

Aleksander Opilski

Katedra Fizyki A
Zakład Elektrofizyki

KIERUNKI BADAŃ PROWADZONYCH W ZAKŁADZIE ELEKTROFIZYKI

Streszczenie. W artykule przedstawiono prace wykonane o-raz rozpoczęte w Zakładzie Elektrofizyki Katedry Fizyki A. Prace dotyczące badania struktury ciała stałego oraz cieczy bardzo lepkich metodami ultra- i hiperdźwiękowymi.

Prace Zakładu Elektrofizyki dotyczą badania drgań cieplnych w ciałach stałych. W dotychczasowych pracach badano wpływ defektów punktowych na propagację fali ultra- i hiperdźwiękowej, oraz wpływ defektów punktowych na oddziaływanie fonon-fonon.

W przypadku idealnego ciała stałego (pozbawionego defektów) drgania molekuł i atomów tworzą widma częstotliwości akustycznych i optycznych. Obecność defektów punktowych, wskutek różnicy mas i stałych siłowych wywołuje powstanie stanów lokalnych i kwasilokalnych.

Stany lokalne występują w pasmach wzbronionych, zaś kwasilokalne w pasmach częstotliwości dozwolonych. Przy czym te ostatnie zaznaczają się osłabieniami pochłaniania dowolnego promieniowania.

Pochłanianie fali ultra czy hiperdźwiękowej w przypadku obecności defektów punktowych jest spowodowane następującymi przyczynami:

1. defekty bezpośrednio wpływają na rozpraszanie fali
- 2) defekty rozpraszają fonony cieplne i tym samym zmieniają wkład fononów cieplnych w pochłanianie fali dźwiękowej,
- 3) ponieważ poziomy wywołane obecnością defektów mają skończoną szerokość, może nastąpić pochłanianie fali wywołane przejściem pomiędzy podpoziomami.

Zagadnienie bezpośredniego wpływu defektów na rozpraszanie fal dźwiękowych było badane przez Gurewicza i Szklowskiego [1]. Należy jednak podkreślić, że badania te ograniczały się tylko do przypadku wpływu atomów domieszek o znacznie różniących się masach od mas atomów podstawowych, bez uwzględnienia zmiany sił oddziaływania. Rozważania te doprowadziły do stwierdzenia, że współczynnik pochłaniania ultradźwięków gdy nie występują stany kwasilokalne ma charakter reylecghowski. Poziomy kwasilokalne lub lokalne występują wówczas gdy atom domieszki różni się znacznie masą od atomów macierzystych lub różnica zaznacza się silnie pomiędzy siłami oddziaływania. W przypadku poziomów kwasilokalnych wywołanych ciężkimi domieszkami występuje silna deformacja widma częstości. Pojawia się strefa

"kwasi zabronionych częstości". Dla częstości leżących w tej strefie występuje tak silne pochłanianie, że dźwięk prawie się nie rozchodzi. Poza tym dla częstości bliskich częstościom kwasilokalnym pochłanianie ma charakter rezonansowy.

Pośredni wpływ defektów na rozpraszanie dźwięku badany był w przypadku rozpraszania fal dźwiękowych, dla których $q \ll \frac{1}{a}$ gdzie a - odległość pomiędzy defektami, przyjmując w pierwszej z tych prac następującą zależność częstości oddziaływania fononów z defektami od stężenia c i wektora falowego q .

$$\Gamma_1(q) = \xi^2 (1-c) sa^3 q^4$$

gdzie $\xi = \left| \frac{\Delta M}{M} \right|$ - względna zmiany masy
 s - prędkość fali

Badano również zachowanie się współczynnika pochłaniania w pobliżu poziomu kwasilokalnego, ale i w tym przypadku nie uwzględniono zmiany sił oddziaływania wywołanej defektem. Autorzy dochodzą do wniosku, że dla temperatur $T \gg T_D$ pochłanianie wywołane poziomami kwasilokalnymi jest większe niż pochłanianie wywołane zmianą czasu relaksacji fononów ciepłych wskutek występowania defektów.

Oprócz dwu wyżej wymienionych mechanizmów pochłaniania fali dźwiękowej w osrodku z defektami Iwanow i Kriwoślazów [2] zbadali jeszcze jeden mechanizm, który w pewnych przypadkach może odgrywać istotną rolę. Jak już wspomniano wyżej w obecności defektów różniących się znacznie masą lub siłami oddziaływania powstają dodatkowo poziomy o charakterze kwasilokalnym lub lokalnym. Wskutek defektów anharmonicznych poziomy te posiadają pewną szerokość Γ .

