

Uderz młotkiem, a stanie się światło!

Krzysztof REJMER *

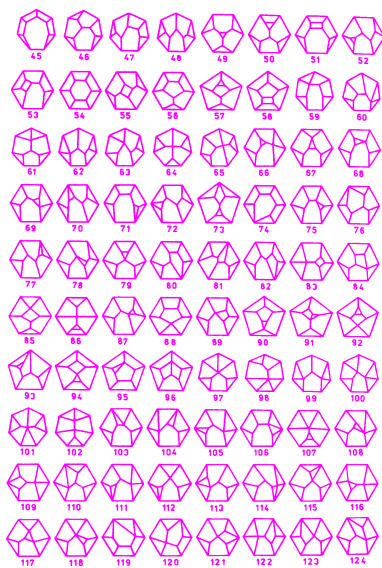
Niedawno otwierałem list, był wieczór, a ja z niejasnych powodów nie zapaliłem światła w pokoju. Po rozcięciu koperty zupełnie bezwiednie oderwałem pasek papieru, który pozostał na tylnej powierzchni koperty. I wtedy zobaczyłem... serię ciemnoniebieskich błysków, o pięknej, nasyconej barwie!

Zjawisko, o którym mowa, należy do szerokiej klasy zjawisk określanych jako luminescencja (*lumen* po łacinie znaczy światło). Zaczniemy może od definicji: luminescencja jest to zjawisko świecenia substancji na skutek wzbudzenia elektronów przez jakiś czynnik zewnętrzny; elektrony powracają do stanu podstawowego, emitując promieniowanie elektromagnetyczne. Nie jest to promieniowanie ciała doskonale czarnego o widmie określonym przez jego temperaturę. Jego widmo jest charakterystyczne dla danej substancji. W zależności od czynnika wzbudzającego promieniowanie, wyróżnia się między innymi *chemiluminescencję* powstającą w trakcie reakcji chemicznych, *fotoluminescencję* powstającą na skutek pochłaniania fotonów, *elektroluminescencję* powstającą pod wpływem pola elektrycznego, a także kilka innych rodzajów luminescencji. Ze względu na czas trwania luminescencji dzieli się na *fluorescencję* – gdy świecenie trwa wyłącznie w trakcie działania czynnika wzbudzającego, oraz *fosforescencję* – gdy świecenie trwa przez dłuższy czas po ustąpieniu czynnika wzbudzającego.

Jeśli czynnikiem wywołującym świecenie jest czynnik mechaniczny (na przykład ciśnienie, tarcie, uderzenie), mówimy o *tryboluminescencji* (z greki: *tribein* – trzeć). Najbardziej znanym przykładem tryboluminescencji jest świecenie cukru pod wpływem uderzenia. Podczas mechanicznego miażdżenia kryształu cukru ulega zerwaniu część wiązań chemicznych. Rozseparowane zostają ładunki elektryczne i jeśli ich koncentracja jest dostatecznie duża, powstaje pole elektryczne na tyle silne, że wyrwa elektrony, które poruszają się w stronę obszarów o ładunku dodatnim. Po drodze elektrony wzbudzają cząsteczki azotu znajdujące się w powietrzu atmosferycznym. Wzbudzone cząsteczki azotu emitują przede wszystkim promieniowanie ultrafioletowe niewidoczne dla naszych oczu, jednak pewna część energii jest emitowana także w zakresie widzialnym, w postaci niebieskiego światła. W Stanach Zjednoczonych znane są cukierki o nazwie *WintOGreen Lifesavers*, charakteryzujące się znacznie silniejszą niż cukier tryboluminescencją. Cukierek ten zawiera roślinny olejek zapachowy (*salicylan metylu*), który świeci pod wpływem promieniowania ultrafioletowego, powstającego podczas pęknięcia wiązań cukru. Roślina, z której wytwarzany jest ten olejek zapachowy nosi angielską nazwę *wintergreen*, a po polsku jest nazywana *pomocznikiem baldaszkowatym*; należy ona do rodziny wrzosowatych. Dzieci bawią się rozgryzając cukierki *WintOGreen Lifesavers* w ciemności, przed lustrem.

Koperta listu oczywiście nie ma nic wspólnego z cukrem, ale mechanizm wywołujący świecenie jest podobny. Przy gwałtownym oderwaniu paska papieru przyklejonego do koperty cząsteczki kleju rozciągają się, niektóre z nich odrywają się od podłoża, inne zaś pękają. Pojawiają się obszary naładowane dodatnio i ujemnie, a następnie wszystko przebiega tak, jak w przypadku cukru. Nie każdy klej pozwala zaobserwować rozbłyski światła, zwykły klej biurowy do tego się nie nadaje. Podstawowe znaczenie mają długie, elastyczne cząsteczki o polimerowej budowie. Istnieje bardzo pomysłowy sposób fotografowania tryboluminescencji w warunkach domowych; wystarczy przykleić tryboluminescencyjną taśmę do kliszy fotograficznej. Trudny może być właściwy wybór filmu.

