

ми в ядерном реакторе. Конфигурация внеш. электронных оболочек  $5f^8 6s^2 p^6 d^1 7s^2$  (возможна также конфигурация  $5f^9 6s^2 p^6 7s^2$ ). Энергия ионизации 6.30 эВ. Радиус иона  $Vk^{3+}$  равен 0.0975 нм, иона  $Vk^{4+}$  0.0870 нм. При комнатной температуре устойчива  $\alpha$ -модификация металлич. Б. с двойной гексагональной плотной упаковкой (параметры  $a=0.3416$  нм и  $c=1.1069$  нм), при высоких температурах —  $\beta$ -модификация с гранецентрир. кубич. решёткой (параметр  $a=0.4997$  нм). Радиус атома Б. для гексагональной модификации 0.176 нм, для кубической — 0.170 нм. По оценке,  $t_{пл}=986^\circ C$ ,  $t_{кип}=2587^\circ C$ , плотность 14.8 г/см<sup>3</sup>. В соединениях проявляет степени окисления +3 (наиб. устойчива в растворах) и +4 (сильный окислитель).

**БЕРНУЛЛИ УРАВНЕНИЕ** (интеграл Бернулли) в гидроаэромеханике — результат интегрирования дифференц. ур-ний установившегося движения идеальной (невязкой и нетеплопроводной) баротропной жидкости. записанных в переменных Эйлера (см. *Эйлера уравнение*). В баротропной жидкости плотность  $\rho$  зависит только от давления  $p$ , т. е.  $\rho = \rho(p)$ , и Б. у. имеет вид

$$U + \int \frac{dp}{\rho} + \frac{v^2}{2} = C, \quad (1)$$

где  $U$  — потенциал поля объёмных (массовых) сил, действующих на жидкость,  $v$  — скорость течения,  $C$  — величина, постоянная на каждой линии тока или вихревой линии, но в общем случае изменяющая своё значение при переходе от одной линии к другой.

Если потенциал  $U$  и вид ф-ции  $\rho(p)$  известны, Б. у. выражается алгебраич. соотношением. В простейшем случае несжимаемой тяжёлой жидкости, когда  $U = gh$  ( $h$  — высота жидкой частицы над нек-рой горизонтальной плоскостью,  $g$  — ускорение свободного падения), а  $\rho = \text{const}$ , имеем

$$gh + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = C. \quad (2)$$

Для этого случая ур-ние было выведено Д. Бернулли (D. Bernoulli) в 1738.

Умножив ур-ние (2) на  $\rho = \text{const}$ , получим, что сумма первых двух членов равна потенциальной энергии жидкости, а 3-й член  $\rho v^2/2$  наз. *скоростным напором* или динамич. давлением и равен кинетич. энергии движущейся жидкости. Т. о., Б. у. в виде (2) выражает закон сохранения энергии и устанавливает связь между давлением и скоростью движущейся жидкости: если вдоль линии тока скорость увеличивается, давление падает, и наоборот. Когда в нек-рых точках потока жидкости давление вследствие роста скорости должно стать ниже некоторой малой положит. величины, близкой к давлению насыщенного пара этой жидкости, возникает *кавитация*.

В случае обратимых адиабатных течений совершенного газа с отношением уд. теплоёмкостей  $c_p/c_v = \gamma$  имеем  $p/\rho^\gamma = \text{const}$  и из ур-ния (1), пренебрегая влиянием силы тяжести, получим:

$$\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{const} \quad (3)$$

или, в силу термодинамич. соотношения  $\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} = c_p T = H$ , где  $T$  — абс. темп-ра,  $H$  — энтальпия,

$$H + v^2/2 = H_0. \quad (4)$$

Б. у. для газов в форме (3) и (4) определяет параметры изотропного торможения:  $H_0$ ,  $T_0 = H_0/c_p$ ,  $\rho_0$ ,  $\rho_0$  на каждой линии тока, к-рых газ достигает при  $v=0$ . Они наз. соотв. полной энтальпией, темп-рой торможения, полным давлением или давлением торможения и плотностью торможения. Б. у. в форме (4) также выражает закон сохранения энергии для газов. Б. у. используются при измерении скорости с помощью *трубок измерительных* и при др. аэродинамич. измерениях.

