

Topologia to nauka o kształcie. Jeśli mówimy o kształcie, mamy zwykle na myśli przedmioty, które nas otaczają. Tymczasem, pojęcie "kształt" może odnosić się także do obiektów, których nie dostrzeżemy, gdyż "żyją" w przestrzeni, do której mamy dostęp tylko za pomocą konstrukcji matematycznych. Te abstrakcyjne przestrzenie, płaszczyzny, objętości i inne kształty można dotrzeć tylko oczami matematyki, a dokładniej - topologii.

Będziemy tu opisywać specjalny rodzaj przestrzeni, w której "żyją", lub - jak to się mówi, która "jest rozpięta przez" - wektory falowe, tzn. wektory, opisujące kierunek rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w ośrodku i jej długość. Fala elektromagnetyczna opisana jest częstością  $\omega$ : to jest częstość, z jaką pole elektryczne i magnetyczne fali oscyluje wokół zera. Można zadać pytanie: jakie wektory falowe odpowiadają takiej fali?

No cóż, odpowiedź zależy od ośrodka, w którym fala się rozchodzi. W najprostszym przypadku ośrodek jest optycznie izotropowy, tzn. jego właściwości optyczne nie zależą od kierunku. Można powiedzieć, że w takim ośrodku fala o częstości  $\omega$  jest taka sama niezależnie od kierunku, w którym się rozchodzi: wektory falowe wszystkich fal mają tę samą długość dla wszystkich kierunków. Umieścimy początki wszystkich tych wektorów (jest ich nieskończenie wiele!) w jednym punkcie. Ich końce znajdują się wtedy na powierzchni sfery. W taki sposób wytworzyliśmy kształt - sferę - w abstrakcyjnej przestrzeni, w której "żyją" wektory falowe. Ten kształt nosi nazwę "powierzchni stałej częstości", ponieważ wszystkie wektory falowe odpowiadały tej samej wartości  $\omega$ .

To było proste, weźmy bardziej skomplikowany przypadek. Istnieją naturalne materiały, które noszą nazwę "jednoosiowych", w których - jak nazwa wskazuje - istnieje wyróżniony kierunek, w jakimś sensie "inny" od pozostałych. Ta różnica wpływa na propagację promieniowania: długość wektora falowego zależy od kierunku propagacji. Można tę zależność opisać matematyczną formułą, ale zostawmy na boku wzory i zbierzmy początki wszystkich wektorów do jednego punktu. Okaże się, że ich końce leżą będą na powierzchni elipsoidy obrotowej, której oś symetrii odpowiada temu szczególnemu kierunkowi w ośrodku. I znowu - ten kształt możemy sobie tylko wyobrazić, ale wierzymy, że matematyka i topologia działają tak samo dobrze w każdej przestrzeni - czy jest ona rzeczywista, czy nie!

Można zadać kolejne pytanie: czy udaje się zmienić kształt ze sferycznego na elipsoidalny? Odpowiedź jest twierdząca, i znana od wieków. Po prostu, weź ośrodek izotropowy i spraw, by jeden z kierunków stał się wyróżniony. Jak to zrobić? Przez ściśnięcie albo przyłożenie pola elektrycznego lub magnetycznego, albo w jakiś jeszcze inny sposób. To bardzo fascynujące: robimy coś z realnym przemiotem i jednocześnie modyfikujemy abstrakcyjne kształty w abstrakcyjnej przestrzeni!

Sprawy stają się jeszcze bardziej interesujące w przypadku sztucznie wytworzonych materiałów, w których powierzchnia stałej częstości ma kształt hiperboloidy. To się prawie nie zdarza dla materiałów naturalnych, ale może się wydarzyć dla pewnego zakresu  $\omega$  w przypadku materiałów zwanych metamateriałami hiperbolicznymi, w których na przemian ułożone są warstwy przewodzące i izolujące. Hiperboloida ma kształt drastycznie inny niż elipsoida: wektory falowe mogą być nieskończenie długie i ten fakt ma głębokie konsekwencje dla propagacji fali elektromagnetycznej w takim ośrodku. Można zmienić kształt powierzchni stałej częstości z elipsoidy na hiperboloidę za pomocą czynników zewnętrznych, np. temperatury. Mówimy wtedy, że zaszło optyczne przejście topologiczne.

To jest celem projektu: to obserwować, w jaki sposób właściwości materiału zmieniają się w zależności od tego, czy jest on, czy też nie hiperbolicznym metamateriałem. Spodziewamy się, że wpłynie to na czas odpowiedzi, czułość detekcji i efektywność emisji promieniowania THz.