

O brzytwie Ockhama, czyli o prostym myśleniu i jak na tym wyszła astronomia pozagalaktyczna

Akustyczna symulacja kryształów fotonowych

Piotr FITA, Jarosław PIOTROWSKI
i Jan GAJ

Artykuł zawiera relację z doświadczeń przeprowadzonych na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w ramach warsztatów zorganizowanych w 1997 roku przez Krajowy Fundusz na rzecz Dzieci. Piotr Fita i Jarosław Piotrowski są stypendystami Funduszu, Piotr Fita jest uczniem IV kl. LO im. T. Kościuszki w Wieluniu, a Jarosław Piotrowski jest uczniem II kl. III LO im. K. Baczyńskiego w Białymstoku.

Co to jest kryształ fotonowy?

Podobnie jak prawdziwy kryształ, jest to struktura o przestrzennej periodyczności. W zasadzie powinna być ona wykonana z materiału przezroczystego dla światła, natomiast skala periodyczności, która w prawdziwych kryształach jest wyznaczona przez odległości międzyatomowe rzędu angstromów (10^{-8} cm), w kryształach fotonowych powinna być porównywalna z długością fali świetlnej, tysiące razy większą od odległości międzyatomowych.

Kryształami fotonowymi interesują się twórcy laserów półprzewodnikowych i innych przyrządów optoelektronicznych, ze względu na potrzebę precyzyjnego kierowania światła w strukturach takich przyrządów tam, gdzie trzeba. Ciekawą właściwością, wspólną z naturalnymi kryształami, jest posiadanie *przerwy energetycznej*, to jest zakresu częstości, dla którego fala elektromagnetyczna nie może się rozchodzić. W przypadku prawdziwych kryształów dotyczy to oczywiście częstości fali elektronowej albo, inaczej mówiąc, energii, jaką mogą przyjmować elektrony.

Najprostszą, jednowymiarową postacią kryształu fotonowego jest *zwierciadło Bragga*, czyli wiele identycznych warstw ułożonych na przemian z dwóch materiałów o różnych współczynnikach załamania. Budując strukturę półprzewodnikową, w której między dwoma zwierciadłami Bragga znajduje się *studnia kwantowa*, możemy otrzymać laser promieniujący prostopadle do powierzchni płytki półprzewodnikowej, co z wielkim upodobaniem robią w ostatnich latach optoelektronicy. Ich entuzjazm pobudza ogromny rynek – w każdym odtwarzaczu płyt kompaktowych jest zadanie dla lasera półprzewodnikowego.

Wiedza o rozchodzeniu się światła w tego rodzaju strukturach jest bardzo ważna dla opanowania ich wytwarzania. Bezpośrednie pomiary pola fali świetlnej są jednak bardzo trudne ze względu na małe rozmiary struktur i długości fali. Dlatego może być bardzo interesujące wykonanie eksperymentów akustycznych na makroskopowych modelach kryształów fotonowych. Teraz mamy już do czynienia ze skalą centymetrową, a nie mikrometrową, co ogromnie ułatwia wykonanie doświadczeń, a wnioski z takich badań mogą okazać się stosowalne również do struktur fotonowych.

Konrad RUDNICKI

Istnieją zasady filozoficzne przyjęte na podstawie zawilego i abstrakcyjnego myślenia. Istnieją też inne, zgodne z myśleniem „na chłopski rozum”. Taką jest tak zwana *zasada brzytwy Ockhama* nakazująca *niemnożenie bytów*, niewprowadzanie bytów zbędnych przy naukowych rozważaniach. Idzie w niej o to, aby sprawy dającej się wyjaśnić prosto, kilkoma pojęciami, nie wyjaśniać w sposób skomplikowany wielką liczbą pojęć, aby delikatne rozróżnienia między pojęciami wprowadzać tylko wtedy, gdy są rzeczywiście potrzebne. Niepotrzebne, zbędne byty należy odciąć jak brzytwą (stąd nazwa). Nieco wulgaryzując sprawę, zasada ockhamowskiej brzytwy nakazuje nam raczej szczerze powiedzieć „nie jadam fasoli, bo mi nie smakuje”, zamiast wymyślać argumenty, że działa ona źle na serce, długo się trawi, powoduje wzdęcia itd. W świadomym zastosowaniu do naukowych rozumowań posługiwanie się tą zasadą nie jest proste, bo jakie kryterium pozwala na łatwe odróżnienie bytów (pojęć) rzeczywiście istotnych od zbędnych? Skąd wziąć przekonanie, że poza prostym zjawiskiem fizycznym nie kryją się niezmiernie skomplikowane prawa fizyczne? Ponadto metodyka pracy naukowej zaleca szukać wyjaśnień zadowalających niezależnie od tego, czy są one skomplikowane, czy proste. Oczywiście tu powstaje problem, co jest zadowalające, ale nie wchodzimy w te sprawy zbyt głęboko. . .

W życiu zarówno codziennym, jak i ekonomiczno-politycznym „ockhamistów” jest wielu. Zamiast się zastanawiać nad wpływem alkoholu na soki trawienne i nad niewłaściwym w danej sytuacji spożyciem pokarmu, prościej jest powiedzieć „Pełnia, panie. Stąd wymioty” (K.I. Gałczyński *Kolczyki Izoldy*). Zamiast szukać wielorakich i złożonych przyczyn niepowodzeń gospodarczych jakiegoś kraju, prościej jest wytłumaczyć wszystko szkodliwą działalnością tradycyjnych wrogów społeczeństwa – komunistów, masonów lub Żydów.

