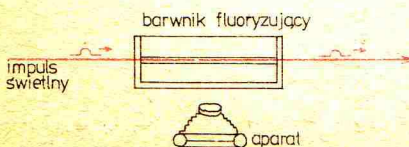
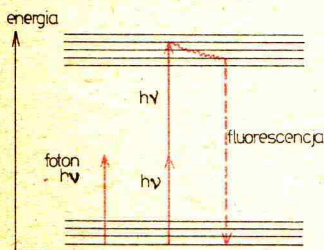
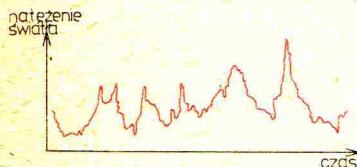
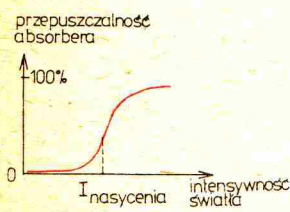
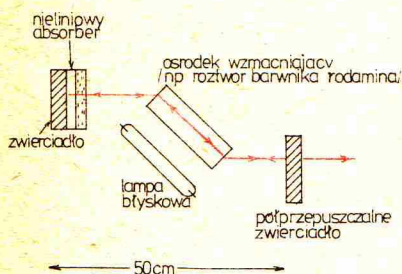


Pikosekundy

Mgr Wojciech MAJEWSKI



Ciąg impulsów świetlnych z lasera
Góra — natężenie światła
Dół — znaczniki czasu



Ponad cztery lata temu opisywaliśmy w numerze 10 „Deltę” z 1974 roku, w jaki sposób w Zakładzie Optyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW zmierzono za pomocą kilku lusterek, krawieckiej miarki i aparatu fotograficznego czas trwania impulsu laserowego. Nie była to oczywiście najlepsza metoda pomiaru czasu trwania błysku o długości kilku nanosekund (jedna nanosekunda = 10^{-9} s, w tym czasie światło przebiega drogę 30 cm).

Zazwyczaj do tego celu służą specjalne „szybkie” oscyloskopy, w których czas własny narastania impulsu jest właśnie rzędu jednej ns. Problem polegał na tym, że wtedy w Zakładzie Optyki takiego oscyloskopu nie było. Teraz też go jeszcze nie ma, ale udało się pożyczyć taki przyrząd. Na zdjęciu przedstawiony jest obrazek z ekranu tego oscyloskopu. Przedstawia on ciąg impulsów świetlnych z lasera. Na osi y odłożone jest natężenie światła (prąd z szybkiej fotokomórki), na osi x — czas (znaczniki czasu co 10 ns).

Jak widać, impulsy następują co 3 ns! A każdy z nich narasta 1 ns. Zachodzi podejrzenie, że te impulsy trwają dużo, dużo krócej. Ponieważ ten egzemplarz oscyloskopu ma czas własny narastania właśnie rzędu jednej ns — nawet najkrótszy impuls na jego ekranie będzie narastał tę nieszczęsną nanosekundę. Należy wziąć lepszy oscyloskop — powiecie. Niewiele to zmieni, gdyż nawet najlepsze oscyloskopy nie są w stanie pokazać impulsów krótszych niż dziesiąte części nanosekundy. Nie tędy droga.

Rozwiązaniem mogłoby być użycie ultraszybkiej kamery smugowej. Zdobycie takiej kamery jest tak nierealne (koszt większy niż 50 000 dolarów), że nawet nie opiszemy Wam tutaj zasady jej działania.

Istnieje inne wyjście (zawsze należy wierzyć w możliwość jego znalezienia) — ale zanim o nim opowiemy, wyjaśnimy najpierw, jak wytwarza się takie najkrótsze impulsy świetlne.

Wytwarzać je można np. w impulsowym laserze barwnikowym. Jego uproszczony schemat przedstawia rysunek.

Najciekawsza dla nas będzie rola nieliniowego absorbera, którym jest cienka warstwa roztworu pewnego mądrego barwnika, podobnego zresztą do atramentu. Warstwa ta bardzo słabo przepuszcza światło, które generowane jest w osrodku wzmacniającym — ale do czasu! Gdy natężenie światła osiągnie pewną wartość — barwnik ten robi się przezroczysty. Tak wygląda wykres przepuszczalności nieliniowego absorbera w zależności od natężenia światła.

