

Если рекомбинация идет через *центры рекомбинации*, т. е. как двухступенчатый процесс с участием дефекта (рис. 28 б), то процессы рекомбинации электронов и дырок расцепляются:

$$\frac{dn}{dt} = G - U_n, \quad \frac{dp}{dt} = G - U_p, \quad (2.84)$$

где U_n и U_p — скорости рекомбинации электронов и дырок соответственно. Мы оставляем вычисление времен жизни электронов и дырок в этом случае читателю (см. задачу 2.5).

Механизма рекомбинации через центры рекомбинации недостаточно для описания люминесценции в кристаллических люминофорах. Всегда следует рассматривать два типа дефектов: *активаторы* и *ловушки*. Активаторы суть центры рекомбинации (обычно с расположенными относительно близко к зоне энергетическими уровнями), которые делают возможным излучательный переход. Ловушки захватывают свободные носители заряда на некоторое время и тем самым замедляют рекомбинацию. Типичный пример показан на рис. 28, в. Электрон поднимается из валентной зоны в зону проводимости. Там он захватывается ловушкой и тепловым образом освобождается через некоторое время. Затем следует излучательный переход в активатор, а оттуда, наконец, безызлучательное возвращение в валентную зону.

Эта модель требует большего числа уравнений баланса типа (2.84). Для изменения со временем концентраций носителей в обеих зонах и на каждом энергетическом уровне дефекта следует сформулировать отдельные уравнения. Разные концентрации связаны условием нейтральности. Для уровней, показанных на рис. 29, первое уравнение баланса, например, такое:

$$\frac{dn}{dt} = G - \tau n p + \alpha(n n_{T-} - n_1 n_{T-}) + \beta(n n_{A+} - n_2 n_{A-}), \quad (2.85)$$

где n_{T-} и n_{T-} — концентрации нейтральных и отрицательно заряженных ловушек соответственно, а n_{A+} и n_{A-} — соответствующие концентрации активаторов. Аналогичные уравнения должны быть составлены для изменения со временем n_{T-} , n_{A-} и p .

Подобные системы уравнений помогают дать ответ на многие важные вопросы. Решения для концентраций электронов и дырок дают *фотопроводимость*. В присутствии внешних полей или градиентов концентрации левую часть (2.85) следует дополнить дивергенцией электронного и дырочного тока. Эти системы уравнений позволяют также вычислить скорости перехода*) для отдельных

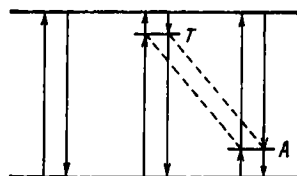


Рис. 29. Схема энергетических уровней для модели, описываемой уравнением (2.85)

*) Т. е. изменения числа частиц в единицу времени. (Примеч. пер.)