

Sposób na rozładowanie napięcia

Dla Czytelników *Delty* oczywista jest niedorzeczność przenoszenia naszego codziennego, makroskopowego doświadczenia w świat mikroskopowy. Ale jeżeli to się już wie, to można pozwolić sobie na poszukiwanie analogii, antropomorfizmów i paraboli. Zadziwiająca jest łatwość znajdowania odpowiednich porównań. Nie wiem, dlaczego tak jest. Może, po prostu, ludzka natura i mechanika kwantowa, przy prostocie podstawowych reguł, mają podobnie skomplikowane realizacje?

Tematem aktualnych aktualności jest pierwsza obserwacja międzyatomowego rozpadu kulombowskiego (ang. *interatomic Coulombic decay*, ICD). Jest to kilka lat temu przepowiedziany [1] rodzaj deekscytacji wzbudzonego atomu (cząsteczki) sąsiadującego z innym atomem (cząsteczką).

Posłużmy się antropomorfizmem. Bardzo często zdarza się, że nasze napięcie wywołane jest konfliktem z osobą, na której, z jakiegoś powodu, nie możemy lub boimy się to napięcie rozładować. Tłumiona emocja, wcześniej czy później, owocuje jednak wybuchem, tylko skierowanym przeciwko komuś innemu... Zjawisko, które za chwilę omówimy, można porównać również do pozytywnej sytuacji znanej z literatury: „Ja nie mam nic, ty nie masz nic, to razem wystarczy nam na fabrykę...”.

Osiemdziesiąt lat temu Pierre Auger odkrył, że stan wzbudzony atomu może zostać deekscytowany nie tylko za pomocą emisji fotonu, ale również poprzez emisję jednego z elektronów. Na to, jakimi kanałami może odbywać się rozpad stanu wzbudzonego atomu, ma pewien wpływ środowisko, w którym atom się znajduje (piękny „naturalny” antropomorfizm), ale do niedawna sądzono, że nie może to prowadzić do zmian radykalnych, takich jak otwarcie nowych kanałów rozpadu. Jednak pionierska praca Cederbauma i współpracowników [1] podała ten pogląd w wątpliwość. Według jej autorów atom może przekazać swoje napięcie sąsiadnemu atomowi, powodując emisję elektronu z niewzbudzonego atomu.

Prototypem, dla którego zostały przeprowadzone obliczenia i który został użyty do pierwszego doświadczalnego potwierdzenia [2] przewidywań [1], jest układ ledwie związanych atomów neonu. Ze szkoły pamiętamy, że gazy szlachetne występują w postaci jednoatomowej, w odróżnieniu od „zwykłych” pierwiastków w stanie gazowym, które zazwyczaj tworzą dwuatomowe cząsteczki. Jednak w gazach szlachetnych tworzy się w sprzyjających warunkach niewielka domieszka luźno (za pomocą sił van der Waalsa) związanych par atomów. W przypadku neonu jest to taki układ (dimer, słowo o podobnym znaczeniu co polimer, tylko odnoszące się do związku dwóch składników) atomów, których jądra odległe są aż o 34 nm, czyli sześciokrotnie więcej niż w przypadku cząsteczki wodoru. W atomie neonu wypełnione są orbitale elektronowe 1s, 2s i 2p. Jeżeli jeden z elektronów 2s zostanie usunięty, to izolowany atom nie może deekscytować się augerowsko, bo przerwa energetyczna między elektronem 2p a czekającą na niego dziurą 2s jest zbyt mała, żeby wystarczyło energii na emisję najslabiej związanego elektronu. Jeżeli jednak w pobliżu jest drugi atom neonu, to ta sama energia wystarczyłaby na emisję jego elektronu, bo ten drugi atom nie jest jeszcze

zjonizowany. Z samego faktu istnienia takiej możliwości z energetycznego punktu widzenia nie wynika jednak, że miałyby ona być realizowana w przyrodzie. Emisja elektronu Augera nie jest przecież jedynym możliwym kanałem deekscytacji.

Jeżeli jednak taki rozpad stanu wzbudzonego jest możliwy, to dlaczego nikt go nigdy nie zaobserwował? Powodem jest bardzo niska energia elektronu, który w dodatku miałby być emitowany ze słabo związanych układów. W układach takich występuje tło niskoenergetycznych elektronów pochodzących z nieelastycznych zderzeń molekuł.

Odkrycie ICD było możliwe dzięki odtworzeniu pełnej informacji o rozpadającym się układzie. Najpierw jeden z atomów dimeru Ne₂ absorbuje foton o odpowiednio dobranej energii i emituje elektron Augera. Jeżeli możliwa jest deekscytacja przez ICD, to właśnie w tym momencie może ona zająć – jeden z elektronów 2p zjonizowanego atomu przeskakuje do orbitala 2s, wyzwolona energia jest przekazywana za pośrednictwem wirtualnego fotonu do drugiego atomu i wykorzystana do jego jonizacji. Powstaje para jonów Ne⁺, które nie mogą się już razem utrzymać. W rezultacie jednocześnie powstaje para jonów Ne⁺ i elektron. Z bilansu energetycznego wynika, że wspólnie muszą mieć one energię kinetyczną równą dokładnie 5,16 eV.

Eksperyment został przeprowadzony w Ośrodku Promieniowania Synchrotronowego BESSY w Berlinie. Dimery neonu były wytwarzane poprzez rozpylanie. Niezależnie zmierzony stosunek liczby powstających dimerów do pojedynczych atomów neonu wynosił co najmniej 0,5%. Promieniowanie synchrotronowe o energii 58,8 eV było używane do jonizacji. Powstające w eksperymencie elektrony i jony były kierowane do detektorów za pomocą kombinacji statycznych pól elektrycznego i magnetycznego. Rejestrowana była pozycja, energia i czas przelotu, co pozwoliło na odtworzenie pełnej informacji kinematycznej o produktach ICD.

Sygnalem poszukiwanego rozpadu było zaobserwowanie przypadku o określonym sumarycznym czasie przelotu jonów neonu, świadczącym o ich rozlocie w dwie strony z taką samą energią. Jednocześnie rejestrowano niskoenergetyczny elektron. Sumaryczna energia tych trzech produktów rozpadu musiała równać się oczekiwanej energii 5,16 eV. Wyniki eksperymentu świetnie zgadzają się z oczekiwaniami.

Czy to tylko kolejna ciekawostka? Okazuje się, że nie. To subtelne zjawisko może mieć kolosalne znaczenie. Układami, w których może ono zachodzić, są między innymi powszechnie występujące wiązania wodorowe. Stale są one obecne np. w zwykłej wodzie, dzięki której zachodzą wszelkie procesy życiowe. To nowo odkryte zjawisko umożliwi ich lepsze zrozumienie.

Możliwe, że nasze zachowania w sytuacjach stresowych byłyby inne, gdyby atomy nie znały tego sposobu wyluzowywania się.

Piotr ZALEWSKI

[1] L.S. Cederbaum, J. Zobeley, F. Tarantelli, *Giant Intermolecular Decay and Fragmentation of Clusters*, Phys. Rev. Lett. **79**(1997)4778

[2] T. Jahnke i inni, *Experimental Observation of Interatomic Coulombic Decay in Neon Dimers*, Phys. Rev. Lett. **93**(2004)163401