

Delta z wizytą w Zakładzie Optyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej im. Stefana Pieńkowskiego Uniwersytetu Warszawskiego



W styczniu 1921 roku w nowo oddanym do użytku budynku przy ul. Hożej 69 w Warszawie nastąpiła inauguracja działalności Zakładu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego. Twórcą tej placówki był Stefan Pieńkowski — człowiek o rzadko spotykanej indywidualności, badacz, nauczyciel i organizator. Dziś dawny zakład jest Instytutem Fizyki Doświadczalnej im. Stefana Pieńkowskiego, największą placówką naukową wyższych uczelni w dziedzinie fizyki. Pracujący tu fizycy reprezentują bardzo szeroki wachlarz specjalności, od badania cząstek elementarnych, reakcji jądrowych, poprzez optykę i fizykę ciała stałego, do biofizyki. Nasze wizyty, które niejednokrotnie będziemy w tym Instytucie ponawiać, postanowiliśmy poświęcić określonym zagadnieniom, nad jakimi prowadzone są aktualnie prace. Rozpoczynamy od Zakładu Optyki, którego obecna problematyka stanowi odrodzenie tradycyjnie uprawianej najstarszej problematyki ośrodka w nowej, niezwykle atrakcyjnej formie.

Niecałe dwa lata temu w Zakładzie Optyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW uruchomiono pierwszy impulsowy laser barwnikowy. Od tego czasu wykonano kilka laserów tego typu, poprawiając stopniowo jego parametry.

Cieczowy laser barwnikowy jest źródłem promieniowania, dającym możliwość wyboru w sposób ciągły dowolnej długości fali, czyli barwy wysyłanego światła, w zakresie fluorescencji danego barwnika.

Fluorescencja jest zjawiskiem fizycznym będącym konsekwencją wzbudzenia, czyli przeniesienia atomów lub cząsteczek z ich stanów podstawowych do wyższych stanów energii. Atomy lub cząsteczki, które znalazły się w stanach wzbudzonych, mogą w nich przebywać bardzo krótko, bo około 10^{-7} — 10^{-8} s, po czym powracają do swoich stanów podstawowych, wysyłając promieniowanie, które nazywamy fluorescencją. Proces gromadzenia atomów lub cząsteczek w stanie, z którego następuje fluorescencja, tzw. inwersję obsadzeń, uzyskuje się na drodze „pompowania”, przy czym inwersja występuje dopiero wówczas, gdy liczba atomów lub cząsteczek w tym stanie jest większa od ich liczby w stanie podstawowym.

Inwersję obsadzeń poziomów w barwniku uzyskuje się na drodze optycznej za pośrednictwem innego lasera, tzw. lasera pompującego, lub za pomocą lamp błyskowych. W wypadku gdy laser pompujący pracuje w sposób ciągły, np. jonowy laser argonowy, także laser barwnikowy pracuje w sposób ciągły. Jeżeli natomiast roztwór barwnika jest pompowany laserem impulsowym lub lampami błyskowymi, pracuje on impulsowo, w takt impulsów pompujących.

Uproszczony schemat energetycznych poziomów cząsteczki barwnika, istotnych dla akcji laserowej, przedstawiony jest na rysunku. Grupa poziomów G symbolizuje stan podstawowy, zaś S_1 — pierwszy stan wzbudzony cząsteczki. Obie grupy poziomów stanowią w rzeczywistości ciągle pasma. Oś rzędnych jest osią energii. Linie ciągłe oznaczają przejścia promieniste, a linia przerywana oznacza przejście bezpromieniste. Strzałka skierowana do góry oznacza absorpcję promieniowania, którego energia jest w ten sposób przekazana cząsteczce. Strzałka skierowana do dołu oznacza emisję promieniowania.

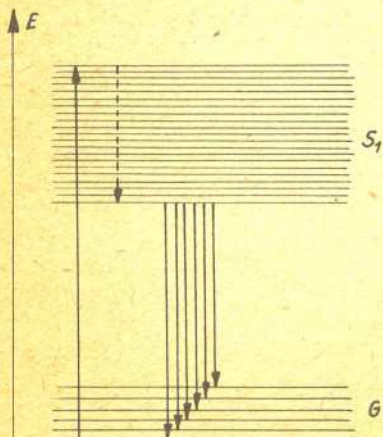
Jak widać na rysunku, cząsteczki są pompowane promieniowaniem o dużej energii do górnych poziomów szerokiego pasma wzbudzonego, skąd po czasie rzędu 10^{-12} s przechodzą bezpromieniście do stanu, z którego następuje bądź fluorescencja, czyli emisja spontaniczna, bądź emisja wymuszona, czyli tzw. akcja laserowa. W tym drugim wypadku muszą być spełnione specjalne warunki fizyczne. Schemat pokazany na rysunku jest pewną ideą tego, co się dzieje w całym zbiorze identycznych cząsteczek. Strzałki łączące stan S_1 z grupą stanów G są różnej długości, co oznacza że we fluorescencji możemy obserwować promieniowanie o różnej częstotliwości, a tym samym o różnej barwie.

W omawianym laserze barwnikowym fluorescencja roztworu barwnika pobudzana jest promieniowaniem monochromatycznym jednobarwnym z lasera azotowego. Zdjęcie górne na IV stronie okładki pokazuje fluorescencję roztworu barwnika wzbudzonego światłem pochodzącym z lasera azotowego. Fluorescencja zamienia się w akcję laserową po wstawieniu komórki z barwnikiem między dwa odpowiednio ustawione zwierciadła stanowiące rezonator.