Dla częstości fali $\omega_n < \Gamma$ występuje pochłanianie spowodowane kwantowymi przejściami pomiędzy podpoziomami tworzącymi szerokość poziomu lokalnego (kwasilokalnego). Autorzy wykazali, że współczynnik pochłaniania fal sprężystych jest proporcjonalny do kwadratu częstości i odwrotnie proporcjonalny do szerokości poziomu domieszkowego Γ .

W Zakładzie Elektrofizyki zajęliśmy się wyznaczaniem wpływu defektów punktowych na czas relaksacji fononów z uwzględnieniem zmiany stałych siłowych, oraz zbadaliśmy bezpośredni wpływ defektów punktowych na pochłanianie fali dźwiękowej również z uwzględnieniem zmian stałych siłowych. Posłużono się przy tym techniką funkcji Greena [3,4], która ma szereg zalet w stosunku do pozostałych technik rachunkowych. Tak np. funkcja Greena podlega bezpośrednio pomiarowi, zaś technika diagramowa w przypadku funkcji Greena jest prostsza niż w przypadku techniki rezolwenty.

Obecność domieszek wpływa na własności siatki wskutek zmiany masy \sqrt{M} i zmiany sił oddziaływania \sqrt{C} . W stopach metalicznych atomy domieszek powodują lokalne zmiany gęstości elektronów i lokalne zmiany siatki krystalicznej. Efekty te wysuwają się na plan pierwszy, zaś zmiany stałych sił

łowych można pominąć, w szczególności przy dużej różnicy mas pomiędzy atomami macierzystymi i domieszkami. Teorie oparte na tego rodzaju przybliżeniu dotyczące zjawiska Mössbauera [5], rozpraszania neutronów [6], ciepła właściwego [7] i przewodności elektrycznej [8] wyjaśniają wiele rezultatów doświadczalnych. Jednak w stopach metalicznych o sblitonych masach atomów w szczególności zaś w stopach dielektrycznych i dielektrykach samiecyszczonych nie można pomijać wpływu zmiany sił wzajemnego oddziaływania na własności substancji z defektami.

Badania przeprowadzone nad tym zagadnieniem wykazują [9] że wobec uwzględnienia wpływu zmiany stałych siłowych otrzymuje się dodatkowe pochłanianie fononów, zależne w inny sposób od częstotliwości niż w przypadku uwzględnienia tylko różnicy mas.

Oprócz tego badaliśmy wpływ defektów punktowych na współczynnik pochłaniania fali ultradźwiękowej wskutek oddziaływania z fononami. Obecność defektów punktowych wpływa na czas życia fononów cieplnych i na ich rozkład. Szczególnie silny wpływ defektów obserwuje się na zmianę średniej drogi swobodnej fononów.

Przy oddziaływaniu fononów zasadę zachowania energii można napisać w postaci:

$$\hbar\omega_m = \hbar[\omega_{j_1}(q_1) + \omega_1(q) - \omega_{j_2}(q_2)]$$

gdzie ω_m jest minimalną częstotliwością wynikającą z warunku nieokreśloności energii.

Jeżeli przez t oznaczymy czas zajęcia procesu oddziaływania to musimy mieć spełniony warunek

$$\hbar\omega_m e > \frac{\hbar}{t}$$

Rozważmy przypadek dla którego ważna jest relacja $\hbar\Gamma_d(q_1) \gg \hbar\omega_m$ gdzie $\Gamma_d(q_1)$ - odwrotność średniego czasu życia fononu q_1 wynikającego z rozprzelenia fononu na defektach punktowych.

Wobec tego mamy:

$$\frac{1}{\omega_m} \gg \frac{1}{\Gamma_d(q_1)} \quad \text{lub} \quad t \gg \tau_d$$

gdzie

t - jest czasem zajęcia procesu oddziaływania

τ_d - średni czas życia fononu wynikających z obecności domieszek. Stąd łatwo wyciągnąć wniosek, że w tym przypadku nie może być wpływu domieszek na oddziaływanie pomiędzy fononami i wobec tego współczynnik pochłaniania fali ultra - czy niperdźwiękowej będzie określony tylko procesami oddziaływania fononów pomiędzy sobą (mechanizm Landau).

W przypadku przeciwnym, gdy $\Gamma_d(q_1) \ll \chi(\omega_m)$ wpływ defektów będzie istotny na proces oddziaływania, doprowadza to do dodatkowego procesu pochłaniania fali ultra czy hiperdźwiękowej. Zagadnienie to zostało opracowane w jednej z prac Zakładu [10].

Oprócz wymienionych prac rozpoczęto przygotowania do podjęcia prac doświadczalnych, nad wpływem defektów punktowych liniowych i dyslokacji na własności mechaniczne i cieplne ciał stałych.

Drugi kierunek prac prowadzonych w Zakładzie dotyczy oddziaływań fonon-fonon. Prace z tego zakresu są przygotowywane (kompletowana jest aparatura). W szczególności chodzi tu o badanie rozproszenia Brillouina światła laserowego na drganiach debayowskich siatki.