Dzisiejsi naukowcy mniej dbają o niemnożenie bytów. Fizycy nie uważają licznych typów kwarków, których nikt nigdy nie widział i widzieć nie będzie, za byty zbędne. A matematycy zbiór pusty,

czyli nie mający żadnego elementu, nie składający się z niczego, uważają za inny byt niż zbiór, do którego należy zbiór pusty. Tak więc, biorą na początek *nic* i tworzą z owego niczego zbiór, a następnie z tego zbioru i z niczego tworzą zbiory coraz bardziej skomplikowane, nie dbając o zarzut, że tworzą byty zbędne. Co ważniejsze, w ten właśnie sposób zbudowali logiczne podstawy arytmetyki.

W różnych epokach świadomy i podświadomy stosunek naukowców do brzytwy Ockhama był różny. Tu chcę przypomnieć, jak konsekwentne myślenie zgodne z zasadą ockhamowskiej brzytwy powstrzymało na całe stulecie rozwój astronomii pozagalaktycznej.

W roku 1734 Emanuel Swedenborg opisał po raz pierwszy naszą Galaktykę, jako spłaszczony układ mający własną dynamikę i składający się z ogromnej liczby gwiazd, z których jedną jest nasze Słońce. W roku 1761 Johann M. Lambert, a w 1775 – również Immanuel Kant, wysunęli przypuszczenie istnienia wielu podobnych układów gwiazdowych. Ich przypuszczenia poparli następnie obserwacyjnie ojciec i syn – William i John Herschlowie. Posługując się pierwszą generacją wielkich (średnica rzędu metra) teleskopów zwierciadłowych na przełomie wieku XVIII i XIX sporządzili katalog 4014 obiektów mgławicowych, których większość – zgodnie również z dzisiejszymi poglądami – uważali za odległe układy gwiazdowe, odkryli fenomen ogólnego gromadzenia się wszystkich „mgławic pozagalaktycznych” (to znaczy leżących na sferze niebieskiej z dala od Drogi Mlecznej), odkryli pas supergalaktyczny, a także postawili hipotezę, że nasza Galaktyka należy do wielkiego układu galaktyk, którego centrum znajduje się w Pannie. Tak powstała astronomia pozagalaktyczna. Na nieszczęście odkryli też fakt, że „mgławice pozagalaktyczne” (czyli w dzisiejszej terminologii – galaktyki) unikają na sferze niebieskiej okolic Drogi Mlecznej, podczas gdy w samej Drodze i jej pobliżu spotyka się mgławice innych typów (dziś powiemy: mgławice gazowe i pyłowe).

Powiedziałem „na nieszczęście”, bo i jak to można było interpretować? Położenia na sferze niebieskiej wyznaczają kierunki w przestrzeni. Obiekty skupione w dwu czasach biegunowych Drogi Mlecznej zawierają się w przestrzeni w pewnym stożku o wierzchołku w środku sfery, „w oku obserwatora”, czyli w naszej Galaktyce. Poza stożkiem układają się zaś inne obiekty – mgławice galaktyczne. Jeżeli

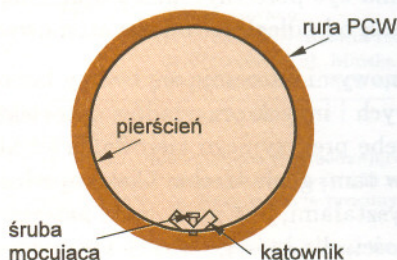
Fale w kryształach naturalnych

Kryształem fotonowym jest też każdy prawdziwy kryształ, ale w odniesieniu do odpowiednio krótkich fal elektromagnetycznych, to jest *promieni Rentgena*, zwanych też promieniami X. Można mieć nadzieję, że eksperymenty akustyczne pozwolą nam bezpośrednio obejrzeć to, co w kryształach oświetlonych wiązką promieni rentgenowskich odbywa się na skalę atomową i jest nam znane jedynie z teorii oraz doświadczeń pośrednich.

Eksperymenty akustyczne na strukturach periodycznych pozwalają też lepiej wyobrazić sobie, jak zachowuje się *fala elektronowa* w prawdziwych kryształach. Od dziesiątek lat wiadomo, że powinna mieć ona postać wynikającą z *twierdzenia Blocha*, to znaczy być iloczynem płaskiej fali harmonicznej i funkcji o periodyczności kryształu. Nikt jednak bezpośrednio funkcji falowej elektronu nie widział. Falę akustyczną możemy łatwo zmierzyć i przekonać się, jaka jest jej postać. Poniżej opisujemy wyniki takich pomiarów, do których wybraliśmy najprostszą postać „kryształu akustycznego”, a mianowicie

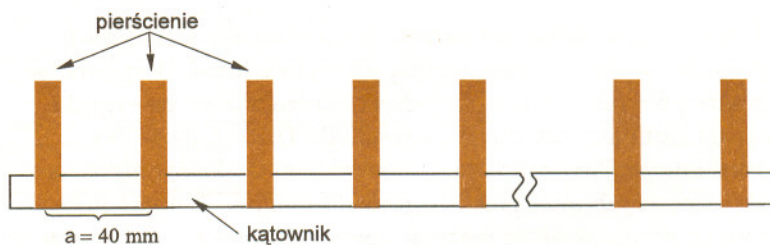
Akustyczne zwierciadło Bragga

Jako modelu struktury periodycznej użyliśmy rury PCW o średnicy wewnętrznej 33 mm i długości 0,79 m z umieszczonym w niej kątownikiem aluminiowym, na którym przymocowane były pierścienie wycięte z rury PCW o średnicy nieco mniejszej od średnicy wewnętrznej rury (rys. 1).



