

## РАДИОЭХО ОТ ОБЛАСТИ ВЗРЫВА

*В.А.Вельми, Ю.А.Медведев, Б.М.Степанов*

Вопрос об особенностях радиоотражений радиоволн сантиметрового диапазона от области взрыва имеет ряд практических приложений и кроме того представляет интерес и с чисто физической точки зрения, с одной стороны, в связи с тем, что при экспериментальном изучении можно ожидать проявления целого ряда физических эффектов, происходящих при взаимодействии радиоволн с движущимся телом как с резкой, так и с размытой границей, материальные параметры которого меняются с течением времени, непрерывно проходя спектр состояний от проводника до диэлектрика, с другой, из-за возможности определения параметров явления по характеристикам радиоотражений.

Прежде всего возникает вопрос о том, до каких пор сильная ударная волна отражает падающее радиоизлучение как идеально отражающее тело. Предварительная грубая оценка дает, что это произойдет при температуре фронта ударной волны порядка единиц тысяч градусов, однако точная оценка затруднена из-за ограниченности надежных данных по ионизационным процессам при этих температурах, в связи с чем были выполнены описываемые ниже эксперименты со сферическими ударными волнами взрыва конденсированных *ВВ*.

В опытах использовались сферические заряды типа ТГ 50/50 (50% тротила, 50% гексогена) массой 52 г, подрываемые в центре капсюлем-детонатором электрическим способом. Область взрыва непрерывно облучалась параболической антенной с шириной диаграммы направленности  $\sim 10^\circ$ , расположенной на расстоянии 113 см от центра взрыва, на длине волны  $\lambda = 3,2$  см. Эта же антенна принимала отраженный от области взрыва в обратном направлении сигнал, который после детектирования и двухкаскадного усиления регистрировался осциллографом С1-33. В целом применявшаяся схема измерений не содержит принципиальных отличий от описанной в [1] компенсационной схемы. Отметим, что полностью компенсировать измерительную схему практически невозможно, так что она допускает сложение отраженного и сильно ослабленного (до  $15 + 20\%$  от амплитуды отраженного) прямого сигнала и регистрацию огибающей суммарного сигнала.

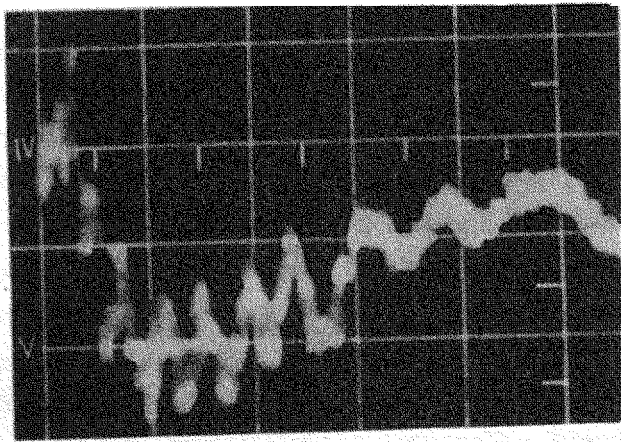


Рис. 1, а.

