

О ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТВЕРДОГО НЕОНА

И.А. Фуголь, Е.В. Савченко, А.Г. Белов

Лишь недавно были начаты экспериментальные исследования эмиссионных спектров самых простых конденсированных систем — отвердевших инертных газов, хотя еще в 30-е годы эти кристаллы привлекались в качестве объекта теории свободных экситонов [1]. Трудности эксперимента усугубляются необходимостью применения низких температур и техники вакуумной ультрафиолетовой спектроскопии. Низжайшее возбужденное состояние твердых газов отделено от основного уровня энергией 8-17 эв — тем большей, чем легче газ. Поэтому относительно лучше исследованы тяжелые газы — ксенон [2,3], криптон [3], аргон [3]. Спектры кристаллов неона и гелия попадают в область длин волн короче 800 Å, где нет никаких оптически прозрачных материалов. Сейчас невозможно провести спектральные измерения люминесценции твердого гелия, так как он кристаллизуется при давлении свыше 25 атм. Излучение кристаллического неона наблюдалось лишь один раз и совсем недавно [4]. В данной работе получен спектр твердого неона и обнаружено новое

явление — тонкая структура (расщепление) полосы атомной люминесценции. Кроме того, изучены люминесценция кристаллов ксенона, криптона и аргона.

Для возбуждения и регистрации спектров отвердевших газов разработана специальная чувствительная методика. Свечение возбуждалось медленными электронами со средней энергией ~ 500 эв, которые не вызывают радиационных повреждений кристаллической решетки. Чувствительность схемы регистрации излучения составляла 10^{-17} ст. Исследования проведены с помощью ВМР-2 в области 500–3000 Å. Разрешение по спектру $\sim 0,3$ Å, рабочая щель ~ 20 мк. Образцы выращивались путем конденсации на охлажденную подложку в криостате. Техника и методика эксперимента более детально описаны в работе авторов [5].

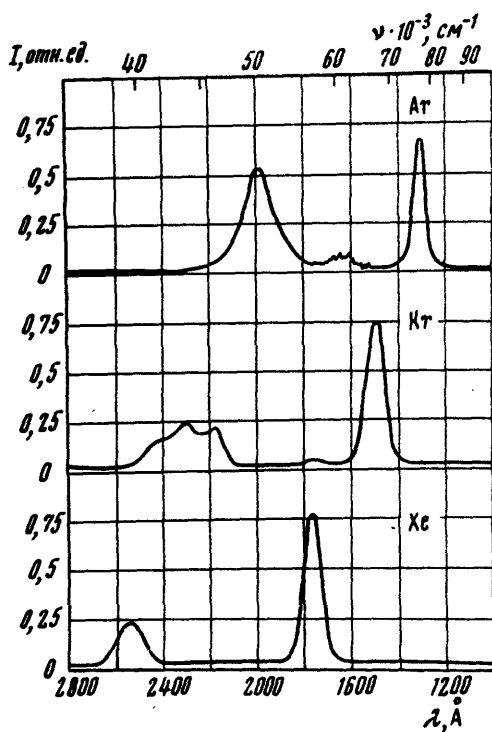


Рис. 1. Спектр люминесценции кристаллов аргона, криптона и ксенона при 6°K

Люминесценция твердых ксенона, криптона и аргона показана на рис. 1. Характерной особенностью спектров является наличие широких максимумов с полушириной порядка 100 Å, значительно сдвинутых в сторону меньших энергий по сравнению со спектрами экситонного поглощения. Тонкая линейчатая структура наблюдается только для полосы 1600 Å в спектре твердого аргона. Происхождение этой полосы пока не ясно. Остальные максимумы излучения в основном совпадают с описанными в литературе [2, 3]. Широкие полосы и красное смещение в спектрах отвердевших тяжелых газов объясняются воз-

никновением деформирующего экситона: свободный экситон или дырка захватываются решеткой с образованием центров люминесценции типа R_2^{\pm} или R_2^+ . Эти локализованные центры в кристалле аналогичны возбужденной молекуле или двухатомному молекулярному иону. Наличие их приводит к сильной деформации кристалла. Атомная люминесценция (свободные экситоны) в чистых кристаллах аргона, криптона и ксенона не наблюдается. Теоретическая оценка процесса захвата свободного экситона показывает, что время его локализации в тяжелых инертных газах мало и составляет величину $\tau \approx 6 \cdot 10^{-12}$ сек [6].