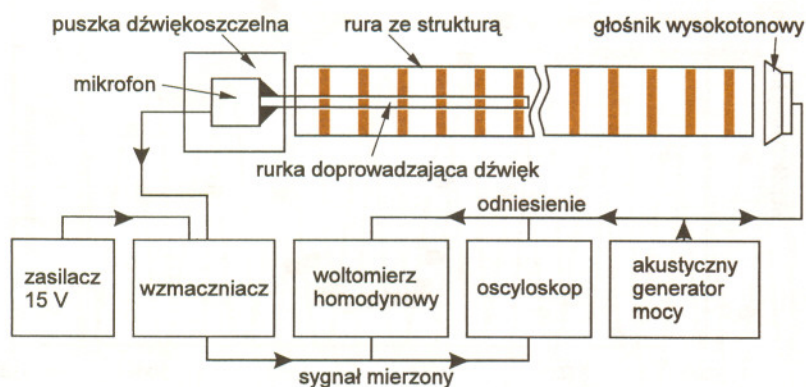
Rys. 1. Sposób zamocowania pierścieni w rurze

Szerokość pierścieni wynosiła 10 mm, odstęp między ich środkami (tzw. stała struktury oznaczana dalej przez a) 40 mm; liczba umieszczonych pierścieni wynosiła 17 (rys. 2). Źródłem fali padającej na strukturę był głośniczek wysokotonowy zasilany z generatora akustycznego umieszczonego na jednym z końców rury. Dla uniknięcia powstawania fali stojącej w wyniku odbicia fali od drugiego końca rury umieściliśmy tam zwitek waty, pochłaniający w znacznym stopniu padającą na niego falę. Pozwalało to przyjąć w pierwszym przybliżeniu, że w rurze nie wytwarza się fala stojąca, która powstawałaby w wyniku nałożenia się fali biegnącej z falą odbitą od wolnego końca rury.



Rys. 2. Schemat struktury – widok z boku

Do pomiaru amplitudy fali wewnątrz struktury wykorzystaliśmy mikrofon zamknięty w dźwiękoszczelnej puszcze, z której wyprowadzona była sonda w kształcie długiej, cienkiej rurki stalowej, użytej w celu doprowadzenia fali akustycznej do mikrofonu. Niewielka średnica rurki pozwala przyjąć, że zaburzenie przez nią wprowadzane nie miało wpływu na wynik pomiaru. Sygnał z mikrofonu doprowadzany był do wzmacniacza opartego na układzie TL082, a następnie do woltomierza homodynowego (rys. 3). Za pomocą woltomierza mierzyliśmy wartość amplitudy napięcia na wyjściu wzmacniacza oraz jej dwie składowe: pierwszą – zgodną w fazie z sygnałem zasilającym głośnik – i drugą – przesuniętą o $\pi/2$ względem tego sygnału, użytego jako sygnał odniesienia. Amplituda napięcia na wyjściu wzmacniacza jest wprost proporcjonalna do modułu zespolonej amplitudy fali akustycznej, natomiast jej składowa zgodna w fazie odpowiada części rzeczywistej sygnału, a składowa przesunięta – części urojonej.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego

Pomiaru dokonywaliśmy przesuwając w strukturze wolny koniec sondy co 1 cm i zapisując wartości odczytów z woltomierza. Oba sygnały – odniesienia i odbierany z mikrofonu – obserwowaliśmy na ekranie oscyloskopu, co miało charakter pomocniczy.

Na błąd pomiaru miały wpływ następujące czynniki:

- niedokładność pomiaru położenia sondy względem końca rury, przy której umieszczony był głośnik. Położenie sondy mierzone było linijką metalową, co spowodowało, że jego wartość obarczona była błędem rzędu 1 mm;

- niedokładność ustawienia częstości generatora; był to akustyczny generator mocy, typ PO-21; podziałki na skali były rozmieszczone co 100 Hz, jednak dość duża odległość między działkami pozwalała prowadzić pomiary co 50 Hz z dokładnością ustawienia częstości nie gorszą niż 30 Hz;

- głośnik przy pomiarach był ustawiony w odległości około 3–4 mm od końca rury. Rozkład pola akustycznego w płaszczyźnie przekroju rury przy głośniku mógł być różny od tego, jaki ustalał się wewnątrz rury; wyniki pomiarów nie dają jednak przesłanek potwierdzających wpływ takiego efektu;

- fakt docierania do mikrofonu dźwięków nie tylko z wnętrza struktury, lecz także poprzez obudowę (niedoskonała izolacja akustyczna mikrofonu). Napięcie na wyjściu wzmacniacza mierzone przy zatkanym wlocie rurki było na poziomie 3% napięcia mierzonego przy maksymalnym natężeniu dźwięku dochodzącego do mikrofonu przy otwartej rurce.

przyjąć, że „mgławice pozagalaktyczne” są galaktykami, to trzeba by uznać, że nasze położenie we Wszechświecie jest wyróżnione, że nasza Galaktyka znajduje się w wierzchołku stożka, wszechobejmującej struktury całego Kosmosu. Od czasu Kopernika i Giordana Bruna astronomowie uważali, że nasze położenie we Wszechświecie musi być przeciętne, a ani nasza Ziemia, ani Słońce, ani Galaktyka nie mogą mieć wyróżnionego położenia. Taką więc możliwość większość astronomów odrzucała.

Jakie były inne możliwości? Otóż można było przyjąć, że galaktyki istnieją nie tylko w wyróżnionym stożku, ale w całej przestrzeni Wszechświata. Coś je jednak poza omówionym stożkiem, czyli w płaszczyźnie Galaktyki, zasłania przed naszym wzrokiem. Ponadto trzeba by wtedy również przyjąć, że mgławice galaktyczne są zupełnie innej natury niż pozagalaktyczne. Pierwsze leżą w naszym układzie gwiazdowym, drugie są same układami gwiazdowymi. Trzeba więc przyjąć: istnienie galaktyk tam, gdzie ich nie widać, istnienie czegoś ekranującego, co właśnie tam je zasłania, oraz istnienie dwu rodzajów mgławic o zupełnie różnej naturze. Słowem, aż trzy zbędne byty. Brzytwa Ockhama nie pozwalała na przyjęcie tak abstrakcyjnej konstrukcji myślowej.

