

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.222.2

В. С. ТРОФИМОВ, Г. П. ТРОФИМОВА

СКОРОСТЬ СЛАБОГО РАЗРЫВА В РЕАГИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ

В физике взрыва до сих пор обычно предполагалось, что в любой среде слабый разрыв [1] движется со скоростью w , равной или почти равной заморозенной скорости звука c :

$$c^2 = -v^2 \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_{S, \hat{\alpha}}, \quad (1)$$

где v — удельный объем; p — давление; S — удельная энтропия; $\hat{\alpha} = \langle \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \rangle$ — матрица, представляющая химический состав среды, содержащей n независимых компонентов. Равенство $w = c$ лежит в основе принципиальных положений физики взрыва. В частности, на нем базируются все современные теории критического диаметра детонации конденсированных ВВ (см. [2, 3] и данные там ссылки на других авторов), а также методы измерения полей c (1) в реагирующих конденсированных средах [4, 5]. Однако из дополнительного анализа [6] известных данных по инициированию литого ТНТ можно заключить, что для реагирующих сред равенство $w = c$ не всегда верно.

Ввиду важности такого утверждения, остановимся подробнее на его обосновании. Для простоты рассмотрим только плоское одномерное движение среды в лагранжевых координатах: t — время, x — начальное расстояние данной точки среды от фиксированной плоскости, нормальной к направлению движения. Для удобства введем обозначения: для любой A (например v , p , $\hat{\alpha}$ и т. д.) $A_t = (\partial A / \partial t)_x$, $[A]$ — скачок A на слабом разрыве.

Реакция влияет на движение среды через ее обобщенную кинетическую характеристику p^* [2–6] в соответствии с уравнением

$$p_t = -\frac{c^2}{v^2} v_t + p^*. \quad (2)$$

Здесь по определению [2]

$$p^* = - \left(\frac{\partial p}{\partial E} \right)_{v, \hat{\alpha}} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial E}{\partial \alpha_i} \right)_{p, v} \left(\frac{\partial \alpha_i}{\partial t} \right)_x, \quad (3)$$

где E — удельная внутренняя энергия среды, согласно классическому толкованию [1]. Если в рассматриваемой среде скорость реакции зависит от скорости объемной деформации v_t [4, 6], то величину p^* (3) можно представить степенным рядом

$$p^* = p_0^* + p_1^* v_t + p_2^* v_t^2 + \dots, \quad (4)$$

где коэффициенты p_0^* , p_1^* , p_2^* и т. д. — функции от v , p и $\hat{\alpha}$. В дальнейшем подразумевается естественный выбор компонент матрицы $\hat{\alpha}$ [4, 6], когда $p_1^* = 0$, и при всех v_t величины p^* и p_0^* имеют одинаковые знаки.

Из (1)–(4), следуя [4], для произвольного реально наблюдаемого слабого разрыва получаем

$$\frac{w^2}{c^2} = i - \frac{v^2}{c^2} \frac{[p^*]}{[v_i]}. \quad (5)$$

По определению [1], на слабом разрыве $[v_i] \neq 0$ и ∞ . Поэтому если хотя бы один из коэффициентов ряда (4), кроме нулевого, отличен от нуля, то может быть $w \neq c$.

Отсюда еще нельзя заключить, что предположение о приближенном равенстве $w \approx c$ не выполняется. Можно допустить [4], что устойчивыми и наблюдаемыми будут только те слабые разрывы, для которых выражение (5) дает $w \approx c$. В частности, именно это допущение принято в [5], чтобы по измеренным полям v и p в ударно-сжатом литом ТНТ посредством (2) рассчитать поле p^* . И только дополнительный анализ [6] вынуждает нас с сожалением отказаться от такого допущения.

Действительно, используя оценки [6], легко убедиться, что в типичных условиях ударно-волнового процесса в литом ТНТ ($p = 10 \div 20$ ГПа) в зависимости от v_i величина p_0^* из (4) может составить ничтожную долю от p^* , а второй член правой части (5) может быть сравним с единицей. И именно в этих условиях легко наблюдаются слабые разрывы [4, 5], т. е. они устойчивы. Отсюда придется сделать вывод, что равенство $w = c$, вообще говоря, не верно. В частности, если при расчете поля p^* через поля v и p по (2) использовать w вместо c (как в [5]), то можно ошибиться даже в знаке p^* .

Таким образом, все выводы физики взрыва, основанные на равенстве $w = c$, надо внимательно пересмотреть. В частности, мы скоро предложим новые методики определения полей c в реагирующих средах. Одна из них для $n \geq 1$ основана на измерении зависимостей w от $[v_i]$. Вторая — только для $n = 1$ — основана на измерении и анализе зависимостей p_i от v_i .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика.— М.: Наука, 1986.
2. Дремин А. Н., Савров С. Д., Трофимов В. С. и др. Детонационные волны в конденсированных средах.— М.: Наука, 1970.
3. Трофимов В. С. ФГВ, 1982, 18, 1, 139.
4. Трофимов В. С. ФГВ, 1981, 17, 5, 93.
5. Воробьев А. А., Трофимов В. С., Михайлюк К. М. и др. ФГВ, 1987, 23, 1, 14.
6. Трофимов В. С., Трофимова Г. П. ФГВ, 1990, 26, 1, 136.

п. Черноголовка

Поступила в редакцию 25/IV 1990