Mechanizm rozproszenia Brillouina można przedstawić, jak wiadomo, w postaci:

$$\text{fonon 1} \rightarrow \text{foton 2} + \text{fonon}$$

Równaniu temu odpowiadają: zasada zachowania energii i pędu

$$\omega_1 = \omega_2 + \omega_\mu$$

$$\vec{k}_1 = \vec{k}_2 + \vec{k}_\mu$$

Z równań tych można otrzymać wyrażenie

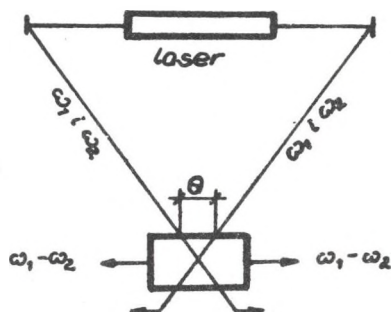
$$\frac{\omega_\mu}{v_\mu} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{v_\mu} \approx \frac{2n\omega_1}{c} \sin \frac{\theta}{2}$$

Z ostatniego wyrażenia można wyznaczyć prędkość propagacji fali hiperdźwiękowej, zaś z szerokości linii przesuniętej można wyznaczyć współczynnik pochłaniania fononów.

Równanie przedstawiające oddziaływanie fononu z fotonem można również zapisać w następujący sposób

$$\text{foton 1} - \text{foton 2} \rightarrow \text{fonon}$$

oznacza to, że w wyniku oddziaływania fotonu pierwotnego o częstotliwości ω_1 z fotonem rozproszonym o częstotliwości ω_2 powstaje fonon o częstotliwości $\omega_\mu = \omega_1 - \omega_2$. Oddziaływanie to można wzmocnić przez wprowadzenie do ośrodka drugiej fali świetlnej spójnej o częstotliwości ω_2 i tym samym kierunku co fala rozproszona. Obie wprowadzone fale spójne tworzą w ośrodku falę ultradźwiękową. Źródłem fal świetlnych mogą być dwa lasery lub jeden laser z którego obu końców wyprowadzimy wiązki, zawierające dwa mody o zbliżonych częstotliwościach.



Oprócz wyżej omówionych prac istnieje jeszcze grupa prac dotyczących struktury cieczy. Wynika to stąd, że katedra dysponuje aparaturą do tego typu badań, zaś aparaturę dotyczącą badań w ciele stałym dopiero kompletuje się. Prace te dotyczą propagacji fal o amplitudzie infinitesimalnej oraz o amplitudzie skończonej w cieczach o dużej lepkości oraz przy przejściu zolu w żel. Struktura ciał o bardzo dużej lepkości jest podobna do struktury ciał stałych bezpostaciowych. Ciała tego typu, jak wiadomo, przechodzą w sposób ciągły ze stanu stałego w stan ciekły. Do tego typu ośrodka usiłuje się stosować teorie relaksacyjną Madelstama-Leontowicza, uogólniając ją na wiele czasów relaksacji. W ostatnim czasie Isakowicz i Czaban [11] podali teorie rozchodzenia się fal akustycznych w ośrodkach o dużej lepkości.

Autorzy traktują ciecz lepka jako ośrodek niejednorodny, składający się z uporządkowanych pod względem struktury kul znajdujących się w nieuporządkowanym ośrodku. Stopień uporządkowania określony jest koncentracją dziur, która w stanie równowagi jest różna dla kul i dla ośrodka. Przejście fali akustycznej powoduje między innymi zmianę tej koncentracji. Powrót do stanu pierwotnego zachodzi poprzez dyfuzję dziur.

Nasze badania eksperymentalne [12] wykazały, że teoria Czabana Isakowicza również nie jest przydatną do wytkumaczenia własności sprężysto-lepkich ciał o dużej lepkości.

Na zakończenie pragnę jeszcze wspomnieć o dwu kierunkach prac z zakresu ciała stałego rozwijanych w Katedrze Fizyki A poza Zakładem Elektrofizyki. Pierwszy kierunek dotyczy badań nad cienkimi warstwami metali odparowanymi w wysokiej próżni rozpoczęto w 1955 roku w Katedrze Fizyki Politechniki Śląskiej. W pierwszej fazie prac badano możliwości pokrywania drutów aluminiowych i miedzianych cienkimi ochronnymi warstwami platyny. Następnie opracowano całą technologię otrzymywania kondensatorów wsorcowych drogą naporowywania na mikę cienkich warstw srebra. Po jej opracowaniu otrzymane wyniki opublikowano w Zesz. Nauk. Pol. Śl. w 1962 r. [13] i przekazano do produkcji w Z.O.M.P. Pol. Śl. Na dalszym etapie prac badano