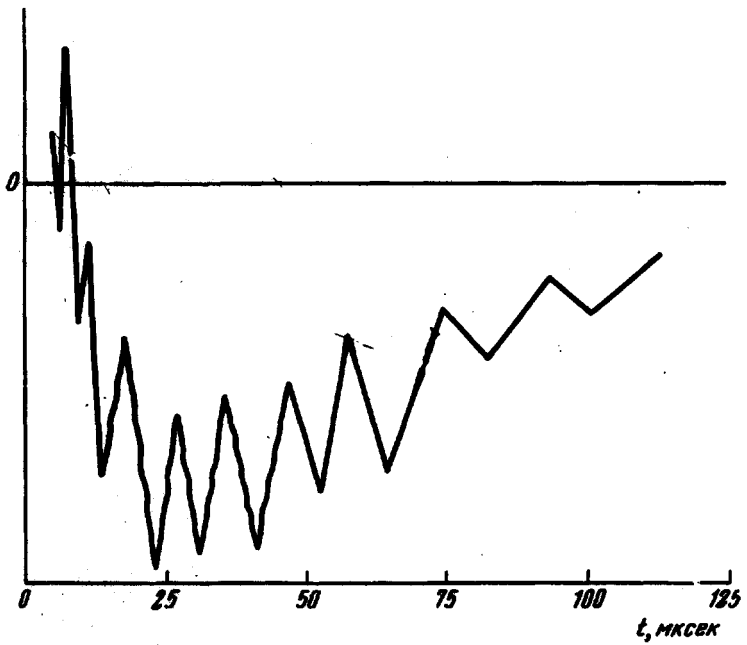


Рис. 1, б.

На рис.1,а приведена характерная осциллографическая запись процесса (длительность развертки 125 мксек), из которого видно, что зарегистрированный сигнал содержит плавную знакопостоянную составляющую, имеющую максимум при  $t \approx 27$  мксек (основной сигнал) и осциллирующую с характерным периодом  $\sim 7$  мксек, несколько увеличивающимся со временем. Это яснее видно из обработанной копии той же осциллограммы на рис.1,б. Увеличение амплитуды основного сигнала в первые 27 мксек с момента взрыва связано с тем, что в это время

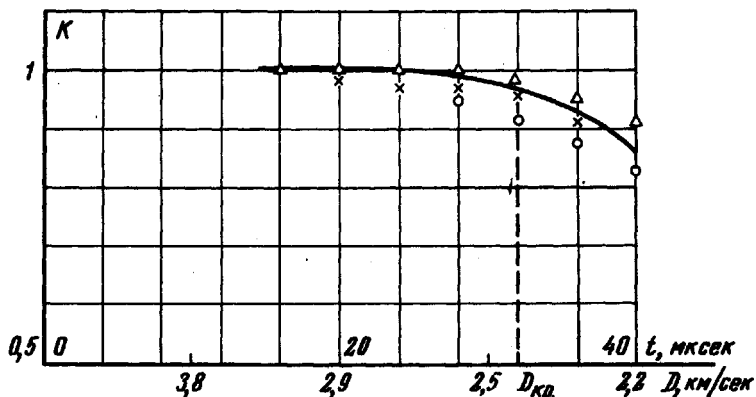


Рис. 2.

ударная волна имеет скорость  $(4,5 + 3) \text{ км/сек}$ , достаточную для создания сильной ионизации на фронте, так что ее поверхность можно считать идеально проводящей, и вместе с радиусом сильной ударной волны  $r$  растет эффективная отражающая поверхность, которая, как можно показать, в условиях геометрии данных опытов пропорциональна  $r^2(t)$ , или, если воспользоваться соотношением Седова для сильного взрыва, величине  $t^{4/5}$ , т.е. почти линейно, как и на рис.1. С уменьшением скорости ударной волны падает ее температура, проводимость на фронте (гораздо быстрее) и коэффициент отражения радиоволн от фронта, чем и объясняется максимум на осциллограмме, а затем уменьшение отраженной энергии.

В свете изложенного из полученных данных была определена временная зависимость  $K(t)$  эффективного коэффициента отражения радиоволн от ударной волны взрыва по соотношению

$$K(t) = a \frac{l(t)}{r^2(t)},$$

где временная зависимость потока пришедшей на антенну энергии  $I(t)$  определялась из рис.1,б и других обработанных осциллограмм, радиус фронта ударной волны для использовавшегося заряда  $BB$  вычислялся по эмпирическим соотношениям работы [2], хорошо описывающим, как показали дополнительные контрольные измерения, условия данных опытов,  $\alpha$  – константа, определяемая условием  $K \rightarrow 1$  при  $t \rightarrow 0$ . Результаты представлен на рис.2; там же указаны значения скорости фронта