В техн. приложениях для осреднённых по поперечному сечению параметров потока применяют т. н. обобщённое Б. у.: сохраняя форму ур-ний (2) — (4), в левую часть включают работу сил трения (гидравлич. потери) и механич. работу (работу компрессора или турбины) с соответствующим знаком. Обобщённым Б. у. пользуются в *гидравлике* при расчёте течений жидкостей и газов в трубопроводах и в машиностроении при расчёте компрессоров, турбин, насосов и др. гидравлич. и газовых машин.

Лит.: Лойдянский Л. Г., Механика жидкости и газа, 5 изд., М., 1978; Абрамович Г. И., Прикладная газовая динамика, 4 изд., М., 1976; Седов Л. И., Механика сплошной среды, 4 изд., т. 2, М., 1984. С. Л. Вшивцевский. **БЕССЕЛЫ ФУНКЦИИ** — цилиндрические функции 1-го рода, решения дифференц. ур-ний Бессели.

**БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНОЕ ЗАТУХАНИЕ** волн в плазме (Ландау затухание) — затухание, обусловленное взаимодействием резонансных частиц с эл.-магн. волнами, возникающими в плазме. Волна в плазме затухает по мере распространения, несмотря на отсутствие парных столкновений. Условия резонанса частицы, имеющей скорость  $v$ , с волной частоты  $\omega$  для плазмы без магн. поля есть  $\omega - kv$  (черешковский резонанс); в магн. поле —  $\omega = k_z v_z + n\omega_H$  (циклотронный резонанс), где  $k$  — волновой вектор,  $\omega_H = eH/mc$  — циклотронная частота частицы сорта  $j$  с массой  $m_j$  и зарядом  $e_j$ ;  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , ось  $z$  направлена вдоль магн. поля  $H$ .

**БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ** — резкие изменения параметров плазмы (плотности, температуры, магн. поля и др.), возникающие при сверхзвуковом движении плазмы и имеющие толщину фронта, существенно меньшую длины свободного пробега, так что парных столкновений в них не происходит. В лаб. плазме Б. у. в. возникают при сжатии и нагреве плазмы быстронарастающим магн. полем. В космич. условиях образование Б. у. в. происходит, напр., при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферами планет, при взаимодействии звёздного ветра с магнитосферами пульсаров. Наиб. изученный в космич. плазме объект — ударная волна земной магнитосферы, толщина фронта к-рой на неск. порядков величины меньше длины свободного пробега.

В плазме, но к-рой уже прошла ударная волна, всегда имеются частицы, движущиеся быстрее фронта, к-рые, забегая вперёд в невозмущённую волной плазму, могли бы создать расплывание фронта до толщины, сравнимой с длиной свободного пробега. Однако этого не происходит по двум причинам. При наличии магн. поля, параллельного фронту волны или направленного под углом к нему, поле заворачивает частицы, движущиеся поперёк фронта на расстоянии порядка ларморовского радиуса, к-рый, т. о., играет роль длины свободного пробега. Если магн. поле перпендикулярно фронту волны или вообще отсутствует, то механизм, препятствующий расплыванию, имеет коллективную природу, т. е. осуществляется с помощью возбуждаемых неустойчивостей и волн. Если в невозмущённой волной области плазмы проникла через фронт группа (пучок) быстрых частиц, то перед фронтом волны развиваются пучковая неустойчивость и интенсивные колебания плазмы, к-рые эффективно тормозят быструю компоненту. В этом случае также как бы происходит переопределение длины свободного пробега с учётом коллективных процессов.

Образование ударной волны в плазме можно рассмотреть на примере движения магн. поршня (роль такого поршня для плазмы солнечного ветра выполняет планетная магнитосфера). Плазма перед поршнем сжимается, при этом возрастает напряжённость вмороженного в неё магн. поля  $H_0$ . В холодной плазме, давление к-рой  $p$  существенно меньше магнитного давления ( $p \ll H_0^2/8\pi$ ), возмущения плотности и магн. поля (*магнитозвуковые волны*) перемещаются с альвеновской скоростью (см. *Альвеновские волны*)  $v_A = H_0/\sqrt{4\pi\rho}$ , где  $\rho$  — плотность