

но, напр. измерением высоты h , на к-рую отскакивает шарик, свободно падающий на горизонтальную плиту из того же материала, что и шарик, с высоты H ; в этом случае $k = \sqrt{h/H}$. По данным опытов, при соударении тел из дерева $k \approx 0,5$, из стали — $0,55$, из слоновой кости — $0,89$, из стекла — $0,94$. В предельных случаях при совершенно упругом У. $k = 1$, а при совершенно неупругом — $k = 0$. Зная скорости в начале У. и коэф. k , можно найти скорости в конце У. и действующий в точках соударения ударный импульс S .

Если центры масс тел C_1 и C_2 лежат на линии У., то У. наз. центральным (У. шаров); в противном случае — нецентральным. Если скорости v_1 и v_2 центров масс в начале У. направлены параллельно линии У., то У. наз. прямым; в противном случае — косым. При прямом центральном У. двух гладких тел (шаров) 1 и 2

$$V_1 = v_1 - \frac{(1+k)M_2}{M_1+M_2}(v_1-v_2),$$

$$V_2 = v_2 + \frac{(1+k)M_1}{M_1+M_2}(v_1-v_2),$$

$$S = (1+k) \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} (v_1 - v_2),$$

$$\Delta T = \frac{1-k^2}{2} \cdot \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} (v_1 - v_2)^2,$$

где ΔT — потерянная за время У. кинетич. энергия системы; M_1 и M_2 — массы шаров. В частном случае при $k = 1$ и $M_1 = M_2$ получается $V_1 = v_2$ и $V_2 = v_1$, т. е. шары одинаковой массы при совершенно упругом У. обмениваются скоростями; при этом $\Delta T = 0$.

Для определения времени У., ударных сил и вызванных ими в телах напряжений и деформаций необходимо учесть механич. свойства материалов тел и изменения этих свойств за время У., а также характер начальных и граничных условий. Решение проблемы существенно усложняется не только из-за трудностей чисто матем. характера, но и ввиду отсутствия достаточных данных о параметрах, определяющих поведение материалов тел при ударных нагрузках, что заставляет делать при расчётах ряд существенных упрощающих предположений. Наиб. разработана теория У. совершенно упругих тел, в к-рой предполагается, что тела за время У. подчиняются законам упругого деформирования (см. *Упругости теория*) и в них не появляются остаточных деформаций. Деформация, возникшая в месте контакта, распространяется в таком теле в виде упругих волн со скоростью, зависящей от физ. свойств материала. Если время прохождения этих волн через всё тело много меньше времени У., то влиянием упругих колебаний можно пренебречь и считать характер контактных взаимодействий при У. таким же, как в статич. состоянии. На таких допущениях основывается контактная теория удара Г. Герца (G. Hertz). Если же время прохождения упругих волн через тело сравнимо со временем У., то для расчётов пользуются волновой теорией У.

Изучение У. не вполне упругих тел — задача значительно более сложная, требующая учёта как упругих, так и пластич. свойств материалов. При решении этой задачи и связанных с ней проблем определения механич. свойств материалов тел при У., изучения изменений их структуры и процессов разрушения широко опираются на анализ и обобщение результатов многочисленных эксперим. исследований. Экспериментально исследуются также специфич. особенности У. тел при больших скоростях (~ сотен м/с) и при воздействии взрыва, к-рый в случае непосредств. контакта заряда с телом можно считать эквивалентным соударению со скоростью до 1000 м/с.

Кроме У. твёрдых тел в физике изучают столкновения молекул, атомов и элементарных частиц (см. *Столкновения атомные*).

Лит.: Давиденков Н. Н., Динамические испытания металлов, 2 изд., Л.—М., 1936; Динник А. Н., Избр. труды, т. 1 — Удар и сжатие упругих тел, К., 1952; Райнхарт Дж., Пирсон Дж.,

Поведение металлов при импульсных нагрузках, пер. с англ., М., 1958; Ильюшин А. А., Ленский В. С., Сопротивление материалов, М., 1959, гл. 6; Кильчевский Н. А., Теория соударений твёрдых тел, К., 1969. С. М. Тарг.

