

Ekscytony rydbergowskie są niezwykleymi strukturami stanowiącymi swoisty pomost między światem makroskopowym, a kwantowym. By zrozumieć ich istotę, zacząć musimy od niezwykle małego obiektu, najmniejszej możliwej (bo punktowej!) cząstki - elektronu. W półprzewodnikach większość elektronów związana jest silnie z atomami. Nawet te umiejscowione najdalej od jąder atomowych, czyli tzw. elektrony walencyjne, muszą otrzymać dużą porcję energii (równą tzw. przerwie energetycznej), by uwolnić się. Energię tą możemy dostarczyć w postaci cząstki światła - fotonu. Oderwany od macierzystego atomu elektron nie jest jednak całkiem swobodny. Pozostaje po nim dziura - brakujący ładunek ujemny, który możemy traktować jak cząstkę o ładunku dodatnim. Cząstki o przeciwnych ładunkach przyciągają się elektrostatycznie, tworząc twór bardzo zbliżony do atomu wodoru, w którym także mamy do czynienia z elektronem krążącym wokół dodatnio naładowanej cząstki. Powstaje ekscyton. Tak samo, jak w przypadku atomu, orbity mogą mieć różne, ale skwantowane rozmiary orbity, które skalujemy główną liczbą kwantową n . O ekscytonach rydbergowskich mówimy wtedy, gdy liczba kwantowa n jest znacznie większa od 1. Tak wysokie poziomy mają bardzo niewielkie energie wiązania. Oznacza to, że takie prawie swobodne elektrony bardzo mocno reagują na zewnętrzne oddziaływania, np. pole elektryczne czy magnetyczne. Co więcej, promienie tych orbit $\sim n^2$ są ogromne - sięgają mikrometrów i są znacznie większe, niż długość fali światła, które ekscytony rydbergowskie wytworzyła oraz setki razy więcej niż odległości między atomami. Mówimy więc o obiekcie kwantowym, którego rozmiary są porównywalne z grubością pajęczyny! To jest właśnie kluczowa własność sprawiająca, że ekscytony rydbergowskie są tak interesującymi strukturami - dają one niespotykane możliwości obserwacji zjawisk kwantowych w skali niekwantowej. Można powiedzieć, że ekscytony rydbergowskie stanowią łącznik między mikro- a makroświatem, ilustrując ciągłość praw między fizyką kwantową i klasyczną.

W naszym projekcie zajmiemy się badaniem wielu aspektów oddziaływania fal elektromagnetycznych (o częstości z zakresu światła widzialnego oraz mikrofal) z ekscytonami rydbergowskimi. Wykorzystamy ich unikalne cechy - dużą wrażliwość na zewnętrzne pola, ogromny zasięg oddziaływań między ekscytonami, bardzo niewielkie różnice energii między wysokimi poziomami i długie czasy życia.

W układzie fizycznym, w którym istnieją ekscytony rydbergowskie, może zachodzić efekt Franza - Keldysha. W procesie tym przyłożone do półprzewodnika pole elektryczne powoduje modyfikację współczynnika absorpcji ośrodka. Zamierzamy opisać przebieg tego zjawiska w kryształ Cu₂O.

Silne, długozasięgowe oddziaływania między ekscytonami prowadzą do tzw. efektów nieliniowych. Sposób rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w ośrodku staje się zależny od jej natężenia oraz szeregu czynników zewnętrznych związanych z ośrodkiem, jak np. temperatura. W naszych badaniach skupimy się na własnościach optycznych wynikających z przejść wewnątrz- i międzypasmowych.

Duże rozmiary ekscytonu sprawiają, że „widzi” on swoje bliższe i dalsze otoczenie. Jeśli spróbujemy ograniczyć jego mobilność, zamykając go np. w tzw. drucie kwantowym, to znacząco zmienimy jego własności. W przeciwieństwie do typowych struktur kwantowych (studnie, kropki, druty) nie mówimy tu o nanometrach (skąd bierze się popularna nazwa „nanostruktury”), ale o obiektach znacznie większych, przez co łatwiejszych do wykonania.

Elektromagnetycznie indukowana przezroczystość (EIT) jest spektakularnym efektem kwantowym pozwalającym na spowolnienie, a nawet całkowite zatrzymanie i przechowywanie światła - fotonów w postaci wzbudzeń ośrodka. W ten sposób tworzy się pamięci kwantowe, co stanowi pierwszy krok do konstrukcji komputera kwantowego. Wykorzystywane zazwyczaj do realizacji tego zjawiska ośrodki są gazowe, przez co niezbyt nadają się do budowy wysoce zminiaturyzowanych urządzeń. Cała „drabinka” poziomów energetycznych dostępnych dzięki ekscytonom rydbergowskim daje szerokie możliwości realizacji EIT w ciele stałym takim, jak np. Cu₂O. Zamierzamy zbadać możliwości realizacji tego procesu, w szczególności określimy wpływ efektów nieliniowych na przebieg zjawiska oraz możliwości przechowywania światła w tzw. koherencjach ekscytonowych. Wykorzystamy tu kolejną zaletę ekscytonów rydbergowskich - stosunkowo długie czasy ich życia.

Wiele dostępnych poziomów energetycznych pozwala także rozważać realizację masera, czyli odpowiednika lasera dla częstości mikrofalowych. W tym właśnie zakresie widma emitowane są fotony przy przejściach między wysokimi stanami. Silna reakcja ekscytonów na zewnętrzne pole daje nadzieję na łatwe zainicjowanie tzw. akcji laserowej, czyli lawinowej emisji fotonów tworzących zwartą, koherentną wiązkę.