

сред,  $\eta$  к-рых уменьшается с ростом скорости сдвига, тиксотропных жидкостей,  $\eta$  к-рых зависит от продолжительности деформирования и т. д.). В этих случаях условия измерений  $\eta$  строго нормируются, а вискозиметры позволяют выполнять измерения в широких диапазонах варьирования условий течения. Расчётные методы перехода от результатов измерений к абс. характеристикам свойств вещества существенно усложняются, а относит. методы В. становятся малоприменимыми из-за утраты подобия течения эталонного и исследуемого вещества.

Лит.: Малкин А. Я., Чалых А. Е., Диффузия и вязкость полимеров. Методы измерения, М., 1979; Experimental methods of polymer physics, Moscow, 1983. А. Я. Малкин.

**ВИСМУТ** (Bismuthum), Bi,— хим. элемент V группы периодич. системы элементов, ат. номер 83, ат. масса 208,9804. Имеет один стабильный нуклид  $^{209}\text{Bi}$ ; как члены естеств. радиоакт. рядов в природе встречаются короткоживущие  $^{210}\text{Bi}$ ,  $^{211}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{215}\text{Bi}$ . Конфигурация внеш. электронных оболочек  $6s^2p^3$ . Энергии последоват. ионизаций соответственно равны 7,289; 16,74; 25,57; 45,3; 56,0 эВ. Металлич. радиус 0,182 нм, радиус иона  $\text{Bi}^{3+}$  0,120 нм, иона  $\text{Bi}^{3-}$  0,213 нм. Значение электроотрицательности 1,9.

В свободном виде — серебристый металл с розоватым оттенком, кристаллич. решётка ромбоэдрическая с параметрами  $a=0,47457$  нм и  $\alpha=57^\circ 14' 13''$ , плотность 9,80 кг/дм<sup>3</sup>,  $t_{\text{пл}}=271,4^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кип}}=1552^\circ\text{C}$ . Уд. теплоёмкость 0,129 кДж/кг·К (20°C), теплота плавления 11,38 кДж/моль, теплота испарения 179 кДж/моль, коэф. линейного расширения  $13,37 \cdot 10^{-6}$ , уд. теплопроводность 8,41 Вт/м·К (20°C). Уд. сопротивление 1,068 мкОм·м (0°C; сильно возрастает в магн. поле). Диамагнитен, магн. восприимчивость  $-1,34 \cdot 10^{-9}$  (самая низкая среди диамагн. металлов). При комнатной темп-ре хрупок, тв. по Бригеллю 94,2 МПа. При плавлении уменьшается в объёме на 3,27%. Сечение захвата тепловых нейтронов  $^{209}\text{Bi}$  мало ( $3,4 \cdot 10^{-30}\text{м}^2$ ).

В хим. соединениях проявляет степени окисления -3, +2, +3 (наиб. типична), +5. Во влажном воздухе покрывается тонким слоем оксида.

В. используют для изготовления легкоплавких сплавов (напр., сплава Вуда с  $t_{\text{пл}}=70^\circ$ ). Жидкий В. может применяться в качестве теплоносителя в ядерных реакторах. Проволока из В. используется в приборах для измерения напряжённости магн. поля (висмутовая спираль). Из теллурида В.  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  изготавливают термоэлектрогенераторы. В качестве радиоакт. меток используют радионуклиды, распад к-рых происходит по типу электронного захвата и испускания  $\beta^+$ -частиц  $^{210}\text{Bi}$  ( $T_{1/2}=15,2$  сут),  $^{206}\text{Bi}$  ( $T_{1/2}=6,243$  сут),  $^{207}\text{Bi}$  ( $T_{1/2}=33,4$  года).

**ВИСМУТОВОЕ ДВИЖЕНИЕ** — движение жидкости или газа, при к-ром мгновенная скорость вращения элементарных объёмов среды не равна всюду тождественно нулю. Количественной мерой завихрённости служат вектор  $\omega = \text{rot } v$ , где  $v$  скорость жидкости;  $\omega$  наз. вектором вихря или просто завихрённостью. Эквивалентной мерой завихрённости, более удобной в теоретич. построениях, является антисимметрич. часть тензора градиента скорости  $\Omega = 1/2(\nabla v - \nabla v^T)$ . В декартовых координатах  $x_1, x_2, x_3$  связь компонент вектора  $\omega$  и тензора  $\Omega$  даётся выражениями

$$\omega_1 = 2\Omega_{23}, \quad \omega_2 = 2\Omega_{31}, \quad \omega_3 = 2\Omega_{12},$$

$$\Omega_{ij} = 1/2(\partial v_i / \partial x_j - \partial v_j / \partial x_i).$$

Движение наз. безвихревым или потенциальным, если  $\omega=0$ , в противном случае имеет место В. д.

