

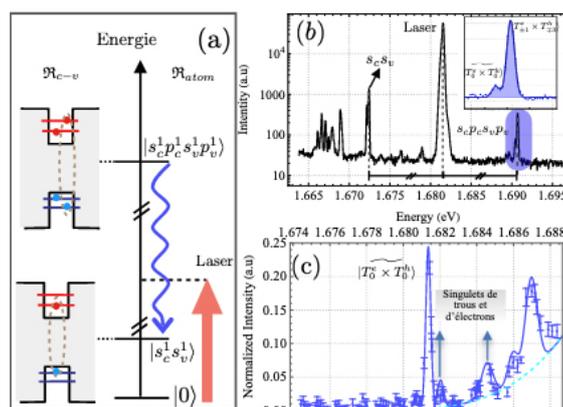
Une nouvelle spectroscopie pour résoudre les états de spin dans les boîtes quantiques de GaAs/AlAs

La génération à la demande de photons intriqués est une réalisation essentielle conduisant à des applications importantes pour les technologies quantiques. Dans les boîtes quantiques semiconductrices (BQ), la cascade radiative biexciton-exciton est alors utilisée avec succès. L'excitation résonante à deux photons (ER2P), préparant l'état biexcitonique de manière cohérente, améliore grandement la production des paires de photons intriqués et indiscernables. Des membres de l'INSPI ont trouvé une utilisation inédite de cette technique (ER2P) pour sonder de manière résonante les propriétés de spin d'états biexcitoniques excités - impossibles à détecter par des techniques plus conventionnelles - où les deux paires électron-trou (e-t) occupent des niveaux orbitaux différents.

L'ER2P est un processus d'absorption optique non-linéaire permettant de créer simultanément deux paires e-t dans la BQ (fig.(a)). Alors que cette technique demeurerait limitée aux seuls niveaux orbitaux de valence et de conduction de plus basses énergies, son extension vers d'autres niveaux excités a été démontré. Ceci permet de sonder les propriétés de spin de biexcitons hybrides construits avec une paire e-t sur les niveaux de conduction et de valence s_c et s_v et une autre sur p_c et p_v ou s et p qui dénotent les états électroniques confinés de la boîte possédant la même symétrie que leurs homologues atomiques S et P-. La recombinaison radiative de la paire p_c - p_v est alors détectée à plus haute énergie et laisse dans la boîte une paire e-t sur s_c et s_v (fig.(a)). Elle fait apparaître cependant une structure de doublet (fig.(b)) liée à une structure fine dépendant des différentes configurations du spin.

La résolution de cette structure fine nécessite de considérer l'ensemble des configurations de spin résultants de ces 4 particules e & t en interaction, soit $2^4=16$ états au total, dont 9 sont construits avec des états triplets, et les autres avec des états singulets de spin soit d'électron soit de trou. Le doublet luminescent observé résulte de la recombinaison d'états triplets identifiés par élimination des configurations dites « noires » (*i.e.* non couplées à la lumière) d'une part, et d'autre part en rejetant les états singulets qui relaxent efficacement *via* des processus non-radiatifs. En particulier, la raie d'émission de plus basse énergie est attribuée aux états triplets d'électron et de trou de projections de spin nulles. Ce signal sert alors de sonde pour détecter les états de plus haute énergie dont l'émission est quasi-indétectable.

La fig.(c) montre l'évolution de l'intensité de luminescence lorsque l'énergie du laser scanne finement la résonance à deux photons. La résonance principale associée à l'excitation à deux photons est accompagnée par une succession de résonances d'amplitude plus petite. Les deux premières résonances ont été attribuées successivement aux états singulets de trous puis d'électrons. L'excitation à deux photons a permis d'adresser ces états singulets, qui se thermalisent rapidement vers les états triplets, ce qui explique l'origine du signal observé sur la fig. (c). Il devient alors possible de mesurer les intégrales d'échanges t-t J_{t-t} et e-e J_{e-e} dans ce système de BQ sans pour autant mesurer la luminescence excessivement faible des états singulets.



Figure

(a) Schéma de niveaux représentant l'excitation résonante à 2 photons entre l'exciton et le biexciton. La représentation de ces quasi-particules est sous deux formes : la représentation « conduction-valence » \mathcal{R}_{c-v} et la représentation « atomique » \mathcal{R}_{atom} .
 (b) Spectre de luminescence montrant la réalisation expérimentale de l'excitation résonante à 2 ph. L'insert agrandit la luminescence issue des niveaux excités p_c - p_v , où l'on voit apparaître le doublet.
 (c) Intensité de luminescence d'un des états triplets en fonction de l'énergie du laser.

Cette nouvelle spectroscopie sonde les états singulets très efficacement. Elle a déjà permis de mettre en évidence des effets à N-corps entre porteurs, demeurant importants dans les boîtes de GaAs/AlAs où la force du confinement quantique demeure relativement faible. En outre, elle rend possible la manipulation cohérente des porteurs localisés sur des états orbitaux de hautes énergies, offrant de nouveaux degrés de liberté pour les protocoles de contrôle tout-optique du spin dans les boîtes quantiques.

Référence

"Unveiling the spin-singlet states of two electron-hole pair complexes using two-photon excitation in a GaAs/AlAs quantum dot"

S. Germanis, P. Atkinson, A. Bach, R. Hosten, R. Braive, M. Vabre, F. Margaillan, M. Bernard, V. Voliotis, and B. Eble
PHYSICAL REVIEW B 105, 235430 (2022)

Contact

benoit.eble@insp.jussieu.fr