



## Rewolucja laserowa w optyce

Rewolucja laserowa, jak zwykle się już określać okres eksplozji nowych technik i metod badawczych, otworzyła również nowe i nie wykorzystane jeszcze w pełni możliwości zastosowań w wielu różnych dziedzinach nauki, techniki, a nawet życia codziennego. Zajmijmy się jednak badaniami optycznymi.

One to właśnie doprowadziły do zbudowania pierwszych laserów przez Maimana i Javana. Zasadnicza różnica między konwencjonalnymi i laserowymi źródłami promieniowania polega na tym, że w pierwszych dominują procesy emisji spontanicznej, podczas gdy w drugich procesy emisji wymuszonej przez obecność w układzie promieniowania. Aby uzyskać akcję laserową, musimy zatem z jednej strony przygotować odpowiednio promieniujący ośrodek, z drugiej zaś zapewnić dużą gęstość promieniowania wymuszającego. Pierwszy warunek realizujemy wzbudzając większość atomów ośrodka do stanu o wyższej energii. W tak przygotowanym ośrodku procesy emisji dominują nad procesami absorpcji promieniowania. Drugi warunek osiągamy umieszczając ośrodek wewnątrz rezonatora optycznego, którym w najprostszym przypadku mogą być dwa płaskie i równoległe do siebie zwierciadła. W konsekwencji możemy uzyskać promieniowanie o nieosiągalnych przedtem parametrach.

Wymieńmy tu przykładowo uzyskiwanie bardzo wąskich spektralnie linii gigantycznej mocy, subpikosekundowych impulsów, wiązek o wysokim stopniu spójności czy też możliwości strojenia.

Niezwykle szybki rozwój badań przy zastosowaniu nowych, jakościowo różnych źródeł promieniowania doprowadził do wykształcenia się nowej dziedziny zwanej spektroskopią laserową. Rozwiązała ona szereg bardzo ważnych, a nawet kluczowych zagadnień niemożliwych do rozwiązania metodami spektroskopii klasycznej, a także postawiła nowe, niezwykle atrakcyjne problemy badawcze.

Zacznijmy od sprawy związanej z zasadniczym ograniczeniem spektroskopii klasycznej. Jak wiadomo, atomy (cząsteczki) emitują promieniowanie o określonych częstościach charakterystycznych. Każda z takich emitowanych linii widmowych scharakteryzowana jest ponadto przez wielkość zwaną szerokością naturalną linii związaną z rozkładem wypromieniowanego natężenia w zależności od częstości. Jeśli rozpatrzymy jednak promieniowanie pochodzące od zbioru atomów w fazie gazowej, a tym samym będących w ciągłym ruchu, to częstości zmierzone przez obserwatora, a dokładniej przez przyrząd pomiarowy, będą w wyniku efektu Dopplera różne od częstości emitowanych. Różnica między nimi dla każdego atomu zależy od składowej jego prędkości w kierunku wysłanego promieniowania.

Wszelkie zatem pomiary wykonywane na zbiorze atomów, a rozumowanie powyższe dotyczy również absorpcji, nie mogą wnikać w strukturę badanego widma głębiej, niż pozwala na to poszerzenie linii wynikające z efektu Dopplera. Częstość promieniowania ( $\nu$ ) w obszarze widzialnym jest rzędu  $10^{15}$  Hz, a typowa szerokość dopplerowska ( $\Delta\nu_D$ ) w tym zakresie rzędu  $10^9$  Hz i tym samym czynnik określający dokładność naszych pomiarów  $\nu/\Delta\nu_D$  wyniesie  $10^6$ .

Wykorzystanie laserów pozwala na wybranie do pomiaru tylko tych atomów, których składowa prędkość w kierunku wiązki wynosi zero, a w konsekwencji na zwiększenie czynnika określającego zdolność rozdzielczą do wartości  $10^{10}$ . Co więcej, rozwijające się techniki „chłodzenia” atomów i pułapkowania jonów pozwalają prawie całkowicie zatrzymać badane obiekty. Metoda „chłodzenia” polega na wzbudzaniu laserem o odpowiednio dobranej częstości linii tylko tych atomów, których składowa prędkość wzdłuż wiązki skierowana jest przeciwnie do kierunku jej propagacji. Każdy akt absorpcji związany jest z przekazaniem pędu fotonu atomowi, a wielokrotne powtórzenie tego procesu związane każdorazowo z szybko następującą po nim emisją prowadzi w efekcie do znacznego spowolnienia atomów. Stanowi to kolejny krok do powiększenia zdolności rozdzielczej.

Zastosowanie laserów pozwala również na kolosalną poprawę czułości wynikającą zarówno z selektywności (wąska linia i możliwość strojenia), jak i intensywności (odpowiednia moc) wzbudzenia. Dzięki temu jesteśmy już w stanie wykrywać pojedyncze atomy, a przykładem niech będzie tu eksperyment, w którym stwierdzono obecność jednego atomu cezu w atmosferze  $10^{19}$  atomów argonu.

Spektroskopia laserowa podjęła badania zupełnie nowych obiektów fizycznych. Za takie możemy na przykład uważać atomy wzbudzone do bardzo wysokich stanów energetycznych zwanych stanami rydbergowskimi. Warto tu sobie uświadomić, że atom wzbudzony do stanu o wartości głównej liczby kwantowej  $n=100$  ma rozmiary rzędu 0,01 mm i jest gigantem wobec atomu w stanie podstawowym, jako że stosunek ich wielkości wynosi około  $10^5$ .

Wykorzystanie olbrzymich gęstości mocy uzyskiwanych przy użyciu laserów impulsowych umożliwiło badanie zjawisk nieliniowych, takich jak np. wzbudzenie wielofotonowe czy też generacja wyższych harmonicznych. Powstała i niezwykle się rozwinęła nowa dziedzina badań zwana optyką nieliniową. O wielkości uzyskiwanych mocy niech świadczy fakt, że istnieją już systemy laserowe wytwarzające w nanosekundowych impulsach moce rzędu setek terawatów ( $1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$ ). Dla porównania dodajmy, że moc wytwarzana przez wszystkie elektrownie świata jest rzędu 1 TW.

Wspomnijmy jeszcze o innej właściwości promieniowania laserowego, jaką jest spójność, podając jako przykład jej wykorzystania holografie, zwaną popularnie trójwymiarową fotografią. Pozwala ona na zapis pełnej (nie tylko amplitudowej, ale i fazowej) informacji o złożonym ciele padającej. Odtworzenie takiej rejestracji (hologramu) przez oświetlenie wiązką światła (już niekoniecznie laserowego) daje pełny trójwymiarowy obraz „holografowanego” obiektu.

Ten bardzo wrywkowy przegląd możliwości wykorzystania laserów, oczywiście bardzo daleki od wyczerpania zagadnienia, daje pewne wyobrażenie o skali postępu, jaki dzięki nim nastąpił w optyce. Perspektywy zastosowania laserów w wielu dziedzinach nauki i techniki pozostają ciągle olbrzymie. Istnieją również możliwości dalszej poprawy ich parametrów, a także rozciągnięcie na nowe obszary widmowe (np. promienie X). Od konstrukcji pierwszego lasera minęło już ćwierć wieku i optyka z wielką radością powitałaby nowe, tak stymulujące dalsze badania odkrycia.

