

жение для среднего числа смещенных атомов одним первичным атомом с энергией  $E_a$ :

$$v(E_a) = \frac{E_a}{2E_d}. \quad (3.29)$$

При выводе формулы (3.29) предполагалось, что атомы при соударениях ведут себя как твердые шары, столкновения рассматривались как изолированные акты упругого соударения двух частиц. Считалось также, что после столкновения оба атома могут участвовать в дальнейших столкновениях. Кроме того, в модели Кинчина—Пиза не учитываются какие-либо корреляции, связанные с периодическим расположением атомов в кристалле. Формула (3.29) справедлива для  $E_a > 2E_d$ .

Во многих твердых телах при комнатной или даже более низкой температуре первичные дефекты (вакансии и междоузельные атомы), мигрируя по кристаллу, могут аннигилировать путем рекомбинации, а также объединяться в более устойчивые вторичные дефекты. Окончательный состав дефектов, их концентрация и распределение по глубине мишени зависят от числа и распределения первоначально смещенных атомов, а также от природы кристалла.

При некоторых критических концентрациях радиационных дефектов кристаллическое состояние становится неустойчивым и происходит переход в аморфное состояние. Такой переход наиболее легко осуществляется в твердых телах с ковалентным типом связи.

### 3.6. ДИСЛОКАЦИИ

Представление о линейных дефектах — дислокациях — возникло в начале XX в. в результате работ В. Вольтерры и некоторых других исследователей, изучавших упругое поведение однородной изотропной среды.

Рассмотрим, например, резиновый цилиндр (рис. 3.8). Разрежем его вдоль плоскости  $S$  (рис. 3.8, а), сместим края разреза так, как показано на рис. 3.8, б или в, и склеим. Линия  $OO'$ , отделяющая область, где сдвиг произошел, от области, где сдвига не произошло, получила название *дислокации*.

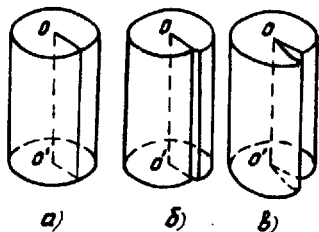


Рис. 3.8. Образование дислокационной линии в упругом цилиндре

В начале 30-х годов Д. Тейлор и другие предположили, что аналогичные дефекты мо-

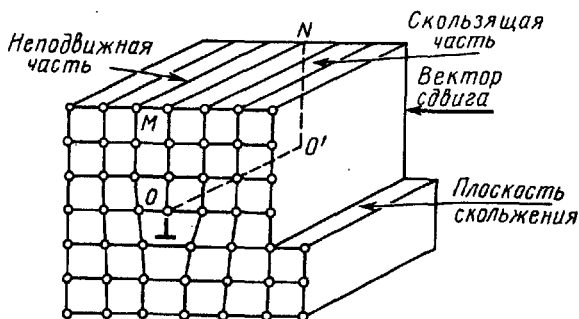


Рис. 3.9. Краевая дислокация  $OO'$ , возникшая в результате сдвига

гут существовать в кристаллах. В отличие от классической упругой среды, где относительные смещения краев разреза могут быть любыми, в кристаллах дискретность структуры и анизотропия накладывают ограничения на характер возможных смещений. Здесь допускаются только такие смещения, которые соответствуют свойствам симметрии кристаллической решетки. На рис. 3.9 изображена дислокация  $OO'$ , возникшая в результате сдвига части кристалла на одно межатомное расстояние и показано расположение атомов в плоскости, перпендикулярной линии дислокации. Видно, что на  $n$  атомных плоскостях, расположенных ниже плоскости скольжения, приходится  $n+1$  плоскость выше плоскости скольжения. Дислокация  $OO'$ , представляющая собой «край» лишней полуплоскости  $MNO'O$ , получила название *краевой*. Краевая дислокация перпендикулярна вектору сдвига. Можно представить себе, что краевая дислокация образуется, если вставить дополнительную плоскость  $MNO'O$  между плоскостями идеального кристалла.

Дж. Бюргерсом было введено представление еще об одном типе дислокаций. Предположим, что в кристалле произведен сдвиг так, как показано на рис. 3.10, а. Линия дислокации  $OO'$ , отделяющая область, где сдвиг произошел, от области, где сдвига не произошло, здесь не перпендикулярна, а параллельна.

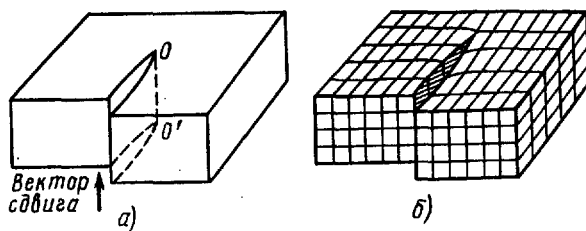


Рис. 3.10. Образование винтовой дислокации

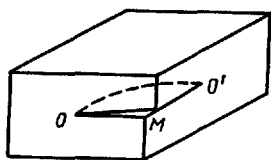


Рис. 3.11. Образование смешанной дислокации.

вектору сдвига. Кристалл в этом случае можно представить состоящим из одной атомной плоскости, «закрученной» вокруг дислокации  $OO'$ , как винтовая лестница (рис. 3.10, б). Такая дислокация была названа *винтовой*.

Рассмотрим теперь случай, когда зона сдвига ограничена внутри кристалла не прямой линией, а произвольной кривой (рис. 3.11). Линия  $OO'$  на рис. 3.11 представляет собой криволинейную дислокацию. В точке  $O$  дислокация параллельна вектору сдвига и, следовательно, имеет винтовой характер. В точке  $O'$  линия дислокации перпендикулярна вектору сдвига, т. е. имеет краевую ориентацию. Такие дислокации получили название *смешанных*.

Для обозначения дислокации общего вида принят символ  $\perp$ . В случае краевой дислокации «ножка» этого символа направлена в сторону расположения избыточного материала, как показано на рис. 3.9.

### 3.7. КОНТУР И ВЕКТОР БЮРГЕРСА

Одной из важнейших характеристик дислокации является вектор смещения — *вектор Бюргерса*  $\vec{b}$ , определяемый следующим образом.

Рассмотрим две кристаллические решетки: одну реальную, содержащую дефекты различного типа, и другую — идеальную, не содержащую никаких дефектов. Предположим, что в реальной решетке имеются только искажения, вызванные упругими деформациями, тепловыми колебаниями атомов и т. п. В этом случае, несмотря на некоторые нарушения структуры, можно безошибочно указать, к каким узлам решетки идеального кристалла относятся соответствующие атомы в реальном кристалле. Взаимно однозначное соответствие между атомами реального и идеального кристаллов можно установить и при наличии в реальном кристалле точечных дефектов. При этом в ряде мест реальной решетки атомы могут отсутствовать, в каких-то местах могут появиться лишние атомы, но в остальном она будет совпадать с идеальной. Любую область реального кристалла, где можно установить взаимно однозначное соответствие с идеальным кристаллом, называют областью *хорошего кристалла*. Участки, где такое соответствие установить нельзя, называют областью *плохого кристалла*.

*Контуром Бюргерса* называют замкнутый контур произвольной формы, построенный в реальном кристалле, так, что от атома к атому переходят последовательно, не выходя из обла-