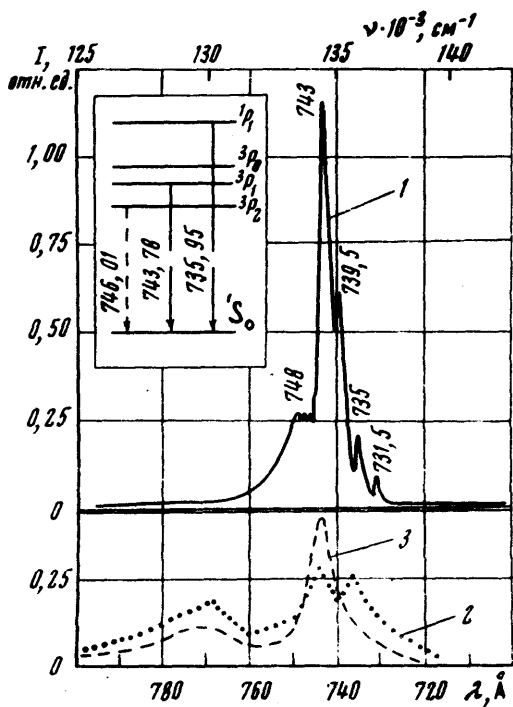


Рис. 2. Спектр излучения кристаллического неона при 8°K (кривая 1). Внизу для сравнения показаны спектры люминесценции газообразного неона (кривая 2) [7] и твердого неона по данным работы [4] (кривая 3). В левом углу приведены уровни нижних P – состояний атома неона

Спектр люминесценции кристаллического неона показан на рис. 2. Все излучение расположено в районе 740 \AA . Здесь обнаружена группа интенсивных узких линий $743; 739,5; 735; 731,5 \text{ \AA}$ с полушириной менее $0,5 \text{ \AA}$ и максимум при 748 \AA , полуширина которого составляет 8 \AA . Других полос в спектре мы не обнаружили. Для сравнения на рис. 2 представлены также литературные данные: спектр излучения газообразного неона [7] (кривая 2) и спектр люминесценции твердого неона по данным работы [4] (кривая 3).

Из наших экспериментальных данных видно, что полоса излучения кристаллического неона обладает линейчатой структурой, а сам спектр расположен в области резонансной люминесценции свободного атома неона. Были проведены специальные эксперименты, доказывающие, что наблюдаемое излучение принадлежит именно неону в кристаллическом состоянии. Спектры измерялись при различных

скоростях конденсации; в разных местах одного кристалла и в кристаллах различной толщины; менялась мощность возбуждающего пучка электронов. Спектры регистрировались непосредственно при конденсации и после выдержки образцов в вакууме. Во всех случаях линейчатая структура, расположение компонент в спектре и их относительная интенсивность оставались неизменными. Это означает, что мы наблюдаем собственную люминесценцию твердого неона.

Структура спектра люминесценции обусловлена несколькими различными причинами. Две пары линий 743, 735 и 739,5, 731,5 Å являются подобными и имеют характерное для свободного атома спин-орбитальное расщепление ($\Delta\nu_{so} = 1430 \text{ см}^{-1}$). Первая пара линий практически полностью совпадает со спин-орбитальным дублетом в газе. Возникновение двух пар спин-орбитального дублета, по нашему мнению, связано с расщеплением в кристалле уровней 3P_1 и 1P_1 . Это расщепление ($\Delta\nu_c = 640 \text{ см}^{-1}$) возникает вследствие понижения симметрии центра свечения. При возбуждении атома неона в P -состояние с вытянутой орбитой электрона должно сниматься вырождение благодаря несимметричному искажению кристаллической решетки. Чтобы каждый из P -термов расщепился на два, достаточно локального понижения точечной симметрии центра свечения от октаэдрической до аксиальной.

Более широкий максимум вблизи 748 Å, по-видимому, обусловлен переходом $^3P_2 - ^1S_0$, который запрещен в свободном атоме и ранее никогда не наблюдался в спектре неона. В кристалле этот переход может разрешиться из-за нарушения сферической симметрии. Ширина этого максимума возможно связана с наличием нескольких неразрешаемых компонент.

Близость линий в твердой и газообразной фазах является следствием малой поляризуемости атомов неона.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук УССР

Поступила в редакцию
17 июля 1972 г.

Литература

- [1] Y. Frenkel. Phys. Rev., 37, 17, 1276, 1931.
- [2] Н.Г. Басов, О.В. Богданкевич, В.А. Данилычев, Г.Н. Кашников и др. Письма в ЖЭТФ, 7, 404, 1968; J. Luminescence, 1, 834, 1970.
- [3] J. Jortner, L. Meyer, S.A. Rice, E.G. Wilson. J. Chem. Phys., 42, 4250, 1965.
- [4] R.E. Packard, F. Reif, C.H. Surko. Phys. Rev. Lett., 25, 1435, 1970.

- [5] А.Г. Белов, Е.В. Савченко, И.Я. Фуголь. Физика конденсированного состояния. ФТИИТ АН УССР (Харьков), вып. 10, 229, 1970.
- [6] M. Martin. J. Chem. Phys., 54, 3289, 1971.
- [7] T.E. Stewart, G.S. Hurst, T.E. Bortner, J.E. Parks, F.W. Martin, H. Weidner. JOSA, 60, 1290, 1970.
-