



Zielone światło dla fotoniki

Wojciech Gawlik

Instytut Fizyki UJ

Czym jest światło, wie każdy... W końcu, parafrazując nieco ks. Chmielowskiego z *Nowych Aten*, można powiedzieć „światło jakie jest, każdy widzi”. Czy jednak wszyscy widzą to samo i tak samo odpowiedzieliby na powyższe pytanie? Gdybyśmy je zadali różnym ludziom, usłyszelibyśmy wiele różnych odpowiedzi. Jedni twierdziliby, że to źródło życia na Ziemi; inni, że to środek postrzegania rzeczywistości; kto inny podkreślałby, że światło jest źródłem inspiracji artystów i poetów. Każda z tych odpowiedzi byłaby słuszna, jednak żadna nie wyczerpywałaby złożoności problemu. Nic więc dziwnego, że światło będące dla wielu ludzi odwiecznym przedmiotem fascynacji jest też od zarania wyzwaniem dla naukowców. Fizycy od wieków próbowali odpowiedzieć na pytanie, czym jest światło. O ile do korzystania ze światła nie potrzebna jest żadna wiedza (światło, jakie jest, każdy widzi...), o tyle wyjaśnienie jego natury przez wieki angażowało najtęższe umysły. Zajmowały się tym takie autorytety, jak m.in. Newton, Einstein, a także Johann Wolfgang von Goethe, który był nie tylko wielkim poetą romantycznym, lecz – o czym się nie wie tak powszechnie – również wybitnym przyrodnikiem, który wszedł do historii nauki dzięki swemu dziełu *Zur Farbenlehre*. Choć przełom w naszym rozumieniu światła dokonał się już w XIX wieku w wyniku odkryć teoretycznych (James Clark Maxwell) i doświadczalnych (Heinrich Hertz), to w pełni zagadka światła została wyjaśniona całkiem niedawno: dopiero w 2005 r. Nagroda Nobla dla Roya Glaubera za kwantową teorię spójności światła ostatecznie zamknęła ten problem.

Gdy już zrozumieliśmy, czym jest światło, stało się możliwe naukowe badanie sposobów jego wytwarzania, przemiany, detekcji – tym zajmowała się optyka, a później fizyka atomów i cząsteczek. Są to dziedziny, które były i są aktywnie i z sukcesami uprawiane w Polsce.

W Krakowie na Uniwersytecie Jagiellońskim badania w tym kierunku rozwinięły się szczególnie po II wojnie światowej, kiedy to w ramach ówczesnych „wędrówek ludów” przybył z Wilna do Krakowa wielki polski fizyk – Profesor Henryk Niewodniczański. Wśród wielu jego zasług dla krakowskiej nauki jest też i wkład w rozwój optyki atomowej, jak wówczas nazywano tę dyscyplinę. W IF UJ powstał Zakład Optyki Atomowej pod kierunkiem Profesor Danuty Kunisz, w którym rozpoczęto uprawianie nowoczesnej fizyki i optyki atomowej. W latach 70. dyscyplina ta przeżywała szczególnie żywy rozwój dzięki powstaniu laserów, co przyciągało do niej coraz liczniejszych entuzjastów. Ten entuzjazm był nam

wówczas bardzo potrzebny, bo braki aparatury były tak dotkliwe, że bez niego nie można byłoby prowadzić żadnych badań. Mimo tych braków mogliśmy jednak stosunkowo łatwo jeździć i nawiązywać kontakty z najlepszymi uczonymi na świecie. Wiele z kontaktów nawiązanych wtedy trwa i owocuje do dzisiaj.

Lasery to niezwykle źródła światła. Są one całkowicie wytworem pracy fizyków, w zasadzie niewystępującym w naturalnej formie w przyrodzie. Emitowane przez nie światło ma unikalne własności – spójność, intensywność, wysoki stopień kolimacji, a także może być wytwarzane w bardzo precyzyjnie określonym kolorze (monochromatyczność), który ponadto możemy obecnie dostrajać do rezonansowego oddziaływania z dowolnym atomem. Takie własności z jednej strony pozwalają nam bardzo precyzyjnie badać nieznane jeszcze aspekty oddziaływania atomów z silnym polem laserowym, a z drugiej – zmieniać i manipulować własnościami atomów i cząsteczek. Pojawiły się dzięki temu nowe dyscypliny, takie jak optyka nieliniowa, optyka kwantowa czy żywiołowo rozwijająca się obecnie fotonika. Nazwa „fotonika” nie jest precyzyjnie zdefiniowana – nie jest to łatwe wobec ciągłego rozwoju dyscypliny. W największej ogólności dotyczy procesów wytwarzania, przesyłania i przetwarzania informacji za pomocą fotonów – podobnie jak w przypadku elektroniki dzieje się to za pomocą elektronów.