Znacznie prostsza była konstrukcja następująca: nasza Galaktyka jest albo całym Wszechświatem (dalej jest tylko pustka), albo niezmiernie odległa od innych podobnych układów gwiazdowych, tak że ich się nie da obserwować. To, co obserwujemy, to mgławice leżące wewnątrz naszej Galaktyki. Jej struktura ma wyróżniony stożek, w którym się znajdują mgławice pewnego typu (pozagalaktyczne), a poza stożkiem znajdują się inne (galaktyczne). Takie proste tłumaczenie zyskało od razu wielu zwolenników.

O ile trudno znajdować kolejne argumenty na korzyść niepopularnej tezy, o tyle gdy jakaś teza zaczyna znajdować uznanie, dostarczanie dalszych argumentów bywa coraz łatwiejsze. Przypatrzmy się rozwojowi wypadków.

W roku 1815 znano już linie widmowe w Słońcu i w gwiazdach. W następnych dziesięcioleciach stwierdzono, że widmo niektórych mgławic leżących w Drodze Mlecznej jest odbitym, rozproszonym na mgławicowej materii, światłem gwiazdy oświetlającej daną mgławicę. Podobne widmo gwiazdowego typu dało się zaobserwować w kilku mgławicach

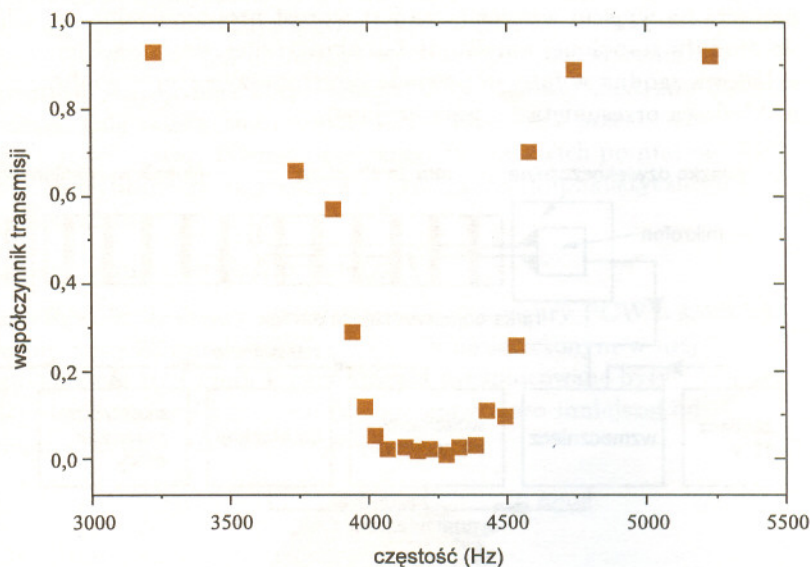
pozagalaktycznych. Nie było tam wprawdzie widać gwiazd oświetlających mgławice, ale można było przyjąć, że są one ukryte za warstwami mgławicowego pyłu (pył w mgławicach był „uznanym bytem”). Miało to świadczyć o podobnej naturze mgławic galaktycznych i pozagalaktycznych. Wprowadzenie po roku 1880 fotografii do spektroskopii astronomicznej przyniosło znajomość wielu dalszych widm mgławic i umocniło znacznie tę tezę. Aż do początku wieku XX spektroskopia była jeszcze zbyt niedoskonała, aby umożliwić odróżnienie widma jednej bliskiej gwiazdy od zbiorowego widma wielu gwiazd odległych, tworzących inną galaktykę. Podobieństwo widm niektórych mgławic galaktycznych i pozagalaktycznych było więc silnym argumentem przeciw uznaniu mgławic pozagalaktycznych za galaktyki.

Idea Wszechświata wyspowego stale jeszcze fascynowała niektórych, ale zbiorowy zapał minął. Owszem, obserwowano czasem poszczególne, zwłaszcza większe, mgławice pozagalaktyczne. Nie pielęgnowano jednak nawet teleskopów potrzebnych do systematycznych obserwacji galaktyk. Statystyczne, dość prymitywne prace z wieku XIX, dotyczące rozmieszczenia mgławic na niebie, korzystają przede wszystkim z dawnych danych obserwacyjnych Herschlów. Kompilacją dawnych danych obserwacyjnych był również znany katalog NGC.

Następnym poważnym ciosem dla pionierów astronomii pozagalaktycznej było odkrycie w roku 1885 obiektu znanego dziś jako supernowa (SN 1885a). Obiekt miał wielkość gwiazdową 5,4 mag. Obiekt jaśniejszy niż szóstej wielkości, nieruchomy i pojawiający się tam, gdzie przedtem nie było widać nic, został zgodnie z ówczesną wiedzą astronomiczną zaklasyfikowany jako gwiazda nowa: „nowa w Spiralnej Mgławicy Andromedy”. W tym czasie znano już mniej więcej wielkości absolutne gwiazd nowych. Nowo odkryta „nowa” mając taką widomą wielkość gwiazdową, jaką zobserwowano, musiała się znajdować wewnątrz naszej Galaktyki, wewnątrz naszego układu Drogi Mlecznej. Istniejący jeszcze zwolennicy traktowania mgławic pozagalaktycznych jako galaktyk uważali, iż nowa, być może, przypadkowo się tylko rzutuje na galaktykę, i w rzeczywistości jej odległość nie jest odległością Mgławicy w Andromedzie. Niestety, odkrycia dalszych rzekomych nowych w galaktykach NGC 4424 i 5253 (w roku 1895), w NGC 2535 i 4321 (1901) oraz

Analiza wyników

Uzyskaliśmy 19 serii pomiarowych dla różnych częstości fali padającej. Po przedstawieniu wyników na wykresach zależności amplitudy fali od położenia w rurze stwierdziliśmy, że dla pewnych częstości fala jest silnie tłumiona – występuje przerwa energetyczna. Dla ujęcia tej obserwacji liczbowo obliczyliśmy współczynnik transmisji dla każdej z badanych częstości, jako stosunek kwadratów amplitudy na końcu i na początku rury. Aby uniezależnić się od wpływu modulacji z okresem struktury, do obliczenia przyjęliśmy średnie wartości z czterech sąsiednich punktów pomiarowych na jej początku i końcu. Wyniki przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Zależność współczynnika transmisji w strukturze od częstości

Widać, że w obszarze od około 4000 Hz do około 4450 Hz fala jest silnie tłumiona.

