

和周波発生を用いた超蛍光の観測

Observation of superfluorescence using sum frequency generation

青学大理工 ○北野 健太, 前田 はるか

Phys. Sci. Dept., AGU, °Kenta Kitano, Haruka Maeda

E-mail: kkitano@phys.aoyama.ac.jp

超蛍光とは自然放出過程を介して互いに結合した粒子集団からコヒーレントな光パルスが放出される量子多体現象である。その理論は二準位系の粒子集団に関して確立されている。ディック状態と呼ばれる多粒子の重ね合わせ状態を基底とする事で、粒子が結合され自然放出レートが過渡的に増強する現象を理解できる。一方、多準位系の粒子集団では、超蛍光によって誘起される非線形光学現象（便宜上、非線形超蛍光現象と呼ぶ）が数多く報告されている。非線形超蛍光現象では、粒子集団のエンタングルメントに加えてカスケード型の遷移に伴う光子ペアのエンタングルメントが関与すると予測される。多準位系を対象とした超蛍光現象の理論は未整備である事から、これを整備し新奇輻射現象を開拓する事が期待される。そのためには輻射場の量子性を解明する事が鍵となるが、それに先立ち、古典的な性質を明らかにする事は必要不可欠である。しかし、非線形超蛍光現象の輻射場は赤外から可視域に渡る事が多く、特に赤外域では一般的な光学ディテクタを用いて非線形超蛍光現象の高速な緩和過程を観測する事は難しい。そこで我々は和周波発生分光法を適用する事で、非線形超蛍光現象の全ての輻射場を十分な時間分解能で観測した[1]。

チタンサファイアレーザーパルスの二倍波の出力（パルス幅 100 フェムト秒、中心波長 420 nm、エネルギー 0.3 mJ）を加熱したガラスセル中に集光する事で、セル中に封入されたルビジウム原子を 5S から 6P へと励起した（図 1(a) 参照）。6P→6S→5P→5S の三光子脱励起過程によって、同軸上に放出される三色の超蛍光パルスを厚

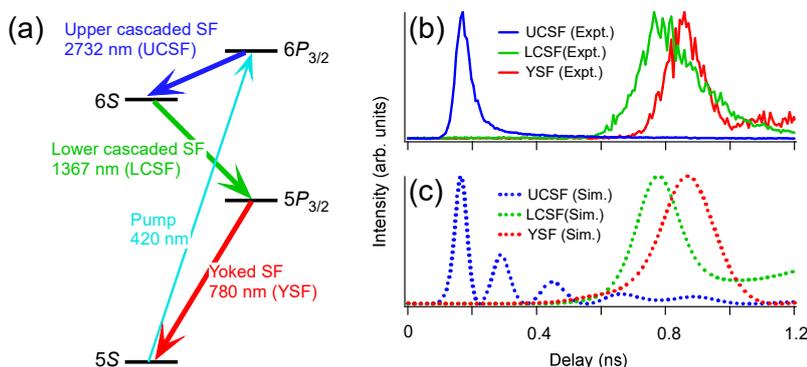


図 1 (a) 非線形超蛍光現象で関与する遷移模式図。和周波発生分光法によって観測された非線形超蛍光現象の各輻射場(b)と実験結果を再現するシミュレーション結果(c)。

さ 2 mm の BBO 結晶中に集光させた。プローブ光としてチタンサファイアレーザーパルスの基本波を用い、遅延時間を制御した上で BBO 結晶中に照射し各輻射場との和周波を発生させた。発生した和周波を三角プリズムや光学フィルターで分離し光電子増倍管で検出した。図 1(b)に観測された三色の輻射場の時間プロファイルを示す。時刻の原点は励起光の照射時刻とした。6P→6S の遷移に伴う UCSF は励起光照射後、一定の時間を経て放出された。さらに 6S→5P の遷移に伴う LCSF は UCSF が放出された後、一定の時間を経て放出された。これらは超蛍光がカスケード的に放出された事を実証している。一方、5P→5S の遷移に伴う YSF は LCSF と時間的に重なっており、両者が互いに相関しながら放出されている事が予測される。これらの実験結果は、マックスウェルブロッホ方程式の数値解によるシミュレーション結果（図 1(c)）によって再現された。今後は、これらの輻射場の量子性を明らかにするための実験手法、解析手法の開発へと展開する事が期待される。

[1] K. Kitano and H. Maeda, Opt. Lett. **48**, 69 (2023).