

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**XI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ЛАЗЕРНЫЕ, ПЛАЗМЕННЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ –  
ЛАПЛАЗ-2025»**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

Москва

## АПКОНВЕРСИОННАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПЕРОВСКИТНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Показана высокая эффективность механизмов апконверсии в перовскитных нанокристаллах CsPbBr<sub>3</sub>, в результате которой квантовый выход апконверсионной фотолюминесценции оказывается сопоставим с квантовым выходом без апконверсии. Показано, что в механизме апконверсии участвуют одно- и двухфононные процессы с сопоставимой вероятностью.

N.S. POKRYSHKIN, V.G. YAKUNIN, V.N. MANTSEVICH, A.M. SMIRNOV, V.Y. TIMOSHENKO  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## UPCONVERSION PHOTOLUMINESCENCE OF PEROVSKITE NANOCRYSTALS UNDER RESONANT LASER EXCITATION

The high efficiency of upconversion mechanisms in CsPbBr<sub>3</sub> perovskite nanocrystals is demonstrated, as a result of which the quantum yield of upconversion photoluminescence is comparable to the quantum yield of photoluminescence without upconversion. It is shown that one- and two-phonon processes with comparable probabilities participate in the upconversion mechanism.

В результате лазерного возбуждения в галогенидных перовскитных нанокристаллах (ПНК) может наблюдаться значительная доля апконверсионной (антистоксовой) фотолюминесценции (АФЛ). В работе исследовались особенности стоксовой и антистоксовой фотолюминесценции (ФЛ) при непрерывном лазерном возбуждении в ПНК состава CsPbBr<sub>3</sub>, которые синтезировались методом переосаждения с помощью лигандов при комнатной температуре. Нанокристаллы кубической формы имели средние размеры около 25 нм. Источниками лазерного излучения являлись: аргоновый лазер с перестраиваемой генерацией, непрерывные DPSS-лазеры на 521 и 532 нм.

Квантовый выход ФЛ ПНК CsPbBr<sub>3</sub> (рис.1) практически не зависит от длины волны возбуждения в стоксовом режиме ФЛ вплоть до совпадения линии возбуждения с полосой ФЛ (около 521 нм). При существенном доминировании апконверсионной части ФЛ (возбуждение на 532 нм) наблюдается снижение квантового выхода ФЛ в 1.5 – 6 раз. Этот результат может объясняться тем, что поглощение света на 532 нм в ПНК CsPbBr<sub>3</sub> оказывается очень малым и осуществляется в большей степени дефектными нанокристаллами, которые в свою очередь имеют низкий квантовый выход ФЛ. Однако при возникновении необходимости апконверсии вероятность переизлучения поглощённого фотона не снижается на порядки. Если бы АФЛ в ПНК являлась процессом одновременного поглощения фотона и нескольких фононов (энергия фонона в CsPbBr<sub>3</sub> ~17 мэВ [1], а апконверсия в CsPbBr<sub>3</sub> может достигать до ~100 мэВ [2]), то вероятность таких многофононных процессов была бы крайне низка и квантовый выход не мог бы достигать значений, сопоставимых с квантовым выходом ФЛ без апконверсии. Температурная зависимость стоксовой и антистоксовой частей ФЛ (рис. 2) показала, что на фоне общего тушения ФЛ с ростом температуры наблюдается увеличение доли апконверсионной части ФЛ, что можно связать с ростом числа фононов, участвующих в процессе апконверсии. Наблюдаемое изменение отношения антистоксовой и стоксовой частей ФЛ изменяется не линейно и не квадратично с ростом числа фононов (как это было бы в случаях одно- и двухфононных процессов соответственно), а занимает промежуточное положение. В формировании АФЛ принимают участие одно- и двухфононные процессы, а увеличение энергии фотонов на большие значения до ~100 мэВ не может объясняться простым одновременным поглощением нескольких фононов.

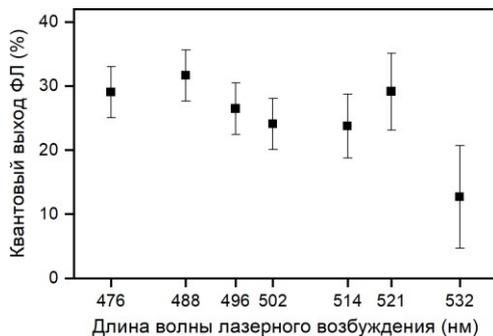


Рис. 1. Квантовый выход ФЛ перовскитных нанокристаллов CsPbBr<sub>3</sub> при непрерывном лазерном возбуждении на различных длинах волн.

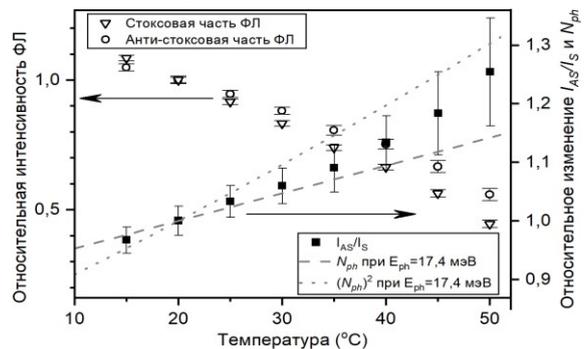


Рис. 2. Изменения интенсивностей антистоксовой и стоксовой частей ФЛ нанокристаллов CsPbBr<sub>3</sub>, а также изменение числа фононов в зависимости от температуры образца

### Список литературы

1. Ghosh S., Rana D., Pradhan B. and others // J. Raman Spectrosc. 2021. Vol. 52, № 12. P. 2338–2347.
2. Granados del Águila A., Do T. T. H., Xing J. and others // Nano Res. 2020. Vol. 13. P. 1962–1969.