



Рис. 8. Распределения относительной плотности ионов $n = N/N_0$, степени ионизации α , безразмерных электронной и ионной температур $\theta_e = kT_e / M_A D^2$, $\theta_i = kT_i / M_A D^2$ (M_A — масса атома) в ударной волне в воздухе при $D = 58$ км/с; плотность атомов перед ударной волной $\rho_1 = 3,5 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$.

рачны в более или менее дальнейшей УФ-области спектра, к к-рой относится б. ч. всей энергии равновесного излучения при рассматриваемых высоких темп-рах. Эта энергия, излучаемая газом за У. в., поглощается перед СУ и сильно прогревает несжатый газ. При этом зона прогресса простирается гораздо дальше перед СУ, чем это было бы в случае только электронной теплопроводности. Вследствие прогресса газа перед СУ темп-ра непосредственно за ним выше T_2 , т. е. темп-ра в структуре У. в. проходит через максимум. В воздухе с нормальной плотностью перед У. в. ширина У. в., определяемая лучистым теплообменом, имеет порядок 10^{-1} см, тогда как ионизация, структура, аналогичная показанной на рис. 8, при такой плотности занимала бы всего 10^{-3} см. Чем выше T_2 , тем интенсивнее поток равновесного излучения σT^4 (где σ — постоянная Стефана — Больцмана) и тем больше ширина прогреваемого слоя и его темп-ра T_- . Напр., в воздухе, имеющем перед волной нормальную плотность, при значениях T_2 , равных 25000 К, 50000 К и 150000 К, темп-ра T_- соответственно равна 1400 К, 4000 К и 50000 К. При $T_2 \approx 300000$ К темп-ра T_- достигает T_2 и остаётся равной ей в более интенсивных У. в. При очень больших интенсивностях У. в. наряду с лучистым теплообменом становятся существенными плотность энергии и давление излучения. Рассмотренная выше роль излучения в формировании структуры У. в. относится к случаю, когда за У. в. излучение находится в термодинамич. равновесии с газом. Для этого размеры области нагретого газа за У. в. должны быть много больше длин пробегов излучения. В разреженных газах это условие обычно не выполняется. В таких случаях интенсивность излучения может быть слишком мала, чтобы повлиять на У. в. (см. также *Излучение плазмы*).

Измерение яркости У. в. позволяет судить о темп-ре T_2 . При $T_2 \geq 10000$ К прогретый слой воздуха частично экранирует видимое излучение газа, идущее из-за У. в., к-рое в холодном воздухе распространялось бы практически без поглощения. Эффект экранировки не позволяет регистрировать очень высокие значения T_2 . В воздухе нормальной плотности яркостная темп-ра никогда не превышает 50000 К, сколь бы велика не была темп-ра T_2 .

Экспериментальные (в осн. в опытах с ударными трубами) и теоретич. исследования излучения У. в. имеют большое практич. значение в связи с проблемами защиты сверхзвуковых летательных аппаратов от радиац. перегрева, создания мощных импульсных источников эл.-магн. излучения и др.

Магнитогидродинамические У. в. распространяются в электропроводящем (ионизованном) газе в присутствии внеш. магн. поля. Их теория строится на основе ур-ний *магнитной гидродинамики*. Соотношения типа (1) с учётом магн. сил дополняются условиями, к-рым подчиняются электрич. и магн. поля на границе двух сред. Магн. эффекты проявляются тем сильнее, чем больше отношение магн. давления $H^2/8\pi$ к давлению газа, где H — напряжённость магн. поля. Благодаря дополнит. параметрам и переменным, характеризующим величину и направление магн. поля по обе стороны разрыва, магнитогидродинамич. У. в. отличаются большим разнообразием свойств по сравнению с обычными У. в.

Бесстолкновительные У. в. В чрезвычайно разреженной плазме (лабораторной, космической), где частицы практически не сталкиваются между собой, также возможны У. в. При этом ширина У. в. оказывается гораздо меньше длин пробега частиц. Механизм диссипации, приводящей к превращению части кинетич. энергии направленного движения невозмущённого газа (в системе координат, движущейся вместе с У. в.) в энергию теплового движения, связан с коллективными взаимодействиями в плазме и возбуждением плазменных колебаний. В присутствии магн. поля в *бесстолкновительных ударных волнах* существенны также эффекты закручивания ионов и индуцирования электрич. полей при вытеснении магн. поля движущейся плазмой. Масштабом ширины бесстолкновительных У. в. служит величина c/ω_p , где c — скорость света, $\omega_p = (4\pi e^2 n_e / m)^{1/2}$ — плазменная частота.

У. в. в газозвезях. При распространении У. в. по газу с малой объёмной концентрацией пыли в СУ ускоряется, сжимается и нагревается только газовая компонента, т. к. макроскопич. частицы пыли очень редко сталкиваются между собой, а при взаимодействии с газом их скорость и темп-ра изменяются сравнительно медленно, и за СУ в релаксац. зоне происходит постепенное выравнивание скоростей течения и темп-р компонент. При этом относительная массовая концентрация пыли проходит через максимум, т. к. в СУ она была понижена, а в среднем по всему объёму должна быть такой же, как перед У. в. Часто пыль бывает горючей (в угольных шахтах, на мельницах, элеваторах и т. д.). Изучение условий возгорания пыли в У. в. с возможным переходом горения в детонацию — одна из важных научных и прикладных проблем.

У. в. в конденсированных средах. В конденсированных средах (твёрдых телах и жидкостях) в У. в., получаемых в лаб. условиях, достижим чрезвычайно широкий диапазон давлений. При детонации конденсированных ВВ возникают и затем переходят в контактирующее с ВВ исследуемое вещество — твёрдое тело или жидкость — У. в. с давлением до неск. сотен кбар. С помощью кумулятивных зарядов достигаются давления порядка мегабар. Для получения У. в. очень большой интенсивности используются также спец. газовые и др. пушки, к-рыми разгоняются снаряды — пластины, ударяющие затем по преграде из исследуемого вещества. Благодаря разработанным в 1940—50-х гг. методам получения и диагностики У. в. стали могущим и во многом незаменимым средством эксперим. исследования физ.-хим. и др. свойств веществ в экстремальных условиях. Особенно широко У. в. используются для определения ур-ний состояния твёрдых тел и жидкостей при высоких давлениях и темп-рах, не достижимых в статич. экспериментах. Измерив две скорости — D и u , можно вычислить p_2 и v_2 по ф-лам

$$p_2 - p_1 = Du / V_1, \quad v_2 / v_1 = (D - u) / D.$$

к-рые следуют из (2), и найти затем ϵ_2 из (3). (Скорость u измеряется эл.-магн. методом или т. н. методом откола — путём измерения скорости откалывающейся пластины, образующейся при выходе У. в. на свободную поверхность исследуемого образца.) Произведя измерения и расчёты при разл. интенсивностях У. в., находят зависимость p_2 и ϵ_2 от v_2 на УА. Иногда вместо или дополнительно к скорости u измеряют давление (пьезодатчиком), плотность (рентген) или темп-ру (в прозрачных веществах). (Применительно к конденсир. средам такие измерения менее универсальны и обычно технически более сложны.) В табл. 2 приведены данные для УА свинца:

Табл. 2.

D , км/с	p_2/p_1	p_2 , кбар	ϵ_2 , эрг/г	T_2 , К*
3,2	1,3	250	25,4	1050
6,5	1,9	2250	471	15100
8,1	2,2	4010	965	26400

* Значения T_2 вычислены по ур-нию состояния.