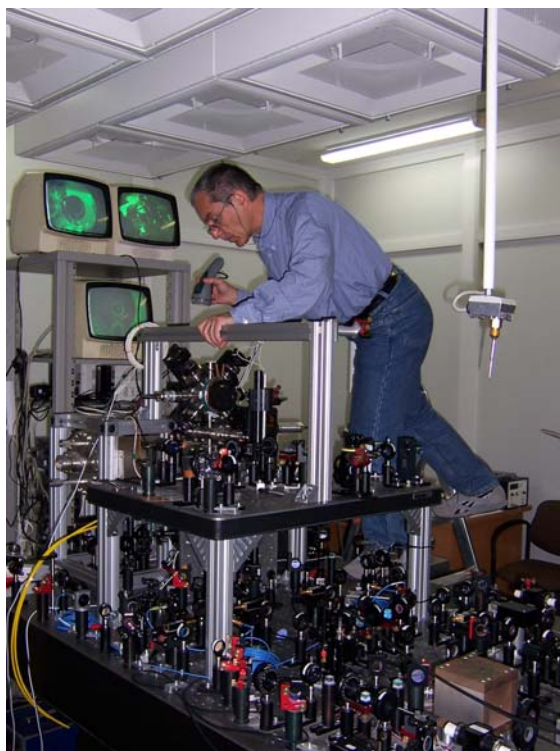
Na szybki rozwój optyki i fotoniki składa się kilka przyczyn. Z jednej strony, z pomocą nowych źródeł światła i metod optycznych, znacznie przecież tańszych od ogromnych akceleratorów i mieszczących je centrów naukowych, uzyskano wiele wyników o najwyższym znaczeniu dla badań podstawowych. Wystarczy tu wspomnieć liczne Nagrody Nobla przyznane z fizyki i chemii (z czego aż cztery w ostatnich ośmiu latach!) za badania wykorzystujące metody optyczne. Z drugiej strony, metody optyczne coraz częściej są wykorzystywane w innych dziedzinach. Ten kontakt różnych dyscyplin działa inspirująco w obu kierunkach i w wyniku tego rozwijają się nowe zastosowania (np. sprzęt komputerowy: drukarki laserowe czy pamięci optyczne, techniki światłowodowego przesyłania danych, ultraprecyzyjne urządzenia do najrozmaitszych pomiarów i diagnostyki oraz terapii medycznej, i bardzo wiele innych), a także nowe interdyscyplinarne kierunki badawcze – nanofotonika, biofotonika itp.

Czytelnikom *Fotonu* pokażemy ten rozwój fotoniki na przykładzie badań fizyków krakowskich, a zwłaszcza Zakładu Fotoniki.

W Zakładzie Fotoniki IF UJ działa obecnie kilka grup badawczych. Jedna z nich od lat rozwija diagnostykę plazmy metodami precyzyjnej spektroskopii laserowej. Metody te są bardzo ważne dla charakterystyki i kontroli procesów, w których wytwarza się nowoczesne materiały – m.in. niezwykle wytrzymałe cienkie warstwy diamentowe. W przypadku otrzymania materiałów o oczekiwanych parametrach konieczna jest precyzyjna diagnostyka źródeł plazmowych, których działanie w temperaturach rzędu tysięcy stopni podlega bardzo złożonym

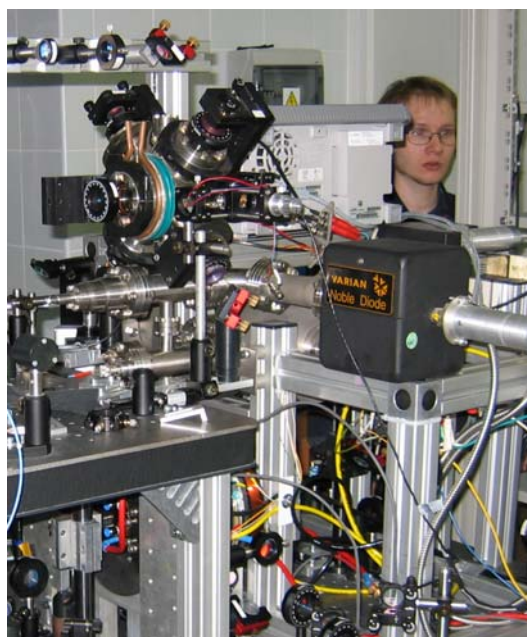
i nie do końca znanym prawom. W Zakładzie Fotoniki opracowano bardzo czułe metody badania plazmy za pomocą laserów, obecnie stosowane w laboratoriach na całym świecie.