Z periodyczności struktury wynika, że fala przyjmie postać przestrzenną określoną tzw. funkcją Blocha [1]:

$$\Psi(x) = U(x)e^{ikx},$$

gdzie $U(x)$ jest funkcją periodyczną z okresem a , tzn. $U(x) = U(x + a)$, natomiast k jest wektorem falowym (w naszym jednowymiarowym przypadku redukuje się do skalarnej liczby falowej).

Z okresowości funkcji $U(x)$ wynika, że odczytując wartość np. części rzeczywistej sygnału co okres funkcji $U(x)$ (w naszym przypadku co 4 cm, a więc co 4 punkty pomiarowe) wyeliminujemy wpływ funkcji $U(x)$ na postać funkcji $\Psi(x)$, gdyż $U(x)$ będzie stałe. Tak uzyskane dane powinny więc, według twierdzenia Blocha, reprezentować funkcję e^{ikx} pomnożoną przez pewną stałą, zależną od tego, w jakiej fazie funkcji $U(x)$ będą znajdować się wybrane punkty.

W obszarze poza przerwą energetyczną wektor falowy k przyjmuje tylko wartości rzeczywiste, a więc funkcja e^{ikx} przedstawia falę biegnącą o stałej amplitudzie. W obszarze przerwy energetycznej k staje się liczbą zespoloną, a jej część urojona odpowiada za wykładnicze tłumienie amplitudy. Otrzymujemy wówczas iloczyn fali sinusoidalnej przez czynnik wykładniczo zanikający. Do tak wybranych części rzeczywistych (zgodnych w fazie z sygnałem zasilającym głośnik) i urojonych (przesuniętych o $\pi/2$) naszych

danych uzyskanych poza przerwę energetyczną dopasowaliśmy zależność

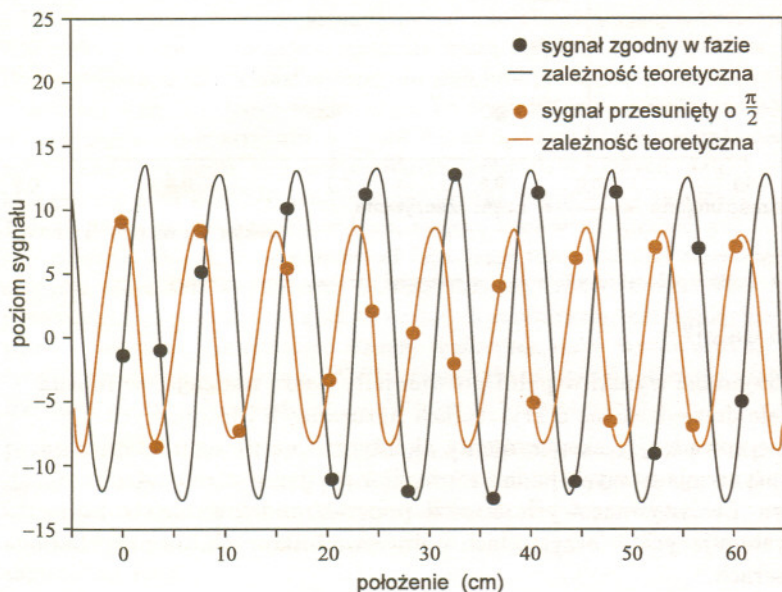
$$f = A \cos(kx - \delta),$$

gdzie A – amplituda fali, k – wektor falowy, δ – przesunięcie fazowe, a do danych wewnątrz przerwy energetycznej zależność teoretyczną

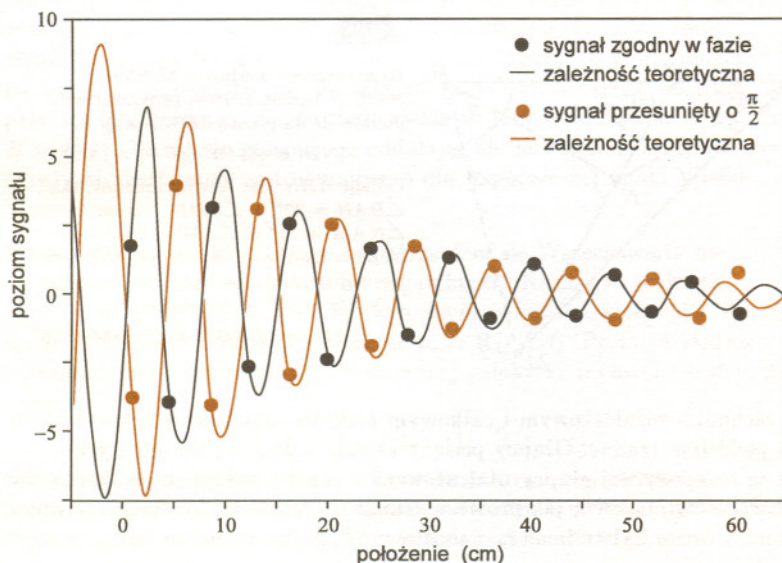
$$f = A \exp(-\beta) \cos(\alpha x - \delta),$$

gdzie A – amplituda fali, α – część rzeczywista wektora falowego, β – część urojona wektora falowego, δ – przesunięcie fazowe.

Przykładowe wykresy wyników doświadczalnych oraz dopasowane zależności teoretyczne przedstawione są na rysunkach 5 i 6. Na podstawie dopasowania funkcji można określić interesującą nas wartość wektora falowego.