УДАРНАЯ ВОЛНА — движущаяся по веществу поверхность разрыва непрерывности скорости течения, давления, плотности и др. величин. У. в. возникают при взрывах, детонации, при сверхзвуковых движениях тел (см. *Сверхзвуковое течение*), при мощных электрич. разрядах и т. д. Напр., при воздушном взрыве взрывчатых веществ (ВВ) образуются высоконагретые продукты, находящиеся под большим давлением. Продукты взрыва под действием давления расширяются, приводя в движение и сжимая сначала ближайщие, а затем всё более далёкие слои воздуха. Поверхность, к-рая отделяет сжатый воздух от невозмущённого, представляет собой У. в.

Простейший пример возникновения и распространения У. в. — сжатие газа в трубе поршнем. Если первоначально покоившийся поршень мгновенно приходит в движение с пост. скоростью u , то сразу же непосредственно перед ним возникает У. в. Скорость её распространения D по невозмущённому газу постоянна и больше u . Поэтому расстояние между поршнем и У. в. увеличивается пропорц. времени движения. Скорость газа за У. в. совпадает со скоростью поршня (рис. 1). Если поршень разгоняется до

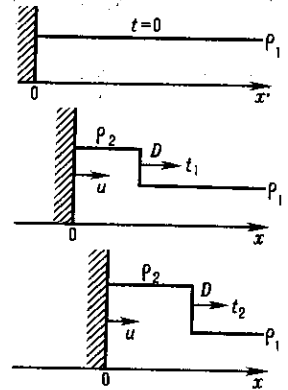


Рис. 1. Распределения плотности ρ в последовательные моменты времени $t=0, t_1, t_2$ в ударной волне, возбуждаемой поршнем, движущимся с постоянной скоростью u (D — скорость ударной волны; $D > u$).

скорости u постепенно, то У. в. образуется не сразу. Вначале возникает волна сжатия с непрерывным распределением плотности и давления. С течением времени крутизна волны сжатия нарастает, т. к. возмущения от ускоряемого поршня догоняют её и усиливают, приводя в итоге к разрыву непрерывности всех гидродинамич. величин и к образованию У. в. (см. *Газовая динамика*).

Существуют прямые У. в., в к-рые вещество втекает по нормали к поверхности, и косые У. в. Последние возникают, напр., при сверхзвуковом движении тел — ракет, спускаемых космич. аппаратов, снарядов и др., когда перед телом движется У. в. Геометрия У. в. зависит от формы тела и от др. параметров. Поэтому в системе координат, где У. в. покоится, газ втекает в каждый элемент её поверхности под своим углом. Если этот угол не прямой, то элемент поверхности представляет собой косую У. в. На косой У. в. претерпевает разрыв нормальная составляющая скорости вещества, но тангенциальная составляющая непрерывна. Следовательно, на косой У. в. линии тока преломляются (о косых У. в. см. *Уплотнения скачок*). Путём перехода к новой системе координат, движущейся параллельно поверхности разрыва, косую У. в. всегда можно свести к прямой. Поэтому первостепенный интерес представляют прямые У. в., и далее речь идёт только о них.

Законы ударного сжатия. Состояния вещества по обе стороны У. в.: давление p , плотность ρ , скорость течения относительно У. в. v и уд. внутр. энергия ϵ связаны т. н. соотношениями Ренкина — Пугоньо:

$$\rho_2 v_2 = \rho_1 v_1, \quad p_2 + \rho_2 v_2^2 = p_1 + \rho_1 v_1^2, \quad (1)$$

$$\epsilon_2 + p_2 / \rho_2 + v_2^2 / 2 = \epsilon_1 + p_1 / \rho_1 + v_1^2 / 2,$$