Wyobraźcie sobie, że światło wychodzące z osrodka wzmacniającego ma na początku charakterystykę szumową. (Każdy wzmacniacz szumi — czyście to już zauważyli?) Fluktuacje natężenia światła są bardzo szybkie. Światło to grzęźnie w absorberze. W końcu zdarzy się jednak tak silna fluktuacja światła, że „otworzy” absorber, przedrze się przez niego, odbije od zwierciadła i wróci do wzmacniacza. Wzmacniacz ją wzmocni, polecą dalej do półprzepuszczalnego zwierciadła. Połowa światła zawróci, wzmocni się jeszcze raz i teraz to na pewno „otworzy” absorber, który w międzyczasie już dawno się zamknął. Sytuacja zacznie się powtarzać i między zwierciadłami jak piłeczka zacznie latać taka wzmocniona fluktuacja światła. Za każdym przelotem część tego światła wybiegnie z lasera przez półprzepuszczalne zwierciadło. Zamieszczone zdjęcie zostało tak zaaranżowane, żeby pokazać, iż uformowanie się fluktuacji w dojrzały impuls wymaga wielu kolejnych wzmocnień i osłabień. Jeżeli w rezonatorze (między zwierciadłami) mamy tylko jeden impuls, wtedy z lasera powinny wybiegać

błyski co $\frac{2L}{c}$, gdzie L to długość rezonatora, a c — prędkość światła. W naszym przypadku $L = 50$ cm.

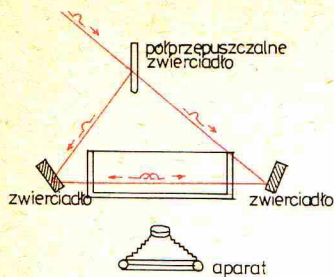
$$\frac{2L}{c} = \frac{10^2 \text{ cm}}{3 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}} \approx 3 \cdot 10^{-9} \text{ s} \quad (3 \text{ ns}).$$

Na zdjęciach wyraźnie można zobaczyć, że impulsy pojawiają się co 3 nanosekundy. Zgodziło się! Jeden ciąg składa się z około tysiąca impulsów, ale to nie ma dla nas znaczenia.

Wytworzony impuls trzeba zmierzyć. Robi się to bardzo chytrze, korzystając ze zjawiska fluorescencji wzbudzonej dwufotonowo. Wyjaśnimy zjawisko na następnym rysunku.

Przedstawiony jest na nim schemat poziomów energetycznych molekuly barwnika (to już trzeci barwnik dzisiaj!).

Foton $h\nu$ z lasera jest zbyt mało energetyczny (ma zbyt długą falę), aby wzbudzić molekułę tego barwnika. Natomiast dwa fotony jednocześnie są w stanie to uczynić. Wzbudzona cząsteczka barwnika zdolna jest do fluorescencji na fali krótszej od pobudzającej! Zjawisko to, oczywiście, jest niezwykle mało prawdopodobne i ma ciekawą własność, że jego natężenie jest proporcjonalne do drugiej potęgi natężenia światła padającego, czyli $I_{\text{fluorescencji}} \sim I^2_{\text{lazera}}$. Jeżeli przepuścimy nasz impuls przez kwecę z barwnikiem i sfotografujemy jego ślad, to na zdjęciu otrzymamy świetlistą smugę takiej fluorescencji.



A co się stanie, jeżeli zrobimy zdjęcie kuwety oświetlonej z obu stron, jak na schemacie na rysunku?

Gdzieś na środku kuwety impulsy się spotkają i dalej polecą w swoje strony. W miejscu spotkania się impulsów chwilowa intensywność światła będzie dwa razy większa niż w innych miejscach. Gdy intensywność będzie dwa razy większa, to dwufotonowo wzbudzona fluorescencja będzie cztery razy większa. Na tle świecącej smugi otrzymamy jaśniejszy obszar. Rozmiary tego jaśniejszego obszaru to z grubsza rozmiary naszego świetlnego impulsu.

Każdy następny impuls (ten po 3 ns) robi dokładnie to samo. Wszystko to na odpowiednio czulej kliszy aparat fotograficzny pięknie zarejestruje. Spójrzcie więc jeszcze raz na zdjęcie. Rozmiary impulsu (rozjasnienia) — półtora milimetra!

Obliczmy więc, ile czasu trwa błysk, który jest półtoramilimetrowym pociskiem świetlnym. Długość drogi, jaką przebywa światło w cieczy o współczynniku załamania $n = 1,5$ wynosi 1,5 mm.