Rys. 5. Poziomy sygnału mierzony co okres funkcji $U(x)$ dla częstotliwości 4580 Hz (poza przerwę energetyczną)



Rys. 6. Poziomy sygnału mierzony co okres funkcji dla częstotliwości 4080 Hz (wewnątrz przerwy energetycznej)

W taki sposób określiliśmy rzeczywistą i urojoną część wektora falowego, przedstawione na rysunku 7. Widać, że w obszarze częstotliwości 4000–4450 Hz wektor falowy ma różną od zera część

w kolejnych galaktykach w ciągu dalszych lat, zmniejszały z czasem prawdopodobieństwo takiego tłumaczenia prawie do zera.

„Ostateczny” cios zwolennikom traktowania mgławic pozagalaktycznych jako układów gwiazdowych tego typu co nasza Galaktyka zadał jednak dopiero znakomity astrometrysta, specjalista od pomiarów ruchów własnych, A. van Maanen, który zastąpił wcześniejszymi świetnymi pomiarami odległości kątowych i zmian tych odległości, czyli kątowych ruchów własnych. Otóż w roku 1916, porównując klisze ze zdjęciami mgławicy spiralnej w Wiekiej Niedźwiedzicy (M 101) z lat 1899, 1908, 1910, 1914 oraz 1915, ten słynny badacz wyznaczył ruchy własne niektórych jej jaśniejszych „punktowych” zgęszczeń i stwierdził, że świadczą one „bez wątpliwości” o ruchu obrotowym tego obiektu. W tej samej pracy, jak na ironię, przestrzega van Maanen przed możliwymi błędami w pomiarach ruchów własnych i wyciąganiem z tych pomiarów pochopnych wniosków. Potem, w roku 1921 ogłosił następną pracę na ten temat. Tym razem wyznaczył ruchy własne w czterech mgławicach spiralnych: M 33, 51, 81 i ponownie w M 101. Pomiary wykazywały okresy obrotu tych mgławic rzędu 45 ÷ 160 tysięcy lat. Wynikało stąd, że przyznanie tym mgławicom położenia w przestrzeni poza obrębem naszej Galaktyki, a tym samym odpowiednio większych rozmiarów liniowych, zmuszałoby do przyjęcia, że ich zewnętrzne obszary wirujące mają prędkość liniową większą od prędkości światła. Odtąd zwolennikami hipotezy Wszechświata składającego się z widocznych, mgławicowo wyglądających galaktyk pozostali już tylko nawiedzeni fani.

Ale nie trwało to długo. W następnym roku Edwin Hubble pracując na górze Wilsona na największym wówczas teleskopie świata o średnicy 252 cm nastawił (pomyłkowo – jak twierdzą złośliwi), w przeciwieństwie do swoich poprzedników, środek pola widzenia nie na zatłoczone jądro spiralnej „mgławicy” w Andromedzie, lecz na peryferyjne części jej ramienia spiralnego, co pozwoliło w nim odróżnić poszczególne gwiazdy i następnie metodą cefeid wyznaczyć, z dużym jeszcze błędem, ale poprawnie co do rzędu wielkości, odległość całego obiektu. „Mgławica w Andromedzie” okazała się galaktyką; pozostałe mgławice pozagalaktyczne – również.

Wkrótce zdano sobie sprawę z istnienia kilku bytów uznawanych dotąd za zbędne. Po pierwsze – oprócz faktycznych pyłowych i gazowych mgławic należących do naszej Galaktyki trzeba przyjąć również istnienie galaktyk wyglądających mgławicowo tylko ze względu na wielkie ich odległości. Po drugie wypadało uznać, że galaktyki są rozmieszczone w całej przestrzeni, również w kierunkach, gdzie leży Droga Mleczna. A ponieważ ich tam nie widać, wynika stąd realność ciemnej materii ekstinguującej (pochłaniającej, rozpraszającej) światło, rozmieszczonej w płaszczyźnie naszej Galaktyki. Każdy z tych „zbędnych” bytów stał się z czasem podstawą innej gałęzi badań astronomicznych. Najdłużej przyszło czekać niewidocznym galaktykom skrytym za masami ciemnej materii. Te zaczęto odkrywać dopiero po wypracowaniu metod obserwacji w podczerwieni.

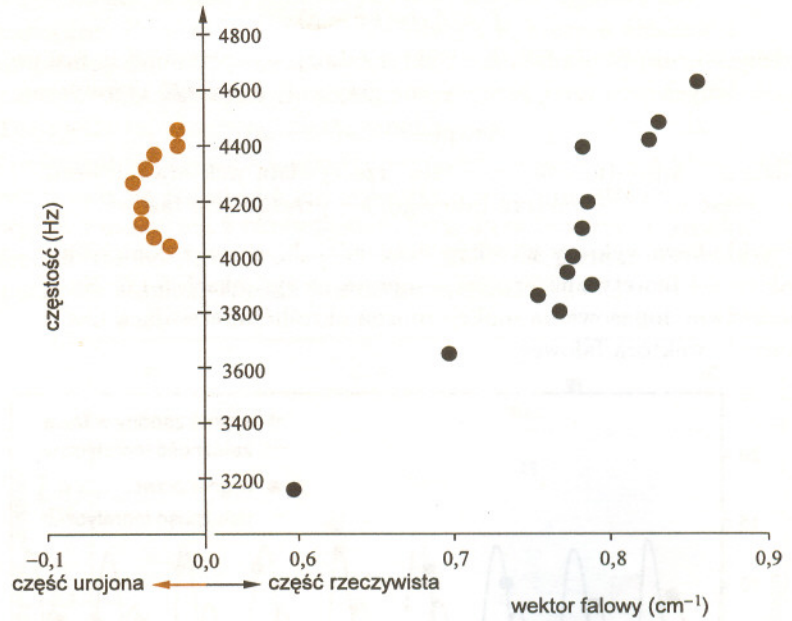
Gdy jakiś pogląd odnosi zwycięstwo, łatwo się znajduje dodatkowe argumenty za jego słuszością. Nie negując podobieństwa widm galaktyk do widm gwiazd (i widm mgławic przez nie oświetlanych) dostrzeżono stopniowo w tych widmach istotne różnice. Stwierdzono, że same widma pozwalają odróżniać układy gwiazdowe od gwiazd pojedynczych. Tak więc argument zaczerpnięty z widm obrócił swoje ostrze w przeciwnym kierunku.

