

прозрачность,  $m^*$  — эффективная масса носителей,  $N$  — концентрация примесей,  $\Phi(x) = \ln(1+x) - x/(1+x)$ , где  $x = 8m^*E/\lambda^2 q^2$ ,  $q$  — величина, обратная дебаевскому радиусу экранирования. Из Б.—Х. ф. следует, что рассеяние на ионизованных примесях становится более эффективным при малых энергиях носителей и, следовательно, при низких температурах.

Б.—Х. ф. получена в *борновском приближении* теории столкновений с учётом экранирования примесей свободными носителями. При её выводе предполагается, что примеси расположены в кристаллич. решётке беспорядочно (см. *Рассеяние носителей заряда*).

Лит.: Brooks H., Scattering by ionized impurities in semiconductors, «Phys. Rev.», 1951, v. 83, p. 879; его же, Theory of the electrical properties of Germanium and Silicon, в кн.: Advances in electronics and electron physics, ed. by L. Marton, v. 7, N.Y., 1953, p. 83; Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г., Физика полупроводников, М., 1977; Зегер К., Физика полупроводников, пер. с англ., М., 1977.

Э. М. Эпштейн.

**БРУС** в сопротивлении материалов — деформируемое твёрдое тело, поперечные размеры которого много меньше продольного. Линия, соединяющая центры тяжести поперечных сечений Б., наз. осью Б. В зависимости от формы Б. могут быть ломаные, кривые; если ось Б. прямолинейна, Б. наз. прямым. Прямой Б. пост. сечения наз. стержнем, Б., работающий на изгиб, — балкой.

Б. часто встречаются в качестве элемента конструкции, сооружения или машины, поэтому разработаны спец. методы расчёта напряжений и деформаций Б. Типичной для расчёта Б. является гипотеза плоских сечений: при растяжении, сжатии, кручении или изгибе Б. его поперечное сечение, составленное из материальных частиц, остаётся плоским и перпендикулярным деформированной оси Б. (см. *Изгиб, Кручение*). В ряде случаев сложную конструкцию удлиненной формы (корабль, крыло самолёта, телебашню и др.) для оценки суммарных деформаций также рассчитывают как Б.

В. С. Ленский.

**БРЭГГА — ВУЛЬФА УСЛОВИЕ** — определяет направление возникновения дифракц. максимумов упруго рассеянного на кристалле рентг. излучения. Выведено в 1913 независимо У. Л. Брэггом (W. L. Bragg) и

плоскостей волнами, равная  $2d \sin \theta$  (рис.), кратна целому числу длин волн  $\lambda$ . Т. о., Б.—В. у. имеет вид:

$$2d \sin \theta = n\lambda, \quad (1)$$

где целое положит. число  $n$  наз. порядком отражения,  $\theta$  — угол скольжения падающего луча. Если  $\theta$  удовлетворяет условию (1), то он наз. углом Брэгга. Дифракц. луч распространяется под углом  $2\theta$  к первичному лучу. Б.—В. у. для каждой данной системы атомных плоскостей можно получить из общих условий интерференции на трёхмерной решётке, выбирая соответствующим образом систему координат (см. *Дифракция рентгеновских лучей*).

Б.—В. у. позволяет определять межплоскостные расстояния  $d$  в кристалле, т. к.  $\lambda$  обычно известна, а углы  $\theta$  измеряются экспериментально. Условие (1) получено без учёта эффекта преломления для безграничного кристалла, имеющего идеально-периодическое строение. В действительности дифрагированное излучение распространяется в конечном угловом интервале  $\theta \pm \Delta\theta$ , причём ширина этого интервала определяется в кинематич. приближении числом отражающих атомных плоскостей (т. е. пропорциональна линейным размерам кристалла), аналогично числу штрихов дифракционной решётки. При динамич. дифракции величина  $\Delta\theta$  зависит также от величины взаимодействия рентгеновского излучения с атомами кристалла (см. *Поляризуемость рентгеновская*). Искажения решётки кристалла в зависимости от их характера ведут к изменению угла  $\theta$ , или возрастанию  $\Delta\theta$ , или к тому и другому одновременно.

