Początki mechaniki kwantowej przyprawiły najtęższe umysły tamtych czasów o bóle głowy. Choć wydawało się, że świat jest wyczerpująco opisany na gruncie fizyki klasycznej, głębiej krył się chaos. Okazało się, że mikroskopowym światem rządzi przypadkowość i zawiera on ograniczenia nie do przejścia. Ponad sto lat upłynęło a my wciąż z ekscytacją odkrywamy szczegóły i możliwości mechaniki kwantowej. Wiele z tych odkryć było możliwe dzięki tak zwanej ultrazimenj fizyce. Poczynając od zbudowania pierwszych laserów, naukowcy nauczyli się jak chłodzić i pułapkować atomy, osiągając obecnie temperatury tak niskie jak 100 nK. Jest to siedem rzędów wielkości mniej niż jakiekolwiek naturalnie powstałe miejsce we wszechświecie. Trudzimy się osiąganiem aż tak niskich temperatur, ponieważ wtedy cząstki niemal zaprzestają swojego chaotycznego ruchu. Odkrywają przed nami swoją kwantową naturę i stają się kontrolowalne. Ultrazimne układy dają wiele możliwości badań w fizyce wielu ciał, informacji kwantowej i symmulacjach kwantowych. Korzystamy z nich na gruncie nauki fundamentalnej, ale też na codzień – dzięki nim mamy GPS, przewidujemy trzęsienia ziemi i budujemy komputery kwantowe. W dzisiejszych czasach potrafimy chłodzić wiele róznych pierwiastków, jonów i cząsteczek. Rozważamy je pojedynczo a także jako gazy termiczne, sieci czy kondensaty. W szczególności, autorka projektu zajmuje się cząsteczkami Rydbergowskimi.

Atom Rydbergowski to coś pomiędzy zwykłym atomem a jonem - jeden z jego elektronów jest silnie wzbudzony, daleko od jądra. Mimo wysoce energetycznego elektronu, cały atom może być schłodzony do ultrazimnego reżimu. Atomy Rydbergowskie wykazują wiele unikatowych właściwości. Mogą być bardzo duże, a im większe (bardziej wzbudzone) tym dłuższe są ich czas życia i polaryzowalność. Cechy te skupiły uwagę naukowców, ponieważ wskazują one na stosunkowo łatwą manipulację Rydbergami oraz możliwości realizowania obliczeń kwantowych i układów wielociałowych. W eksperymencie, silne wzbudzenie elektronu powoduje oddziaływanie z odległymi atomami w próbce. Zatem naturalnym krokiem jest wzięcie pod uwagę cząsteczek zbudowanych z atomu Rydbergowskiego i atomu w stanie podstawowym. Takie cząsteczki mają olbrzymie momenty dipolowe oraz wykazują ciekawe, periodyczne zachowanie spektrum energetycznego i złożoną charakterystykę przestrzenną funkcji falowej. W tym projekcie, łączymy cząsteczki Rydbergowskie z wysoce magnnetycznymi atomami.

Magnetyczne atomy (takie jak erb czy dysproz) to nowizjusze w fizyce Rydbergowskiej. Pierwsza obserwacja stanów Rydbergowskich w erbie miała miejsce w zeszłym roku i zwiastuje postępy tej dziedziny. Lantanowce moją znacznie bardziej skomplikowaną strukturę niż jakikolwiek wcześniej rozważany pierwiastek w stanie Rydbergowskim. Na przykład, erb ma czternaście elektronów walencyjnych z dużym niezrównoważonym spinem. Dotychczas fizycy pracowali najczęściej z Rb i Sr, które mają odpowiednio jeden i dwa elektrony walencyjne. Lantanowce dają również wiele możliwości manipulacji doświadczalnej i nowych przejść elektronowych.

W naszej pracy, zaczynamy od przyjrzenia się spektum energetycznemu pojedynczych cząsteczek Rydbergowskich (homojądrowych erbu i heterojądrowych złożonych z Er i Rb) w poszukiwaniu wyjątkowych cech magnetycznych. Używamy do tego najlepszych istniejących narzędzi teoretycznych (formalizmu funkcji Greena, wielokanałowej teorii rozpraszania z defektem kwantowym) a także konstruujemy własny model do opisania tych złożonych cząsteczek. Przewidujemy możliwość symulowania kwantowego magnetyczmu z cząsteczkami Rydbergowskimi, zatem w kolejnych krokach rozważamy układy wielu ciał. Są to kompozyty Rydbergowskie – jeden wzbudzony atom Rydbergowski i morze atomów w stanach podstawowych, oraz szeregi i sieci magnetycznych cząsteczek. Ta dziedzina fizyki jest jeszcze bardzo młoda, ale wszystkie zaproponowane zadania będą możliwe do zrealizowania doświadczalnie.