Sprawę rzekomych gwiazd nowych w licznych galaktykach, których do roku 1922 odkryto już 17, wyjaśnił ostatecznie najwybitniejszy XX-wieczny przyrodnik-goetheanista Zwicky (goetheanizm jest nie do pogodzenia z brzytwą Ockhama), który wraz z Walterem Baadem stwierdził, iż mamy tu do czynienia z obiektami o znacznie większej światłości (mniejszej wielkości absolutnej). Te obiekty nazwano supernowymi, co otworzyło nowy dział astrofizyki zajmujący się tymi obiektami, uważanymi dziś za ważne stadium ewolucji gwiazd.

Goetheanizm – metodologia badań oparta na goetheanistycznej teorii poznania przypisującej myśleniu subiektywizm w tym sensie, że człowiek może myśleć (z pewnymi psychologicznymi ograniczeniami) o tym, o czym chce i obiektywizm w tym sensie, że dane myśli dają się prawidłowo zestawić w jeden tylko sposób niezależny od upodobań człowieka.

A co z nadświatłymi prędkościami wirowania wynikającymi z pomiarów ruchów własnych dokonanych przez van Maanena? Był on niewątpliwie

urojoną, co oznacza tłumienie. Poza tym obszarem fala rozchodzi się praktycznie bez tłumienia.

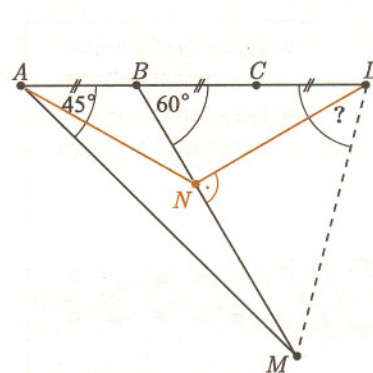


Rys. 7. Wartości wektora falowego w obszarze przerwy energetycznej

Co dalej?

Otrzymane wyniki w pełni potwierdziły naszą nadzieję, że można wiele dowiedzieć się o kryształach naturalnych i fotonowych przeprowadzając eksperymenty akustyczne na modelu. Naturalna kontynuacja naszych badań może się rozwijać w stronę struktur dwu- i trójwymiarowych, a także poprzez modelowanie struktur występujących w przyrządach półprzewodnikowych, na przykład laserach.

J. Ginter, *Wstęp do fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego*, PWN, Warszawa 1979, s. 244.



Rozwiązanie zadania M 835.

Niech N będzie rzutem prostokątnym punktu D na prostą MB . Mamy

$$|NB| = \cos 60^\circ \cdot |BD| = |AB|,$$

trójkąt ABN jest równoramienny, skąd $\angle BAN = 30^\circ = \angle BDN$. Zatem $\angle NAM = 15^\circ = \angle AMN$. Stąd $|ND| = |NA| = |NM|$. Trójkąt MND jest równoramienny i prostokątny, skąd $\angle NDM = 45^\circ$. Ostatecznie

$$\angle MDC = \angle BDN + \angle NDM = 75^\circ.$$

W rachunku różniczkowym i całkowym niektóre sztuczki są łatwe, niektóre zaś piekielnie trudne. Głupcy piszący książki o wyższej matematyce – a są to zazwyczaj głupcy utalentowani – rzadko zadają sobie kłopot, by pokazać Czytelnikowi, jak proste w istocie są rachunki. Wręcz przeciwnie, obierają drogę najtrudniejszą z możliwych, zdając się pałać żądzą imponowania swym ogromnym sprytem.

Jako osoba nadzwyczaj głupia i tępa, byłem zmuszony odczytać się wszelkich zawiloci, a teraz pragnę przedstawić mym braciom-głupcom te fragmenty przedmiotu, które nie są trudne. Opanujcie je sumiennie, reszta przyjdzie sama. Co udało się jednemu głupcowi, uda się i innym.

Sylvanus P. Thompson, we wstępie do *Calculus made easy*

Prawo Hubble'a i zdrowy rozsądek

Prasa kłamie. Czy to hasło studentów z 1968 roku pozostało aktualne? Prasa jest różnorodna i niezależna od władzy, kłamie zaś mniej nachalnie i intensywnie niż wtedy, a zresztą od czego sądy, gdy ktoś poczuje się kłamstwami głęboko dotknięty. Przeto kłamstwa prasowe w polityce nie są aż tak ważne jak kiedyś. Inaczej jest, jeśli kłamstwo, lub mniej dobitnie – szerzenie nieprawdy – dotyczy faktu naukowego. Tu, bardziej niż w polityce, czytelnik spodziewa się przeczytać prawdę. A chociaż o nauce czyta mniej osób niż o polityce, to nieprawda opublikowana w wysokonakładowej gazecie rozprzestrzenia się w sposób znaczący, nawet jeśli dotyczy nauki. Przyczynia się to do oddalenia się elit naukowych od społeczeństwa, co pozostaje szkodliwe niezależnie od ustroju.