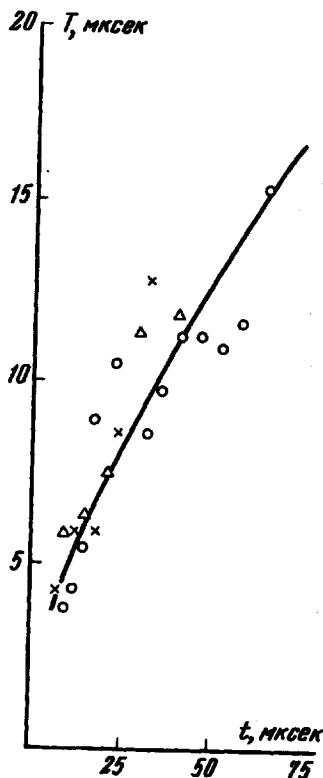


Рис. 3.

ударной волны  $D$ , вычисленные по данным [2]. Видно, что  $K \approx 1$  при  $t < 30$  мксек. Таким образом, ударная волна отражает радиоволны с  $\lambda = 3,2$  см как идеально проводящее тело, пока ее скорость не упадет до величины  $D_{кр} \approx 2,5$  км/сек.

Для объяснения осциллирующей составляющей сигнала предполагалось, что она связана с биениями, возникающими от сложения прямого и от-

раженного сигнала со смещенной из-за эффекта Доплера частотой. Тогда период осцилляций  $T$  есть период биений.

$$T(t) \sim \frac{\lambda}{D(t)}, \quad (1)$$

растущий со временем из-за падения скорости ударной волны, что объясняет наблюдаемое уменьшение частоты осцилляций.

На рис. 3 изображена экспериментальная зависимость  $T(t)$  (за период осцилляций принята полусумма периодов слева и справа от  $t$ )<sup>1)</sup>, которая интерполируется как  $T(t) \sim t^a$ ,  $a = 0,61 \pm 0,08$ . По соотношению же (1) и формуле Седова получаем<sup>2)</sup>  $T \sim t^{0,6}$ , т.е. хорошее согласие с теорией в характере зависимости  $T(t)$ .

При  $t = 40$  мксек,  $D \approx 2,2$  км/сек [2] и из (1) получаем  $T \approx 15$  мксек. Экспериментальное же значение  $T(t \approx 40 \text{ мксек}) = 12$  мксек (см. рис. 3).

По найденному значению скорости ударной волны  $D_{кр}$  можно определять энергетические характеристики некоторых высокотемпературных гидродинамических явлений.

Например, исследуя радиоотражения от огненного шара светового пробоя в луче лазера в опытах, аналогичных [3-5] и регистрируя момент  $t_{кр}$  окончания радиоотражения от сильной ударной волны, можно определить ту энергию  $E$  импульса лазера, которая пошла на ударную волну

$$E = \rho \left( \frac{5}{2} D_{кр} \right)^3 t_{кр}^3,$$

$\rho$  — начальная плотность газа.

Всесоюзный  
Научно-исследовательский  
институт  
оптико-физических измерений

Поступило в редакцию  
19 апреля 1968 г.

1) На рис. 2 и 3 данные каждого из опытов отмечены разными значками.

2) Значение  $a \approx 0,6$  получается при рассматриваемых  $t$  и из данных [2].

## Литература

- [1] В.Д.Русаков. Современные методы исследования плазмы. Госатомиздат, М., 1962.
- [2] В.В.Адушкин. ПМТФ, 5, 1963.
- [3] Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович, М.М.Савченко, А.Д.Смирнова. Письма ЖЭТФ, 1, 18, 1965.
- [4] Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович, М.М.Савченко, В.К.Степанов. Письма ЖЭТФ, 3, 465, 1966.
- [5] Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович, М.М.Савченко, В.К.Степанов. Письма ЖЭТФ, 5, 150, 1967.