

Od gekona do splątania kwantowego

czyli z naddźwiękową prędkością od molekuł do atomów

Co może łączyć kroczonego po pionowej szybie gekona z eksperymentalną realizacją kwantowego splątania między atomami? Aby poznać odpowiedź, należy zgłębić naturę oddziaływań van der Waalsa (vdW), wiązki naddźwiękowej, dysocjacji molekuł i suchej adhezji.

Zacznijmy od oddziaływania vdW. To jedno z najsłabszych oddziaływań elektrostatycznych. Jest odpowiedzialne za wiele zjawisk, takich jak dyfuzja, lepkość, czy adhezja. Jest oddziaływaniem krótkozasięgowym, działa na odległościach do kilku nanometrów. Obiektami oddziałującymi są te, których atomy posiadają trwałe lub chwilowy rozkład ładunku w chmurze elektronów, tzw. elektryczny moment dipolowy (emd). W Zakładzie Fotoniki najbardziej interesuje nas dyspersyjne oddziaływanie vdW, występujące między dwoma atomami, z których każdy posiada chwilowy emd.

Kolej na wiązkę naddźwiękową. Aby dwa atomy z chwilowymi emd mogły się zbliżyć i utworzyć molekułę, należy zapewnić im odpowiednie warunki. Oddziaływanie między takimi atomami jest bardzo słabe i, w warunkach normalnych (ciśnienia i temperatury), molekuły nie powstaną. Sprzyjające warunki stwarza środowisko wiązki naddźwiękowej. Jest to ekspansja atomów przez małą dyszę z obszaru źródła utrzymywanego pod wysokim ciśnieniem do próżni. Zderzenia zachodzące w dyszy i rozprężanie

Prof. dr hab. Jarosław Koperski w Zakładzie Fotoniki (<http://zf.if.uj.edu.pl/pl/czasteczki>) prowadzi badania molekuł van der Waalsa oraz mechanizmów kwantowo-mechanicznego splątania atomów. Jest autorem książki *Van der Waals complexes in supersonic beams: laser spectroscopy of neutral-neutral interactions*. Kieruje Centrum ATOMIN-Fizyka (www.atomin.uj.edu.pl/). Współpracuje z fizykami z Polski (Gdańsk, Warszawa) i z zagranicy (USA, Kanada, Niemcy, Austria, Australia). Jest członkiem paneli i ekspertem w wielu programach krajowych i zagranicznych, m.in. ERC. Od 2008 roku pełni funkcję prodziekana.

jaroslaw.koperski@uj.edu.pl

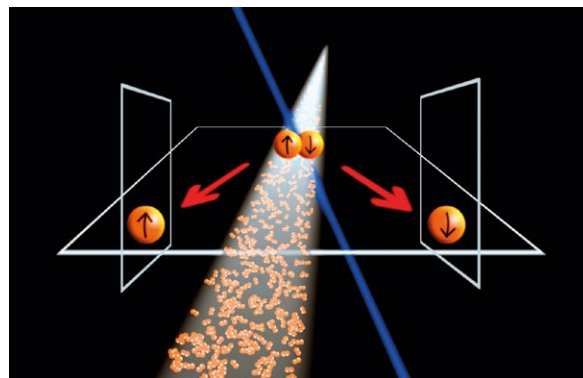
ekspandującego gazu atomów bez wymiany energii z otoczeniem powodują gwałtowny spadek temperatury, tworzenie molekuł i, co najistotniejsze, wydajną eliminację oscylacyjnych i rotacyjnych ruchów w jądrach atomowych. Mówimy o „wychłodzeniu” oscylacyjnych i rotacyjnych stopni swobody. Dzięki temu możliwe jest powstanie bardzo słabo związanych molekuł vdW np. ZnHe czy Cd₂, o energiach dysocjacji (czyli potrzebnych do zerwania wiązania) rzędu 0.001eV. Dla porównania, energie dysocjacji H₂



i CO wynoszą odpowiednio 4.52 eV i 11 eV. Molekuły w wiązce naddźwiękowej możemy badać obserwując, w jaki sposób, w wyniku oddziaływania z wiązką lasera, pochłaniają lub emitują promieniowanie. Jest to sposób na uzyskanie informacji o strukturze energetycznej, wynikającej z ruchów jąder „zanurzonych” w polu elektrycznym (potencjale) otaczających je elektronów. Pozwala to na określenie wielkości sił wiążących atomy w molekułę i odległości między nimi.

I wreszcie gekony. Tajemnica niezwykłych zdolności w szybkim poruszaniu się tych jaszczurek po gładkich powierzchniach tkwi w suchej adhezji, zjawisku, za które odpowiedzialne jest oddziaływanie vdW. W tym przypadku polega ono na elektrostatycznym przyciąganiu pomiędzy powierzchnią a zakończeniami milionów keratynowych mikrowłosek pokrywającymi ich odnóża. Szpadelkowe zakończenia mikrowłosek zwiększają powierzchnię kontaktu z podłożem i generują siłę kilkudziesięciokrotnie przewyższającą ciężar gekona. I tak, jak w przypadku atomów tworzących molekułę vdW w wiązce naddźwiękowej, istota zjawiska polega na oddziaływaniu emd, w tym przypadku trwałych, w atomach, z których zbudowana jest powierzchnia podłoża i włoski na odnóżach gekona.

Gdzie tu jest miejsce dla kwantowego splątania atomów, subtelnego związku między charakteryzującymi je wielkościami (np. momentami pędu)? Splątanie można wygenerować dysocjując (rozrywając) molekułę vdW zbudowaną z dwóch identycznych atomów.



Dwuatomowa molekuła vdW w wiązce naddźwiękowej oddziałuje z promieniowaniem laserowym (niebieska wiązka). Dzięki dysocjacji powstają dwa atomy, które są kwantowo splątane ze względu na wzajemną relację pomiędzy wektorami momentu pędu (antyrownoległość). Po pewnym czasie przeprowadza się diagnostykę splątania w dwóch płaszczyznach detekcji

Źródłem molekuł jest wiązka naddźwiękowa, a wymagany stan energetyczny i dysocjacja zależą od oddziaływania molekuły z impulsami laserowymi o odpowiednio dobranych energiach. Warunkiem koniecznym jest, aby molekuła istniała w stanie energetycznym odpowiadającym sytuacji, w której oba atomy posiadają np. antyrownoległe (o przeciwnych zwrotach) wektory momentu pędu. Stwierdzenie, czy tak wygenerowane splątanie „przeżyje”, polega na sprawdzeniu utrzymania kierunku i zwrotów atomowych momentów pędu po pewnym czasie od aktu dysocjacji.