Б.—В. у. является исходным пунктом исследований в *рентгеновском структурном анализе, рентгенографии материалов, рентгеновской топографии*.

Б.—В. у. можно дать наглядную векторную трактовку. Дифракция возникает при выполнении условия (рис.):

$$k_g = k_0 + g, \quad (2)$$

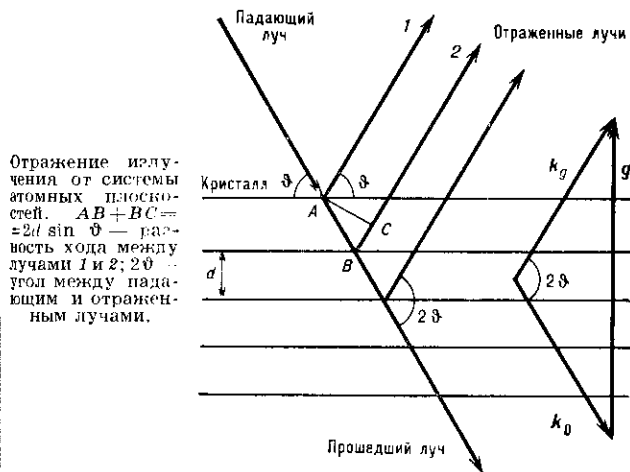
где  $k_g, k_0$  — волновые векторы первичной и дифрагированной волн соответственно,  $g$  — вектор обратной решётки;  $|k_0| = |k_g|$ ,  $|g| = 2\pi/d$ . Условие (2) выражает закон сохранения *квазиимпульса* в периодич. среде и эквивалентно условию (1).

Б.—В. у. остаётся справедливым при дифракции  $\gamma$ -излучения, электронов и нейтронов в кристаллах (см. *Дифракция частиц*), при дифракции в слоистых и периодич. структурах излучения радио- и оптического диапазонов, а также звука.

В нелинейной оптике и квантовой электронике при описании параметрических и неупругих процессов применяются разл. условия пространственного *синхронизма* волн, близкие по смыслу Б.—В. у. А. В. Копаков.

**БРЭГГОВСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ** — схемы *дифракции рентгеновских лучей*, при к-рой падающий и дифракционный лучи лежат по одну сторону от поверхности кристалла (рис., а). В том случае, когда падающий и дифракционный лучи находятся по разные стороны кристаллич. пластины (рис., б), имеет место *лауэ-ское прохождение* (Л. п.). Если угол  $\phi$  между системой атомных плоскостей, находящихся в отражающем положении, и входной поверхностью кристалла равен нулю, то Б. о. наз. симметричным, в остальных случаях — асимметричным. При  $\phi = \pi/2$  имеет место симметричное Л. п.

Б. о. и Л. п. являются простейшими фундам. задачами динамич. дифракции рентг. лучей, полностью выявляющими её осн. особенности. Введение в рассмотренные схем Б. о. и Л. п. имеет смысл только для двухлучевой динамич. дифракции. При многолучевой дифракции одновременно имеются и отражённые и прошедшие дифракц. лучи, к-рые могут взаимодействовать, что не позволяет выделять к.-л. простейшие схем. При кинематич. дифракции, когда обратным влиянием



Отражение излучения от системы атомных плоскостей.  $AB + BC = 2d \sin \theta$  — разность хода между лучами 1 и 2;  $2\theta$  — угол между падающим и отраженным лучами.

Г. В. Вульфом. Если кристаллы рассматривать как совокупность параллельных атомных плоскостей, стоящих друг от друга на расстоянии  $d$ , то процесс дифракции можно представить как отражение излучения от системы этих плоскостей. Максимумы интенсивности (дифракционные максимумы) возникают при этом только в тех направлениях, в к-рых все отражённые данной системой атомных плоскостей волны имеют одинаковые фазы. Это возможно, если разность хода  $AB + BC$  между двумя отражёнными от соседних