей соответственно $6 \div 8,5$ и $3,5 \div 6,2$ км/с.

УВ формировалась в ударной трубе с камерой низкого давления квадратного сечения и стороной 27 мм. Скорость УВ измерялась с помощью ионизационных датчиков с точностью 3%. Применялась интерферометрическая методика. Использовались интерферометр Маха—Цендера и ждущий фоторегистратор. Фоторазвертка интерференционной картины распространения УВ регистрировалась в сечении, перпендикулярном оси ударной трубы, на расстоянии 1,5 м от диафрагмы. Скорость перемещения изображения по пленке составляла 1,8 мм/мкс. При этом достигалась разрешающая способность по времени 0,05 мкс и по пространству 0,2 мм. В опытах регистрировалось также собственное излучение газа из области УВ.

Для начального давления $p_1 = 25$ Тор при увеличении скорости УВ от 3,5 до 5 км/с наблюдается постепенное сокращение зоны ионизационной релаксации с сохранением одномерного характера течения за фронтом. В диапазоне скоростей $5,4 \pm 0,4$ км/с происходит качественное изменение структуры УВ (искривление и расслоение фронта, возникновение больших градиентов плотности внутри ударно нагретой области). Распределение интенсивности излучения в области за фронтом не является монотонным, что, по-видимому, свидетельствует о немонотонном распределении плотности и скорости течения за фронтом волны. При скоростях УВ выше 5,8 км/с структура ударного фронта стабилизируется. Максимальное значение плотности и электронных концентраций достигается за время $\sim 10^{-7}$ с. За фронтом устанавливается квазистационарное состояние, временная продолжительность которого ~ 3 мкс. По истечении этого времени происходит резкое уменьшение плотности и электронных концентраций (рис. 1, $p_1 = 25$ Тор, $v = 6$ км/с).

Отметим, что качественные структурные изменения происходят в диапазоне скоростей, соответствующем кинетической энергии частиц набегающего потока, равной примерно половине энергии электронного возбуждения атомов Аг.

Аналогичные изменения структуры УВ происходят с увеличением ее интенсивности и при $p_1 = 3$ Тор, однако переходная область в этом случае сдвигается в сторону больших значений скоростей. Так, качественно новая структура УВ с ярко выраженным квазистационарным состоянием за фронтом наблюдается для скоростей выше 8 км/с. Длительность квазистационарного состояния составляет $\sim 0,3$ мкс и сопровождается интенсивной вспышкой (рис. 2, $p_1 = 3$ Тор, $v = 8,5$ км/с). При этом структура УВ характеризуется расслоением ударно нагретой области на две зоны, которым соответствует двугорбое распределение плотности и электронных концентраций за фронтом.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили установить существование двух различных структур УВ. При малых значениях скоростей (для Аг при $p_1=25$ Тор от 3 до 5 км/с) УВ характеризуется двухступенчатым сжатием (на трансляционном фронте и в конце зоны релаксации) и дальнейшим монотонным изменением плотности и электронной концентрации. В области больших скоростей (больше 5,8 км/с при $p_1=25$ Тор) для УВ характерно одно- или двухступенчатое сжатие

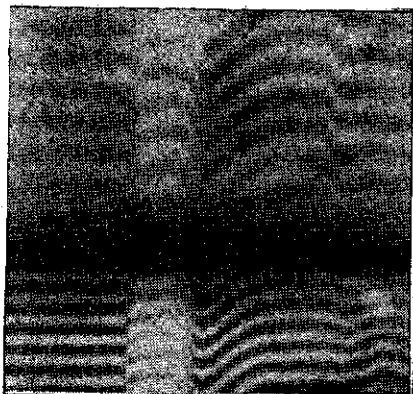


Рис. 1

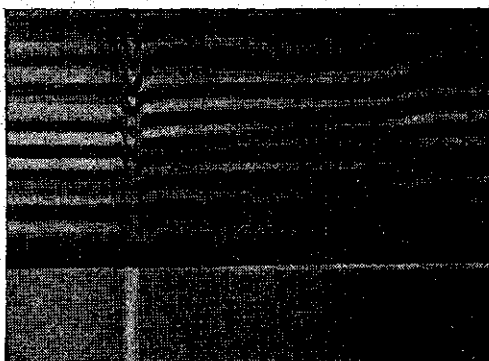


Рис. 2

и дальнейшее немонотонное изменение плотности и электронной концентрации вдоль ударно нагретой области. Причем переход через минимум плотности и электронной концентрации происходит достаточно резко и имеет характер «фронта» волны разрежения внутри ударно нагретой области. Высокая скорость ионизации, образование излучающей квазистационарной зоны, прилегающей к фронту, наличие минимума плотности и концентрации электронов внутри ударно нагретой области свидетельствуют об изменении механизма ионизации и рекомбинации в потоке за фронтом УВ. Такой режим течения является устойчивым, и он, по-видимому, типичен для интенсивных УВ. В промежуточной области скоростей реализуется нестабильный режим с неоднородными возмущениями перед и за фронтом.

В заключение авторы выражают благодарность А. И. Осипову за интерес к работе и полезные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мишин Г. И. и др. ЖТФ, 1981, 51, № 11, с. 2315. [2] Griffiths P. W., Sandeman R. J., Hornung H. G. J. Phys. D: Appl. Phys., 1976, 9, N 12, p. 1681. [3] Glass I. I., Liu W. S. J. Fluid. Mech, 1978, 84, N 1, p. 55. [4] Glass I. I., Liu W. S., Tang F. C. Canad. J. Phys., 1977, 55, p. 1269. [5] Белькасем Ф. Канд. дис. МГУ, 1979. [6] Тумакаев Г. К., Масленников В. Г., Серова Е. В. Письма в ЖТФ, 1980, 6, с. 354. [7] Рязин А. П. Письма в ЖТФ, 1980, 6, с. 516.

Поступила в редакцию
14.04.83