

А. Е. ВОЙТЕНКО, И. Ш. МОДЕЛЬ, И. С. САМОДЕЛОВ

## ЯРКОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА УДАРНЫХ ВОЛН В КСЕНОНЕ И ВОЗДУХЕ

(Представлено академиком Я. Б. Зельдовичем 1 XI 1965)

При наблюдении свечения сильных ударных волн в газах было установлено, что яркостная температура фронта волны существенно ниже расчетных значений. Так, в работе одного из авторов (1) измеренные фотографическим способом температуры аргона, криптона и ксенона в ударной волне при скорости фронта 17 км/сек оказались в 2—3 раза ниже расчетных. Объяснение этого явления, развитое в работах Я. Б. Зельдовича и Ю. П. Райзера (2—6), заключается в экранировании свечения слоем газа, расположенного перед фронтом ударной волны,—

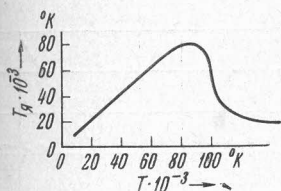


Рис. 1

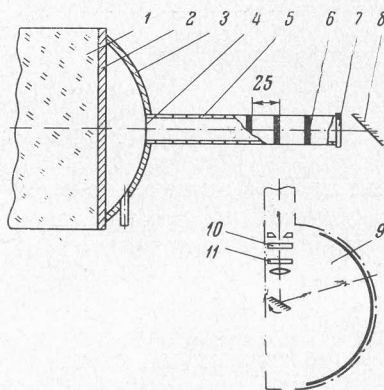


Рис. 2

Рис. 1. Зависимость яркостной температуры поверхности фронта ударной волны в воздухе от истинной температуры за фронтом (для красного света) (5, 6)

Рис. 2. Схема опыта по измерению скорости и температуры фронта ударной волны в газе (без соблюдения масштаба). 1 — заряд взрывчатого вещества с плоским фронтом детонационной волны; 2 — пластина (алюминий толщиной 1,5 мм); 3 — камера (сферический сегмент); 4 — диафрагма (слюда толщиной 15  $\mu$ ); 5 — стеклянная трубка; 6 — реперные метки; 7 — окно (стекло толщиной 2 мм); 8 — зеркало; 9 — фоторегистратор СФР (условно повернут на 90°); 10 — нейтральный светофильтр; 11 — красный светофильтр

исходящий от фронта поток излучения, поглощаясь в прилегающем к фронту слое газа, нагревает его и делает непрозрачным.

Из теоретического рассмотрения следует, что по мере увеличения амплитуды волны рост яркостной температуры, измеренной в области спектра, в которой газ прозрачен, отстает от истинной температуры за фронтом. После достижения определенной амплитуды яркостная температура снижается до некоторого предельного значения и дальнейшее увеличение амплитуды ударной волны не приводит к заметному изменению яркостной температуры. Вид зависимости яркостной температуры фронта ударной волны в воздухе от истинной температуры за фронтом, полученный из теоретических оценок (5, 6), изображен на рис. 1. Надо

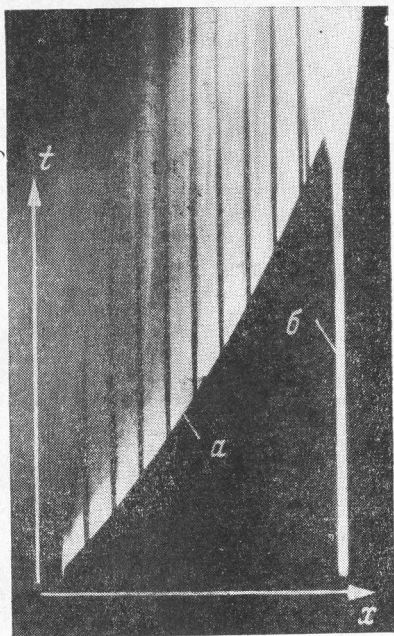


Рис. 3. Фотохронограмма опыта

бочем газе, заполняющем трубку 5, сильную ударную волну. Различная начальная скорость ударной волны достигалась изменением радиуса кривизны камеры 3. Максимальная скорость ударной волны составляет 37 км/сек при наполнении трубки ксеноном и 43 км/сек при наполнении воздухом ( $P_0 = 760$  мм).

Регистрация осуществлялась целевым фоторегистратором 9 типа СФР (8) через красный светофильтр КС-14 на фотопленке Изопанхром 180 ед. ГОСТ. В поле зрения прибора находились трубка 5 и зеркало 8, с помощью которого через окно 7 наблюдалось свечение фронта. Ось вращения зеркала фоторегистратора располагалась параллельно трубке. Типичная фотохронограмма процесса распространения ударной волны приведена на рис. 3. Скорость движения фронта в различные моменты времени определялась по наклону кривой *a*, представляющей собой развертку во времени распространения ударной волны вдоль трубки, а температура — по плотности почернения фотопленки в соответствующих точках полосы *б* путем сравнения с почернением фотопленки от эталонного источника с известной яркостной температурой. В качестве эталонного источника применялась ксеноновая лампа ИФК-50 (9), яркостная температура кото-