Czas $t = \frac{s}{v}$, gdzie s oznacza drogę, a v prędkość światła w ośrodku

$$v = \frac{c}{n}, \text{ więc } t = \frac{s \cdot n}{c} \quad t = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5}{3 \cdot 10^{10}} \approx 0,7 \cdot 10^{-11} = 7 \cdot 10^{-12} \text{ s.}$$

Nasz impuls trwa 7 pikosekund!

Żaden oscyloskop nie miał szans, żeby to uczciwie pokazać!

Czym zajmuje się reologia?

Mgr Jacek ŻEBROWSKI

Modele reologiczne

Zanim wyjaśnimy pojęcie zawarte w tytule, zastanówmy się nad modelami mechanicznymi takich ciał, jak guma do żucia, czekolada, ciasto pszenne, farba olejna.

Na pytanie, czy guma do żucia jest ciałem sprężystym, odpowiemy bez wahania nie — rozciągana przecież płynie. Czy zatem jest typową cieczą lepką o bardzo dużym współczynniku lepkości? Nie, wykazuje własność szczałkowej sprężystości, po odjęciu siły rozciągającej w pewnym, choć niewielkim stopniu kurczy się. Z kolei umieszczona w polu sił o wielkości rzędu siły grawitacji zachowuje się jak ciało Hooke'a. Ciało w rodzaju gumy do żucia łączy zatem w sobie różne cechy mechaniczne (sprężystość, lepkość, plastyczność) i trudno byłoby właściwie je zaszeregować według znanych ze szkoły kategorii. W naturze, a także w technologii produkcyjnej (polimery, ich roztwory) spotykamy olbrzymią ilość takich „wątliwych” ciał wymagających klasyfikacji, a przede wszystkim specyficznej metodyki badań ich złożonych właściwości. Funkcję tę spełnia reologia (reo — płynąć, logos — nauka), dyscyplina nauki wyodrębniona z mechaniki w latach trzydziestych XX wieku, stawiająca sobie za cel ustalenie korelacji między własnościami mechanicznymi ciał (podatnością na odkształcania) a ich strukturą wewnętrzną.

Podstawowymi pojęciami, jakimi posługuje się reologia, są odkształcenie, płynięcie i naprężenie. Odkształceniem, jak wiadomo, nazywamy zmianę stanu ciała związaną ze zmianą wzajemnych odległości jego cząstek, przy czym pojęciu *cząstka* przypisujemy w naszych rozważaniach osobliwe znaczenie. Traktujemy ją jako element ciała o objętości dV znikomy wobec rozmiarów ciała a jednocześnie wielki wobec rozmiarów cząsteczki chemicznej. Założenie to pozwala traktować dowolny materiał jako tzw. ośrodek ciągły, lokalnie jednorodny i pomijać w rozważaniach ziarnistość struktury wewnętrznej. Dodajmy dla ścisłości, że płynięciem nazywamy nieodwracalną deformację narastającą w czasie w sposób ciągły. Zdefiniujmy jeszcze potrzebną nam wielkość dynamiczną — naprężenie. Na cząstkę ciała o objętości dV i masie dm mogą działać siły masowe (np. siły grawitacji) oraz siły powierzchniowe (krótkozasięgowo siły oddziaływania cząsteczek otaczających). Jeżeli ΔF jest wypadkową sił powierzchniowych

działających na element ΔA powierzchni otaczającej cząstkę dV , to $\lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = p$ nazywamy

naprężeniem w danym punkcie. Naprężenie w ciele jest jego dynamiczną reakcją na odkształcenie, a związek tych dwóch wielkości ujęty jest w tzw. równaniu reologicznym.

Współczynniki występujące w równaniu reologicznym będące jednocześnie wielkościami, które można wyznaczyć eksperymentalnie, nazywamy parametrami reologicznymi. Dowolnemu równaniu reologicznemu można przyporządkować odpowiednie wyabstrahowane ciało, które nazwiemy modelem.



Rozwiązanie zadania M 176

Działania takie określimy tabelkami

○	a b	□	a b
a	a a	a	a a
b	b b	b	b a

co oznacza np., że $a \circ b = a$, $b \square a = b$.

Działanie \square jest nieprzemienne, gdyż

$a = a \square b \neq b \square a = b$.

Mamy również, przy dowolnych $x, y, z \in X$

$x \square (y \circ z) = x \square y = (x \square y) \circ (x \square z)$,

$(y \circ z) \square x = y \square x = (y \square x) \circ (z \square x)$,

gdź wynikiem działania \circ jest pierwszy argument.