

КВАЗИЛИНЕЙЧАТОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ТВЕРДОГО НЕОНА ПРИ ПЕРЕХОДАХ МЕЖДУ ВОЗБУЖДЕННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ

А. Г. Белов, В. Н. Свищев, И. Я. Фуголь, Е. М. Юртаева

В люминесценции твердого Ne обнаружена серия полос, соответствующих переходам между возбужденными $2p^5 3p \rightarrow 2p^5 3s$ состояниями. Предложена схема формирования квазиатомных локальных $3p$ -состояний и их селективного заселения на основе процессов диссоциативной рекомбинации.

Криокристаллы инертных элементов являются широкозонными диэлектриками и характеризуются интенсивной люминесценцией в дальней УФ области спектра, возникающей при переходах с нижайших возбужденных на основное состояние [1]. В видимой и ближней УФ областях спектра в твердых Xe, Kr и Ar наблюдается слабое континуальное излучение [2], происхождение которого в твердой фазе до сих пор неясно. В спектре излучения твердого Ne практически нет континуума, но еще в работе [2] была замечена группа линий между 6150 и 7950 Å, которые не удается приписать никаким посторонним примесям. Детальное исследование спектра катодолюминесценции криокристаллов неона, проведенное в настоящей работе, показало, что в красной области спектра проявляется не менее 26 узких полос, практически линий, которые могут быть полностью сопоставлены переходам между двумя возбужденными термами атома неона $2p^5 3p \rightarrow 2p^5 3s$. Каждая полоса состоит из узкой бесфононной линии и фононного крыла. Длины волн бесфононных линий с точностью до 1 Å совпадают с атомными. Это удивительно близкое совпадение частот заставило провести контрольные эксперименты, доказывающие, что излучение происходит из твердого образца, а не газа. Изучены температурные особенности и концентрационное тушение спектра. Предложена возможная схема создания локальных квазиатомных состояний $3p$ и их селективного заселения в криокристаллах неона.

Исследуемые образцы твердого неона выращивались путем конденсации газа на металлическую подложку, охлажденную жидким гелием. Кристаллиты неона, размером свыше 1000 Å, возбуждались пучком электронов с энергией от 100 до 500 эВ. Излучение регистрировалось с помощью монохроматора и системы детектирования отдельных фотонов. Разрешение по спектру составляло $1 \div 1,5 \text{ см}^{-1}$. Видимая люминесценция твердого Ne расположена в области 8000 – 6000 Å и представляет собой группу 26 полос, ширина которых не превышает $1,5 \text{ см}^{-1}$. Наблюдаемый спектр и идентификация его как серии переходов $2p^5 3p \rightarrow 2p^5 3s$ показаны на рис. 1. Распределение интенсивностей на рис. 1 существенно отличается от спектра газового разряда и свечения газа над холодной поверхностью при $T = 80 \text{ К}$ и ближе к спектру плотного газа при давлениях свыше 1 атм [3].