Zdjęcie dolne na IV stronie okładki pokazuje niestrojony laser barwnikowy. Rezonator stanowią tu ścianki kuwetki zawierającej roztwór barwnika. Światło pompujące — wiązka żółtozielona — pochodzi z innego lasera barwnikowego. Emitowana czerwona wiązka laserowa jest charakterystyczna dla barwnika, który znajduje się w kuwecie. Wstawiając dodatkowy element optyczny do rezonatora, w danym wypadku pryzmat, możemy wybrać za jego pośrednictwem tylko jedną dowolną linię z ciągłego zakresu widmowego fluorescencji barwnika. Dzięki temu, że różne barwniki fluoryzują w różnych obszarach długości fal, przez odpowiedni ich dobór możemy pokryć cały zakres widzialny wraz z bliskim ultrafioletem i bliską podczerwiecią.

$E = h\nu$, gdzie:
 E — energia kwantu promieniowania,
 h — stała Plancka,
 ν — częstota promieniowania

$\lambda = \frac{c}{\nu}$, gdzie:
 λ — długość fali,
 c — prędkość światła w próżni,
 ν — częstota promieniowania.



Na I stronie okładki pokazany jest układ lasera barwnikowego pompowanego laserem azotowym. Laser azotowy widoczny jest w postaci metalowego pudła z lewej strony zdjęcia. Przez otwory ułatwiające chłodzenie widać światło pochodzące od wyładowania w rurze laserowej. Laser ten emituje niewidzialne dla oka promieniowanie ultrafioletowe o długości fali 337,1 nm. Na płycie znajduje się układ lasera barwnikowego składający się z kuwety zawierającej roztwór barwnika, w tym wypadku rodaminy 6 G, zwierciadeł rezonatora oraz pryzmatu. Dla pokazania możliwości strojenia lasera barwnikowego wykonano poczworną ekspozycję, zmieniając za każdym razem nachylenie jednego ze zwierciadeł rezonatora. Aby kolejne wiązki nie nałożyły się na siebie, do ich rozdzielania użyto siatki dyfrakcyjnej.

Istnieje szereg zastosowań promieniowania laserowego, w których jego długość fali nie gra istotnej roli. Dla tych zastosowań ważniejsze są na ogół inne cechy promieniowania laserowego, jak jego ogromne natężenie, wysoka monochromatyczność i duży stopień spójności. (W 2 nrze «Delfy», w artykule o holografii, objaśniono spójność promieniowania laserowego). W spektroskopii natomiast możliwość ciągłej zmiany długości fali promieniowania, bez ztracenia jego cech promieniowania laserowego, jest niezwykle ważna. Funkcję monochromatora, który analizował i wybierał promieniowanie o żądanej długości fali z konwencjonalnego źródła światła, przejmuje strojony laser barwnikowy. Parametry jego promieniowania są jednak o kilka, a nawet o kilkanaście rzędów wielkości lepsze od parametrów promieniowania wychodzącego z monochromatora.

Jak już wspomniano, laser barwnikowy może wysyłać promieniowanie zarówno w sposób ciągły, jak i w impulsach. Do pewnych celów eksperymentalnych oba typy laserów służą na równych prawach.

Laser barwnikowy pompowany laserem azotowym ma czas trwania impulsu rzędu 10 ns (1 nanosekunda = 10^{-9} sekundy). Daje się to wykorzystać do badania różnych szybkich zachodzących procesów, na przykład do fotografowania rozprzestrzeniania się plazmy wytworzonej impulsem laserowym o dużej mocy.



Zadania

Redaguje mgr Andrzej MAKOWSKI

M25. Podzielić zbiór liczb naturalnych na dwa podzbiory w ten sposób, by żaden z tych podzbiorów nie zawierał żadnego ciągu arytmetycznego nieskończonego.
Rozwiązanie na str. 17

M26. Na płaszczyźnie dane są cztery punkty, z których żadne trzy nie leżą na jednej prostej. Udowodnić, że istnieje trójkąt o wierzchołkach w trzech spośród danych punktów, mający jeden z kątów nieostry.
Rozwiązanie na str. 10

M27. Udowodnić, że jeżeli wielomian przyjmuje dla $x = 26$ wartość 8, a dla $x = 29$ wartość 15, to co najmniej jeden z jego współczynników nie jest liczbą całkowitą.
Rozwiązanie na str. 15

Redaguje dr Andrzej ZIEMIŃSKI

F9. Pojazd kosmiczny powracający na Ziemię i poruszający się wzdłuż jej promienia wchodzi w zgęszczające się warstwy atmosfery wytracając szybkość. Oszacujcie, jaka jest dopuszczalna początkowa prędkość pojazdu v_0 , aby maksymalne przeciążenie, jakiemu poddawana jest załoga, nie przekraczało n -krotnej wartości przyspieszenia ziemskiego g . (Przedyskutujcie otrzymany wynik dla $n = 5, 10$) Gęstość atmosfery Ziemi ρ maleje z wysokością nad powierzchnią Ziemi h , zgodnie ze wzorem $\rho = Ae^{-\beta h}$, gdzie A i β są stałymi, równymi: $A =$

$$= 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \beta = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{m}^{-1}.$$

Siłę oporu powietrza należy przyjąć za proporcjonalną do ρ i do kwadratu prędkości pojazdu: $F = k\rho v^2$.

Czy trzeba włączyć dodatkowe hamowanie pojazdu, aby uchronić go przed rozbiciem się o powierzchnię Ziemi?

Rozwiązanie na str. 13

Występująca we wzorze liczba e jest podstawą logarytmu naturalnego $\ln x = \log_e x$.
Pochodna funkcji wykładniczej e^x , spełnia wzór

$$\frac{de^x}{dx} = e^x.$$

Pochodną logarytmu naturalnego, $\ln x$, jest funkcja

$$\frac{1}{x}, \quad (x > 0).$$