O ile pierwsza grupa wykorzystuje w Zakładzie Fotoniki lasery do badań ośrodków bardzo gorących, o tyle druga grupa stosuje fotonikę także do ekstremalnych temperatur, ale tym razem skrajnie niskich – bliskich absolutnego zera (ok. 0,00003 Kelwina powyżej zera bezwzględnego). W takich temperaturach – znacznie niższych niż w kosmosie – materia przejawia bardzo niezwykle własności, ogromnie interesujące dla wyjaśnienia wielu problemów współczesnej fizyki: nadciekłości, nadprzewodnictwa, stworzenia nowej generacji komputerów kwantowych i wielu innych problemów podstawowych oraz fascynujących i ważnych zastosowań. Rzeczą niezwykłą nawet dla fizyków jest fakt, że te ultraniskie temperatury osiągamy za pomocą światła laserowego, które powszechnie kojarzy się ze źródłem energii, a więc ciepła.



Jak widać, badania niskich temperatur prowadzone są naprawdę na wysokim poziomie...

Kolejne pole aktywności Zakładu to badania nieliniowych efektów magneto-optycznych, indukowanych przez spójne promieniowanie laserowe. Zjawiska te mają jeszcze większe możliwości zastosowań, m.in. w informatyce przyszłości – informatyce kwantowej. W odróżnieniu od znanych obecnie komputerów, w informatyce kwantowej nośnikiem informacji nie jest zwykły bit, ale specjalny stan kwantowy, tzw. qubit. Różnica nie ogranicza się tylko do nazwy, ale dotyczy całkowicie innych operacji logicznych, jakie wykonywane być mogą na qubitach (patrz artykuł *Komputery kwantowe* Szymona Pustelnego w *Fotonie* 81). Ta nowa logika może pozwolić na znacznie szybszą pracę komputerów kwantowych. Choć do osiągnięcia tego celu droga jest jeszcze bardzo daleka, o tym, że jest ona realna, świadczą sukcesy innego działu informatyki kwantowej – tzw. kryptografii kwantowej, która po okresie prób weszła już w fazę komercjalizacji. Kolejne ważne zastosowania to budowa niezwykle czułych urządzeń pomiarowych. Np. precyzyjne magnetometry, nad których podstawami fizycznymi pracujemy, będą zdolne wykrywać zarówno ukryte w ziemi surowce, jak i łodzie podwodne czy niebezpieczne materiały, od pojedynczych bakterii (np. węglika) po materiały wybuchowe. Z drugiej strony, mogą one służyć również do bezinwazyjnych badań pracy serca czy mózgu.



Serce i mózg aparatury

Tematykę medyczną, a ściślej: badania wpływu promieniowania laserowego na elementarne procesy biologiczne i medyczne oraz własności różnych substancji ważnych dla życia i prawidłowego funkcjonowania organizmów, uprawiamy też we współpracy z kolegami z innych zespołów badawczych, w tym również z Collegium Medium UJ. Szczególnie interesują nas procesy, w których światło działa jako katalizator specyficznych reakcji chemicznych, które sterują określonymi procesami biologicznymi w tkankach i organizmach. Powszechnie znanym przykładem jest proces fotosyntezy, którego pełne zbadanie wciąż stanowi wyzwanie dla uczonych różnych specjalności. Dla medycyny, a zwłaszcza dla walki z nowotworami, szczególnie atrakcyjna jest też tzw. diagnostyka i terapia fotodynamiczna. Polega ona na wprowadzeniu do organizmu pacjenta specjalnej substancji, która ma dwie niezwykłe własności. Z jednej strony, wiąże się ona wybiórczo z tkanką nowotworową, a z drugiej – po oświetleniu światłem o odpowiedniej długości fali wchodzi w reakcje chemiczne ze swym otoczeniem, dzięki którym możliwe jest selektywne niszczenie nowotworu bez skutków ubocznych dla tkanek zdrowych. O ile sama zasada tej metody jest znana, o tyle do jej powszechnego zastosowania niezbędne są szczegółowe badania wymagające połączenia wiedzy fizycznej, zwłaszcza z zakresu optyki i fotoniki, z medycyną.

Innym rodzajem badań, które rozwijamy w Zakładzie Fotoniki, są badania nowych materiałów optycznych i fotonicznych. Unikalna aparatura i wyrafinowane metody, jakie przez wiele lat rozwijaliśmy w odniesieniu do badań podstawowych, mogą być bardzo przydatne do takich zastosowań. Nawiązaliśmy w tym zakresie współpracę m.in. z Instytutem Technologii Materiałów Elektronicznych w Warszawie, gdzie są syntetyzowane rozmaite materiały o niezwykłych parametrach. Zakład jest też członkiem konsorcjum Optoelektronika Polska, będącej platformą, na której odbywa się kontakt między działającymi w fotonice naukowcami i przemysłem.

Bez wątpienia dla fotoniki zapaliło się zielone światło. W Krakowie dyscyplina ta ma i wspaniałe tradycje, i doskonałe warunki rozwoju. Mamy nadzieję je wykorzystać i zachęcamy wszystkich, którzy mieliby ochotę nam w tym pomóc, do studiów fizyki, SMP, inżynierii materiałowej, po których możliwe jest specjalizowanie się w zakresie fotoniki.