Векторное поле вихря удобно характеризовать некоторыми геом. образами. Вихревой линией наз. линия, касательная к к-рой в каждой точке направлена по вектору вихря; совокупность вихревых линий, проходящих через замкнутую кривую, образует вихревую трубку. Поток вектора вихря через любое

сечение вихревой трубки одинаков; он наз. интенсивностью вихревой трубки и равен циркуляции скорости  $\Gamma$  по произвольному контуру  $C$ , однократно охватывающему вихревую трубку (рис. 1),  $\Gamma = \oint_C v ds$ .

За редкими исключениями движение жидкости или газа почти всегда бывает вихревым. Так, вихревым является ламинарное течение в круглой трубе, когда скорость распределена по параболич. закону (рис. 2), течение в пограничном слое при плавном обтекании тела и в следе за плохо обтекаемым телом, вихревой характер носит любое турбулентное течение. В этих условиях выделение

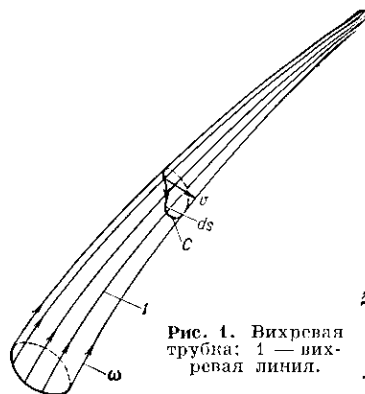
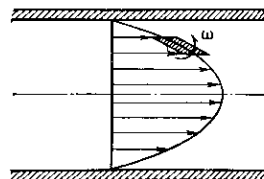


Рис. 1. Вихревая трубка: 1 — вихревая линия.

Рис. 2. Вращение элемента жидкости при ламинарном движении в круглой трубе.



класса В. д. оказывается осмысленным, благодаря тому, что при преобладании инерц. сил над вязкими (при очень больших Рейнольдса числах  $Re$ ) типична локализация завихрённости в обособленных массах жидкости — вихрях или вихревых зонах. Примерами вихрей в природе являются смерчи, циклоны; в океанах, в частности, «ринги» Гольфстрима; в атмосферах планет, напр., Красное пятно Юпитера, к-рое представляет собой гигантский вихрь диам. ок. 25000 км.

Согласно классич. теоремам Гельмгольца, в предельном случае движения невязкой жидкости, плотность к-рой постоянна или зависит только от давления (в предположении баротропии), в потенц. силовом поле вихревые линии вморожены в среду, т. е. в процессе движения они состоят из одних и тех же частиц жидкости — являются материальными линиями. Вихревые трубки при этом также оказываются вмороженными в среду, а их интенсивность сохраняется в процессе движения. Сохраняется также циркуляция скорости по любому контуру, состоящему из одних и тех же частиц жидкости (теорема Кельвина). В частности, если при движении область, охватываемая данным контуром, сужается, то интенсивность вращат. движения внутри него возрастает. Это важный механизм концентрации завихрённости, реализующийся при вытекании жидкости из отверстия в дне сосуда («ваины»), при образовании водоворотов вблизи нисходящих потоков в реках и определяющий образование циклонов и тайфунов в зонах пониженного атм. давления, в к-рые происходит подтекание («конвергенция») воздушных масс.

В жидкости, находящейся в состоянии покоя или потенц. движения, вихри возникают либо из-за нарушения баротропии, напр. образование кольцевых вихрей при подъёме нагретых масс воздуха — «термиков» (рис. 3), либо из-за взаимодействия с твёрдыми телами.

Если обтекание тела происходит при больших  $Re$ , завихрённость порождается в узких зонах проявления вязких эффектов — в пограничном слое, а затем сплывается в осн. поток, где формирует отчётливо видимые вихри, нек-рое время эволюционирующие и сохраняю-



Рис. 3. Образование кольцевого вихря при подъёме термика.