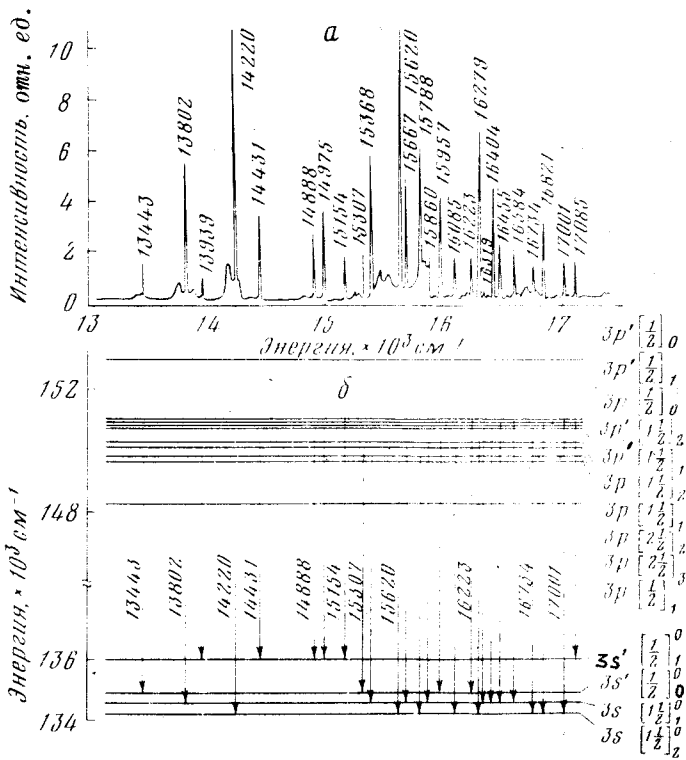


Рис. 1. Спектр люминесценции кристаллического неона в области $2p^5 3p \rightarrow 2p^5 3s$ переходов (а) и соответствующая идентификация (б)

Наблюдаемый спектр неона прежде всего вызывает вопрос, светит ли газ над холодной поверхностью, сбиваемый электронным пучком, или твердый образец? Для выяснения этого на кристаллическую пленку неона наносился сверху слой ксенона толщиной до 1 мк и исследовался спектр излучения сэндвича Хе — Не. Наблюдаемый спектр содержал ту же группу полос Не, несколько ослабленную и расположенную на фоне континуального излучения твердого Хе. Другими контрольными экспериментами были исследования спектров отвердевшей смеси $O_2 + Ne$ при изменении концентрации O_2 . Наблюдалось резкое тушение интенсивности узких полос Не и их более широкого крыла в отношении $1 : 5 \cdot 10^{-1} : 7 \cdot 10^{-2}$ при концентрациях кислорода $10^{-2} : 1 : 4$ мол%, соответственно. По мере тушения полос Не в спектре усиливалась серия примесных полос $O_2^+ A^2\Pi_u \rightarrow X^2\Pi_g$ в области $3600 - 4700 \text{ \AA}$, имеющая характерный матричный сдвиг по отношению к газу $\Delta E \approx 250 \text{ см}^{-1}$. Еще одним свидетельством в пользу того, что наблюдаемые узкие полосы принадлежат твердой фазе, является факт существования у каждой узкой линии длинноволнового крыла.

Как видно из рис. 1 длинноволновое крыло наблюдается почти у всех линий. Интенсивность и форма крыльев, а также их структура существенно зависят от температуры и энергии возбуждающих электронов (см. рис. 2). С уменьшением T и энергии электронов длинноволновое крыло становится менее интенсивным, а его максимум приближается к узкой линии. Отношение интегральных интенсивностей узких

линий и крыла для переходов из нижайшего $3p$ -состояния на три нижних $3s$ -уровня составляет 10^{-1} , для других переходов еще меньше. При разогреве образцов неона в структуре длинноволнового крыла чаще всего выделяется максимум на расстоянии $40 - 50 \text{ см}^{-1}$ от узкой линии. Температурные изменения крыла, а также соответствие максимума его структуры частоте дебаевских фононов твердого Ne ($\omega_D = 52 \text{ см}^{-1}$) позволяют предположить фононное происхождение крыла.

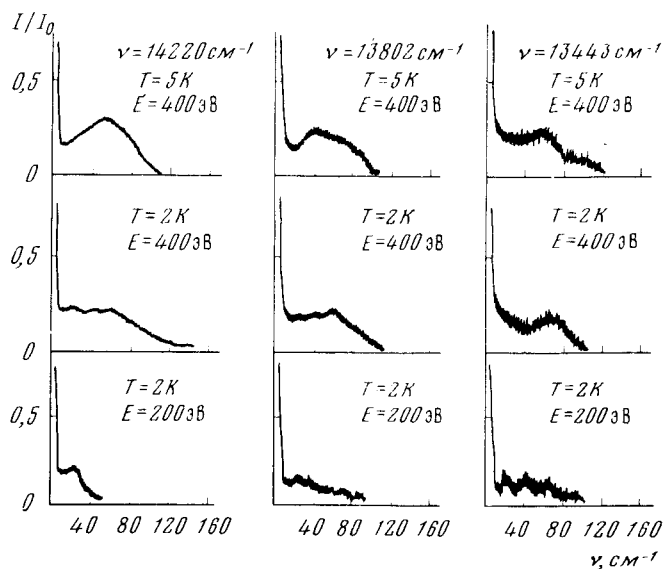


Рис.2. Распределение интенсивности в фоновых спутниках в зависимости от температуры и энергии возбуждающих электронов