także własności elektryczne cienkich warstw jak oporność powierzchniowa, siła termoelektryczna, stała Halla dla różnych stopów oporowych 2 i 3 składnikowych. Tego typu warstwy znajdują zastosowanie w układach mikro-modułowych w elektronice. Na tej bazie opracowano dysertację doktorską [16] uwzględniającą badania własności elektrycznych, pomiar wektora namagnesowania, analizę strukturalną mikroskopem elektronowym, oraz analizę promieniowania rentgenowskiego wzbudzonego dla cienkich warstw stopu FeCrAl. Niektóre wyniki tych badań były referowane na międzynarodowym kolokwium ferromagnetyków w grudniu 1964 w Poznaniu i opublikowane w materiałach z tego kolokwium, na I międzynarodowym kolokwium cienkich warstw w Budapeszcie w kwietniu 1965 roku i opublikowane w materiałach z tego kolokwium [15] oraz w Węgierskim czasopiśmie *Finomechanika* w październiku 1964 r. [14], oraz na Zjeździe Fizyków Niemieckich w Lipsku w kwietniu 1967 r.

Obecnie w pracowni prowadzi się badania własności cienkich warstw stopów FeCr o różnych składach procentowych.

Szczególne ciekawym teoretycznie jest badanie spontanicznego pola Halla występującego w ferromagnetykach, przy czym wnioski wypływające z badań dotychczas prowadzonych w tej pracowni rzucają ciekawe światło na kwantowo molekularny charakter tego zjawiska.

Drugi kierunek zaś dotyczy pomiaru stałych sprężystych tak dynamicznych jak i statycznych strun niklowych, o różnym stopniu czystości w zakresie naprężeń od $0,6 \text{ kg/mm}^2$ do 20 kg/mm^2 przy rozciąganiu. Przy wykonywaniu pomiarów metodą statyczną zaobserwowano skracanie się czystych próbek niklowych poddanych rozciąganiu po raz pierwszy po wyżarzeniu w zakresie naprężeń do 10 kg/mm^2 . Względna zmiana długości wynosi od 0,2 do $1,0 \cdot 10^{-2}$. Przy powtórzeniu pomiaru na tej samej próbce skrócenie nie występowało [17].

LITERATURA

- [1] L.E. Gurewicz, B.I. Sskłowski - *Żur.Eksp.T.Fiz.* 53, 1967, 1726-1734.
- [2] M.A. Iwanow, M.A. Kriwołaz - *Fiz.T.T.* 9, №6., 1967, 1771-1779.
- [3] W.Ł. Boncz-Brujewicz, S.W. Tjablikow - *Metod funkcji Grina w statystycznej mechanice*
- [4] A.A. Abrikozow, Ł.P. Gorkow, I.E. Działozinskij - *Metody kwantowej teorii pola w statystycznej fizyce.*
- [5] J. Kagan, J.A. Josilewski - *Żur.Eksp.T.F.* 44, 284, 1963, 46, 2165, 1964
- [6] J. Kagan, J.A. Josilewski - *Żur.Eksp.T.F.* 44, 1375, 1963.
- [7] J. Kagan, J.A. Josilewski - *Żur.Eksp.T.F.* 45, 819, 1963.
- [8] J. Kagan, J.A. Josilewski - *Żur.Eksp.T.F.* 50, 1108, 1966.
- [9] A. Opilski - praca habilitacyjna.
- [10] A. Opilski, L. Tarnawska, J. Zabawa - *Archiwum Akustyki* (w druku).
- [11] M.A. Isakowicz, I.S. Czaban - *Żur.Eksp T.F.* 1966, 1343-1363.
- [12] Z. Kleszczewski, A. Opilski - *Archiwum Akustyki* (w druku).

- [13] S. Kończak - Zesz.Nauk.Elektryka 12 Nr 53, 1962.
- [14] S. Kończak, Finomechanik 9, 1966, 263-265. Budapeszt.
- [15] S. Kończak - Proc.of.Coll.on Thin Films Budapeszt, 113-121, 1965.
- [16] S. Kończak - dysertacja doktorska.
- [17] Z. Wajdowa - dysertacja doktorska.

TRENDS OF INVESTIGATIONS CARRIED ON AT THE
INSTITUTE OF ELECTROPHYSICS

S u m m a r y

This paper describes the investigations performed and those being just carried on by the Staff of the Electrophysics Laboratory of the Chair of Physics. Studies concerning investigations into the structure of solids and very viscous liquids by means of the ultra and hyper - sonic method.

Р е з ю м е

В статье представлено работы сделанные и начатые в Лаборатории Электрофизики Кафедры Физики А. Работы касаются исследования структуры твёрдого тела и очень вязких жидкостей методом ультра- и гиперзвука.