Tryboluminescencja nie jest zjawiskiem rzadkim, lecz raczej trudnym do zauważenia. Tryboluminescencyjny jest kwarc (mleczny kwarc daje żółtopomarańczowy rozbłysk), fluoryt CaF_2 , blenda cynkowa ZnS , także diament, co bywa obserwowane przy obróbce brylantów. Diament świeci na niebiesko oraz czerwono.



wielościany ośmiościenne (początek)

* Wydział Fizyki Teoretycznej
Uniwersytetu Warszawskiego

Często tryboluminescencja wiąże się ze zjawiskiem piezoelektryczności. Asymetryczne molekuly mają zdolność separowania elektronów podczas ściskania lub rozciągania, jednak nie wszystkie piezoelektryki są tryboluminescencyjne. I na odwrót, nie wszystkie materiały tryboluminescencyjne są piezoelektrykami. Defekty, zanieczyszczenia i nieporządek także sprzyjają tryboluminescencji, ponieważ elektrony mogą się chętnie zbierać tam, gdzie pojawiają się nieregularności sieci krystalicznej. Zaburzenie mechaniczne nie musi zrywać wiązań chemicznych, może dostarczyć energię potrzebną zgromadzonym w pobliżu defektu elektronom do pokonania bariery potencjału i przejścia do stanu podstawowego.

Pierwszy opis zjawiska tryboluminescencji pochodzi od Francisa Bacona, który nocą 1605 roku, krusząc głowę cukru trzcinowego, zaobserwował świecenie, a następnie opisał to w *The Advancement of Learning*. W 1663 roku tryboluminescencję opisał także Robert Boyle. Po raz kolejny zjawisko to zostało odkryte w USA, kiedy powstały przemysłowe metody wytwarzania dużych kryształów cukru. Kryształy cukru przed transportem formowano w duże stożki, które były rozbijane u odbiorcy, co pozwoliło zaobserwować rozbłysk światła.

Tryboluminescencja jest ciekawym zjawiskiem, jak dotąd słabiej poznanym niż inne rodzaje luminescencji. W pierwszej chwili wydaje się, że to tylko pozbawiona znaczenia ciekawostka. Jednak można wymyślić potencjalne, praktyczne zastosowania tryboluminescencji. Na przykład powłoki sygnalizujące rozbłyskiem światła mechaniczne uszkodzenie. Taki detektor mógłby wykrywać nawet niewielkie uszkodzenia, które niezauważone, mogą powiększać się i w przyszłości spowodować groźną katastrofę. Znane są doniesienia o światłach widywanych podczas trzęsienia ziemi, mogą one (choć nie muszą) mieć związek z tryboluminescencją. Jeśli mają, to kto wie, czy kiedyś tryboluminescencja nie posłuży jako wskaźnik

naprężeń w skorupie ziemskiej, zanim Ziemia zadrzy pod fundamentami domów.

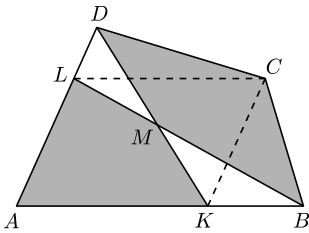
Na koniec jeszcze jedna ciekawostka. Doskonale znanym zjawiskiem jest bioluminescencja, czyli świecenie organizmów żywych (w istocie jest to chemiluminescencja). Standardowe przykłady to robaczek świętojański oraz świecące bakterie, które można zaobserwować na psującym się mięsie, a które od kilkuset lat znane są doskonale chirurgom wojskowym. Znane są świecące grzyby i świecące organizmy morskie. Ale ludzka pomysłowość potrafi pójść jeszcze dalej, na przykład inżynieria genetyczna pozwoliła wyhodować rośliny, które zaczynają świecić, gdy poziom azotu w glebie jest niedostateczny.



Zadania

Redaguje Waldemar POMPE

M 1147. Liczby całkowite dodatnie a, b, c, d spełniają warunek $ab = cd$. Dowieść, że liczba $a + b + c + d$ jest złożona.
Rozwiązanie na str. 3



M 1148. Dany jest czworokąt wypukły $ABCD$. Punkty K i L leżą odpowiednio na odcinkach AB i AD , przy czym czworokąt $AKCL$ jest równoległobokiem. Odcinki KD i BL przecinają się w punkcie M . Wykazać, że pola czworokątów $AKML$ i $BCDM$ są równe.
Rozwiązanie na str. 12

M 1149. Na każdym polu szachownicy 8×8 zapisano jedną z liczb $1, 2, \dots, 64$, przy czym wszystkie napisane liczby są różne. Wykazać, że istnieją dwa sąsiednie pola szachownicy, na których zostały zapisane liczby o module różnicy większym lub równym 5.
Rozwiązanie na str. 16

Redaguje Ewa CZUCHRY

F 677. W przykrytym naczyniu napełnionym do pełna wodą znajduje się drewniana kulka. Jak zmieni się nacisk kulki na pokrywkę, jeśli naczynie zacznie poruszać się z przyspieszeniem \vec{a} skierowanym w górę?
Rozwiązanie na str. 2

F 678. Dwie kulki jednakowej wielkości, połączone cienką, długą i nieważką nitką, opadają na dno zbiornika

wodnego ze stałą prędkością. Dolna kulka jest wykonana z aluminium. O drugiej wiemy tylko tyle, że gdyby nie została przerwana, zaczęłaby ona wypływać. Wyznaczyć gęstość ρ_x materiału, z którego wykonana jest górna kulka, przyjmując, że gęstość aluminium wynosi $\rho = 2800 \text{ kg/m}^3$ a wody $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$.
Rozwiązanie na str. 11