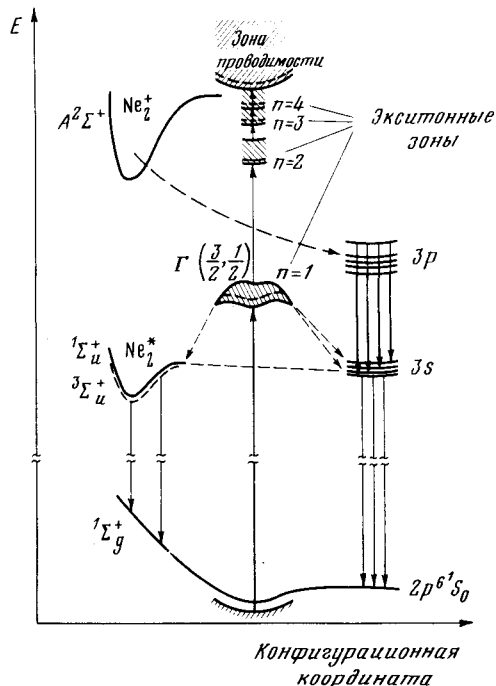


Рис.3. Общая схема процессов заселения и высвечивания автолокализованных состояний в кристаллах неона

Если признать, что наблюдаемое излучение происходит из возбужденных состояний твердой фазы, то требуется рассмотреть следующее: 1) механизм образования и селективного заселения локальных уровней $3p$ в твердом Ne по сравнению с другими возбужденными состояниями; 2) причину совпадения частот в твердой и газовой фазах. Схема расположения зон и локализованных квазиатомных и квазимолекулярных состояний в твердом Ne показана на рис. 3. При возбуждении электронами наряду с прямым возбуждением экситонных состояний происходит образование ионов Ne^+ , которые в решетке легко локализуются в молекулярный ион Ne_2^+ . При диссоциативной рекомбинации молекулярных ионов $Ne_2^+ + e \rightarrow (Ne_2^*) \rightarrow Ne^* + Ne$ эффективно заселяются именно $3p$ -состояния неона [3]. Недавно установлено, что в жидких Ar , Kr и Xe значительная часть возбуждений в нижних экситонных зонах возникает именно в результате диссоциативной рекомбинации [4]. Можно предположить, что в легко деформируемой решетке Ne , в отличие от Kr и Xe , в результате диссоциативной рекомбинации возникают непосредственно локальные квазиатомные состояния $3p$. Действительно, экситонная зона этих состояний расположена выше уровня локализованного молекулярного иона, а зона $\Gamma(3/2, 1/2)$ узкая и не перекрывается с локальными $3p$ -уровнями. Квазиатомные центры неона в решетке образуют вокруг себя микрополость [1]. Поскольку взаимодействие $3p$ - и $3s$ -состояний с окружением не сильно отличаются друг от друга, то атомные переходы внутри микрополости происходят с частотами свободного атома. Механизм возникновения квазиатомных $3p$ -состояний в решетке неона и видимая люминесценция его позволяют объяснить причину столь интенсивного излучения из $3s$ -состояний на основном в дальней УФ области [1].

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
13 июня 1979 г.

Литература

- [1] И.Я.Фуголь. *Adv. Phys.*, 27, 1, 1978.
- [2] L.I.Schoen, H.P.Broida. *J. Chem. Phys.*, 32, 1184, 1960.
- [3] А.Б.Дмитриев, В.С.Ильяшенко. А.И.Миськевич, Б.С.Саламаха. *Оптика и спектроскопия*, 43, 1165, 1977.
- [4] S.Kubota, M.Hishida. M.Suzuki, I.Raun. Tokyo, RUP-79-2, 1979.