полагать, что и для других газов качественный характер зависимости должен иметь аналогичный вид.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное установление зависимости яркостной температуры от амплитуды волны. В качестве рабочих газов были выбраны ксенон — поскольку за ударным фронтом в тяжелых инертных газах при той же скорости волны достигается более высокая температура, — и воздух, для которого имеется возможность сравнить полученные результаты с теоретическими оценками. Для измерения температуры и скорости ударной волны использовалась методика, аналогичная описанной в работе (4). Схема опытов изображена на рис. 2. Ударная волна большой амплитуды создавалась с помощью устройства, разработанного одним из авторов (7). Разгоняемая продуктами взрыва заряда 1 пластина 2 сжимает находящийся в полусферической камере 3 газ (водород,  $P_0 = 760$  мм рт. ст.), который прорывает диафрагму 4 и возбуждает в ра-

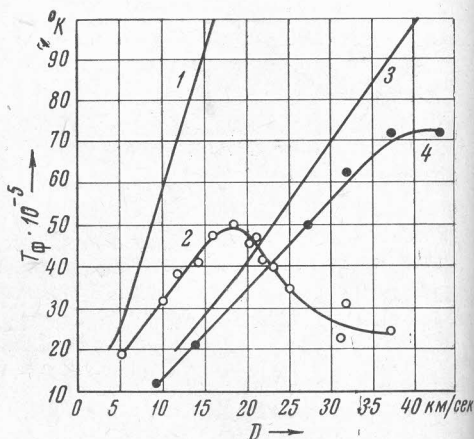


Рис. 4. Зависимость температуры от скорости ударной волны в ксеноне и воздухе ( $P_0 = 760$  мм рт. ст.). 1 — температура за фронтом в ксеноне (теоретическая); 2 — яркостная температура поверхности фронта в ксеноне (экспериментальная); 3 — температура за фронтом в воздухе (теоретическая); 4 — яркостная температура поверхности фронта в воздухе (экспериментальная)

рой в использованном спектральном интервале ( $\lambda_{эфф} = 650$  м $\mu$ ) состав-  
ляла  $6300 \pm 200^\circ \text{K}$  <sup>(10)</sup>.

Результаты измерений представлены на рис. 4. Там же приведены значения температуры за фронтом ударной волны. Температура в ксено-  
не рассчитана из уравнений газодинамики с учетом ионизации и излу-  
чения <sup>(1)</sup>, значения для воздуха взяты из работы В. В. Селиванова и  
И. Я. Шляпнитоха <sup>(11)</sup>. Каждая экспериментальная точка рис. 4 есть  
среднее арифметическое из четырех опытов. Среднеквадратичная ошиб-  
ка результата измерения температуры составляет приблизительно  $\pm 15\%$ .

Для ксенона удалось проследить переход яркостной температуры че-  
рез максимум  $T_{\text{макс}} \simeq 50\,000^\circ \text{K}$  при  $D = 18$  км/сек \* и спад до темпе-  
ратуры  $T_{\text{пред}} \simeq 23\,000^\circ \text{K}$  при дальнейшем увеличении амплитуды вол-  
ны. Максимальная яркостная температура воздушной ударной волны  
 $T_{\text{макс}} \simeq 72\,000^\circ \text{K}$ , зарегистрированная в наших опытах, соответствует  
скорости  $D = 43$  км/сек. К сожалению, использованные для создания  
ударных волн устройства не позволяют получить большей скорости.  
Лишь в одном из опытов, который не удалось воспроизвести, была достиг-  
нута скорость 55 км/сек. Соответствующая этой скорости яркостная тем-  
пература приблизительно  $25\,000^\circ \text{K}$  удовлетворительно согласуется с рас-  
четной оценкой Ю. П. Райзера.

Поступило  
22 IX 1965

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> И. Ш. Модель, ЖЭТФ, 32, в. 4, 714 (1957). <sup>2</sup> Я. Б. Зельдович, ЖЭТФ, 32,  
в. 5, 1126 (1957). <sup>3</sup> Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, УФН, 63, в. 3, 613 (1957).  
<sup>4</sup> Ю. П. Райзер, ЖЭТФ, 32, в. 6, 1528 (1957). <sup>5</sup> Ю. П. Райзер, ЖЭТФ, 33, в. 1,  
101 (1957). <sup>6</sup> Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер, Физика ударных волн и высоко-  
температурных гидродинамических явлений, М., 1963. <sup>7</sup> А. Е. Войтенко, ДАН,  
158, № 6, 1278 (1964). <sup>8</sup> Г. Л. Шнирман, А. С. Дубовик, П. Л. Кевлишвили,  
Высокоскоростная фоторегистрирующая установка СФР, Изд. Инст. технико-эконо-  
мической информации АН СССР, 1957. <sup>9</sup> И. С. Маршак, Приборы и техн. эксп.,  
№ 3, 5 (1962). <sup>10</sup> А. Е. Войтенко, Ф. О. Кузнецов, И. Ш. Модель, Приборы  
и техн. эксп., № 6, 121 (1962). <sup>11</sup> В. В. Селиванов, И. Я. Шляпнитоха, ЖФХ,  
32, в. 3, 670 (1958).

\* Расхождения между значениями температуры при скорости  $D = 18$  км/сек в  
настоящей работе и статье <sup>(1)</sup> объясняются использованием окон из различных ма-  
териалов. Как выяснилось, применявшиеся ранее окна из органического стекла под  
действием исходящего от фронта излучения теряют прозрачность, что приводит к  
занижению измеряемой температуры.