Kilka lat temu w *Magazynie Gazety Wyborczej* ze zdumieniem przeczytałem (w artykule podpisanym przez mojego znakomitego kolegę z Wydziału Fizyki UW), że sztandarowe dzieło obserwacyjnej astronomii XX wieku – prawo Hubble'a – wyróżnia naszą Galaktykę jako centrum Wszechświata, o ile nie zastosujemy do jego interpretacji – zamiast fizyki klasycznej – ogólnej teorii względności. Po wysłaniu przeze mnie protestu do *Magazynu* autor artykułu wyjaśnił mi, że oprotestowane stwierdzenie nie pochodzi od niego, lecz jest wynikiem zmian redakcyjnych, nad którymi nie miał kontroli, ponieważ przebywał chwilowo za granicą. Jednak *Magazyn* nie opublikował ani mojego listu w tej sprawie, ani sprostowania autora, więc pamiętliwi czytelnicy tego skądinąd ciekawego artykułu biorą zapewne fałsz za prawdę. Zresztą, myślę, że wiele osób poznających prawo Hubble'a na poziomie elementarnym, ma intuicyjne podejrzenie takie, jak redaktor *Gazety Wyborczej*, który wprowadził tę fatalną poprawkę w artykule. Warto więc chyba wyjaśnić, dlaczego prawo Hubble'a nie wyróżnia żadnego punktu we Wszechświecie.

Prawo Hubble'a stwierdza: galaktyki (przynajmniej te sąsiednie) oddalają się od nas z grubsza biorąc z prędkościami wprost proporcjonalnymi do ich odległości od nas. W języku klasycznych wyobrażeń kinematycznych, po umieszczeniu początku układu odniesienia w naszej Galaktyce, fakt ten zapisuje się jako

$$v = Hr,$$

przy czym, jeśli przez R oznaczmy funkcję przypisującą galaktyce znajdującej się w wybranej chwili t_0 w punkcie r_0 położenie $r = R(r_0, t)$ w chwili t , to $v = \partial R / \partial t$. Wielkość H , niefortunnie nazwana *stałą Hubble'a*, na mocy prawa Hubble'a nie może zależeć od r , natomiast nic nie stoi na przeszkodzie, by zależała od t . I musi zależeć od t , bo przyciąganie grawitacyjne powinno zwalniać tempo oddalania się galaktyk, $H = H(t)$. To zaś, że w ogóle się oddalają, nie jest wynikiem działania grawitacji, lecz zapewne tajemniczego dla współczesnej nauki Wielkiego Wybuchu.

A jak wygląda prawo rządzące rozszerzaniem się Wszechświata nie z punktu widzenia naszej, lecz innej galaktyki? Niech galaktyka ta zajmuje w chwili t_0 położenie r_{10} w naszym układzie odniesienia. Wtedy w chwili t będzie zajmować położenie $r_1 = R(r_{10}, t)$. Promień wodzący poprowadzony z tej wybranej do dowolnej galaktyki w chwili t będzie dany przez

$$r' = r - r_1 = R(r_0, t) - R(r_{10}, t).$$

Różniczkując względem czasu przy ustalonych r_0 i r_{10} , otrzymamy prędkość dowolnej galaktyki w układzie odniesienia wybranej galaktyki, która po skorzystaniu z prawa Hubble'a dana jest formułą:

$$v' = Hr - Hr_1 = Hr'.$$

Prawo Hubble'a w układzie innej galaktyki wyraża się więc tym samym wzorem, co w przypadku układu naszej Galaktyki. Wynika z tego, że intuicje kinematyczne czasem zawodzą, a szerzenie nieprawdy chyba warto prostować.

Wojciech KOPCZYŃSKI

świetnym astrometrystą. Jednak korzystając z tego, że klisze, na których dokonywał pomiarów, pozostały, pomiar po śmierci van Maanena powtórzono. Stwierdzono wtedy brak jakichkolwiek mierzalnych przesunięć. Okazało się więc – ku przestrodze potomnych – że nawet znakomici uczeni dokonując „obiektywnych” pomiarów podlegają czasami autosugestii, gdy z góry zakładają, jakie wyniki mają otrzymać.

Tak więc w roku 1922 astronomia pozagalaktyczna, po mniej więcej stuletniej przerwie, ożyła. Wyniki obu Herschlów zostały tymczasem zapomniane. Hubble'owi przyszło więc na nowo odkrywać gromady galaktyk, a Fritz Zwicky stwierdził po żmudnych pomiarach, że w gromadzeniu się biorą udział wszystkie galaktyki, nasza zaś Galaktyka należy do wielkiej gromady (dziś się utarło mówić: do supergromady) w Pannie, o czym wiedzieli już przecież Herschlowie. Vera Rubin i Gerard de Vaucouleurs ponownie odkryli pas supergalaktyczny. Nastąpiły i trwają do dziś dalsze odkrycia faktów nieznanych w czasach Herschlów.

Czy z tego płynie morał, że zasada brzytwy Ockhama jest błędna? – Raczej, że żadnej zasady metodologicznej nie można stosować automatycznie.

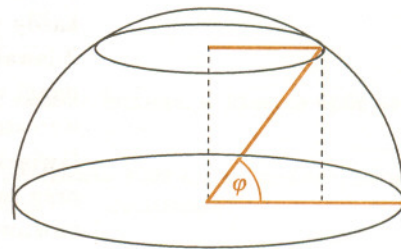


Rozwiązanie zadania F 469.

Musi to być równoleżnik krótszy od 24 000 km, gdyż tylko taki porusza się podczas obrotu Ziemi z prędkością mniejszą niż 1000 km na godzinę. Ponieważ równik ma 40 000 km i ponieważ stosunek długości okręgów jest równy stosunkowi ich promieni, więc z rysunku wynika, że

$$\cos \varphi < \frac{24}{40} = 0,6,$$

co daje szerokość geograficzną $\varphi > 53^\circ 08'$.



Samolot musi więc latać albo na północ od Torunia, albo na południe od Cieśniny Magellana. To jednak nie wystarczy. Nie może też przekroczyć południka 180° – dlaczego?