

УДАРНАЯ ВОЛНА

Авторы: Н. М. Кузнецов

УДАРНАЯ ВОЛНА, скачок давления, плотности, скорости течения вещества и др. параметров, движущийся по веществу со сверхзвуковой скоростью. Интенсивность $У$. в. характеризуют относительным скачком давления p : $(p_2-p_1)/p_1$ или *Маха числом* v_1/c_1 , где v – скорость $У$. в. относительно вещества, c – скорость звука в среде, индексы 1 и 2 относятся соответственно к параметрам перед скачком и за ним. Скачки давления, плотности ρ и скорости связаны законами сохранения массы, импульса и энергии, из которых следуют соотношения: $p_2-p_1=\rho_1 D U$; $\rho_2/\rho_1=D/(D-U)$, где D и U – соответственно скорость $У$. в. и скорость вещества за скачком в лабораторной системе координат. Скорости D и U связаны со скоростями течения в системе координат скачка (v_1 и v_2) соотношениями $D=v_1$, $U=v_1-v_2$.

$У$. в. образуется в разл. средах (воздухе, воде, плазме и др.) при взрывах, мощных электрич. разрядах, движении снежных лавин, движении ЛА со сверхзвуковой скоростью и т. п. Напр., продукты взрыва, имеющие высокие темп-ру, давление и плотность, расширяясь, сжимают окружающий воздух. В каждый момент времени сжатым оказывается лишь воздух, находящийся в ограниченном объёме. Поверхность, которая отделяет возмущённый воздух от невозмущённого, представляет собой ударную волну.

Измерив при заданном состоянии вещества перед $У$. в. величины D и U , вычисляют p_2 и ρ_2 по приведённым выше формулам. Повторяя такие измерения для $У$. в. разл. интенсивностей, получают зависимость p_2 от ρ_2 в виде кривой, называемой ударной адиабатой или адиабатой Гюгоньо. Внутр. энергия \mathcal{E}_2 на ударной адиабате удовлетворяет уравнению Гюгоньо: $\mathcal{E}_2-\mathcal{E}_1=(1/2)(p_1+p_2)(1/\rho_1-1/\rho_2)$.

В лабораториях и на полигонах У. в. используют для изучения термодинамич. и кинетич. свойств веществ при высоких давлениях и темп-рах. В газах У. в. получают в ударной трубе, состоящей из двух секций, разделённых мембраной и заполненных газами высокого и низкого давления. При быстром разрушении мембраны импульсом электрич. тока по секции низкого давления распространяется У. в. В конденсиров. средах (твёрдых телах и жидкостях) сильные У. в. получают используя мощные ВВ (тротил, гексоген, октоген и др.). При детонации конденсиров. ВВ возникают и переходят в исследуемое вещество У. в. с давлением до нескольких сотен кбар. При использовании кумулятивных зарядов (см. [Кумулятивный эффект](#)) достигаются давления порядка мегабар. Для получения У. в. очень большой интенсивности используются также спец. газовые и др. пушки, которыми разгоняют снаряды (пластины), ударяющие по преграде из исследуемого вещества. При помощи У. в. (используя методы её получения и диагностики, разработанные в 1940–50-х гг.) исследуют свойства веществ при экстремально высоких давлениях и темп-рах.

Хотя в гидродинамике У. в. рассматривается как разрыв, в действительности она представляет собой переходный слой конечной ширины. В этом слое происходят необратимые процессы перехода вещества из начального (перед У. в.) в конечное (за ней) состояние. В плотных (неразрезанных) газах ширина У. в. обычно пренебрежимо мала по сравнению с размерами областей непрерывного течения по обе стороны от У. в. Но в разреженных газах возможна др. картина. Напр., на больших высотах в атмосфере перед ЛА, движущимся со сверхзвуковой скоростью, может возникать У. в. с шириной, большей, чем расстояние от начала переходного слоя до поверхности ЛА.

У. в., как и др. волны, можно фокусировать. Это свойство используют для исследования веществ в экстремальных состояниях, возникающих в спец. технич. конструкциях (напр., при взрывах кумулятивных снарядов мощных ВВ). Фокусировка У. в. применяется и в медицине, напр. для разрушения камней в почках.

Литература

Лит.: Ступоченко Е. В., Лосев С. А., Осипов А. И. Релаксационные процессы в ударных

волнах. М., 1965; Кузнецов Н. М. Термодинамические функции и ударные адиабаты воздуха при высоких температурах. М., 1965; Ударные волны и экстремальные состояния вещества / Под ред. В. Е. Фортова и др. М., 2000; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. 5-е изд. М., 2006; Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. 3-е изд. М., 2008.