



Rura Kundta a „metoda obrazów”

Bartosz Lalek, CKU Krosno

Hieronim Lalek, LO Rymanów

Analizując tytuł tej pracy (nawet niezbyt powierzchownie), można przekornie zapytać: „co ma piernik do wiatraka?”. Istnieje jednak eksperyment, który w pewnym sensie łączy ze sobą te dwa tematy.

W standardowych doświadczeniach rura Kundta wykorzystywana jest do pomiaru szybkości dźwięku w metalach lub prędkości dźwięku w powietrzu. Regulując odległość jednego końca pręta, wprowadzonego w szklaną rurę, od ściany zamykającej rurę, przy odpowiednim jego zamocowaniu, otrzymujemy falę stojącą w obszarze „koniec pręta–ściana”, pobudzając do drgań drugi koniec pręta.

O tym, że w rurze powstała fala stojąca, informuje obserwatora widoczny rozkład gęstości sproszkowanej substancji wypełniającej rurę po pobudzeniu pręta do drgań. Stabilny rozkład tej substancji pozwala zmierzyć długość fali dźwiękowej w powietrzu na podstawie łatwego do rozpoznania położenia węzłów pochodzących od drgań podstawowych pręta. Pomiędzy tymi węzłami obserwuje się prążkowy rozkład substancji, za który odpowiedzialne są wyższe harmoniczne drgań pręta.

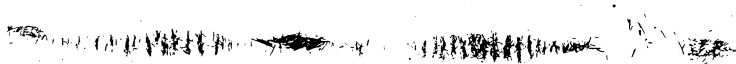
Przyjęta procedura doświadczalna wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na jakość i stabilność obrazu rozkładu sproszkowanej substancji. Aby osiągnąć dobry efekt, rura wyścielana była białą, papierową taśmą, posypaną – w miarę równomiernie – sproszkowanym sianem. Po otrzymaniu stabilnego i dobrej jakości „obrazu fali stojącej” oraz wyciągnięciu taśmy następowało jego utrwalenie przezroczystą taśmą klejącą. Proces utrwalania obrazu, z pozoru prosty, okazał się bardzo niewdzięczny. Rozwiązanie tego problemu powiązało rurę Kundta z „metodą obrazów”.

Uczniowskie zespoły badawcze, wykonując czynności finalizujące eksperyment, spotykały się z dużą trudnością w utrwaleniu efektownego rozkładu sproszkowanego siana. W trakcie przyklejania przezroczystej taśmy, wskutek naelektryzowania, „drobiny” siana odskakiwały od papieru, przyklejając się chaotycznie do taśmy. Tym samym otrzymana uprzednio struktura rozkładu ulegała znacznym deformacjom. Wymiany sproszkowanego siana na inne substancje używane do tego celu oraz „zabiegi” odelektryzowujące taśmę nie dawały zadowalających wyników.

Problem został radykalnie rozwiązany dzięki podejściu, którego ideę obejmuje problematyka „oddziaływania ładunków z uziemioną płaszczyzną przewodzącą”. Rozwiązanie wielu zawartych tam problemów opiera się na „metodzie obrazów” (której podstawy mogą być przedstawione jako tematy uzupełniające lub fakultatywne).

Wynikające z „metody obrazów” podejście polegało na umieszczeniu białej taśmy na rozwiniętej „spożywczej” folii aluminiowej, za pomocą dwóch krokodylków i przewodnika podłączonej do kaloryfera. Po takim zabiegu substancja sproszkowana zachowywała prawie idealnie swe pierwotne położenia w trakcie przyklejania przezroczystej taśmy.

Cała grupa badawcza poczuła ulgę, a przede wszystkim dużą satysfakcję dzięki umiejętności praktycznego zastosowania wiedzy z elektrostatyki w uzyskaniu informacji o procesach falowych. Pozyskany materiał badawczy został wielokrotnie skopiowany techniką ksero i uczniowie otrzymali trwałe pamiątki czynnego uczestnictwa w eksperymencie. Oczywiście, wykonano też stosowne wyliczenia, ale ich znaczenie pozostało w cieniu zdarzeń, jakie miały miejsce przy realizacji zbierania danych, zgodnie z zaprojektowanym tokiem pomiarowym. W załączeniu przedstawiamy ksero fragmentów rozkładu sproszkowanego siana jednego z cykli pomiarowych. Na ich bazie można zrobić foliogramy, których zbiorowa analiza aktywizuje uczniów i uatrakcyjnia lekcje fizyki.



Ksero fragmentu rozkładu sproszkowanego siana

Spróbujemy skrótko wyjaśnić, dlaczego (naszym zdaniem) metalowa folia pomogła usunąć kłopoty, a także opiszemy problemy, które należy rozwiązać, by otrzymać oczekiwany efekt. W rozważaniach wykorzystamy analogię skonstruowaną na bazie dobrze znanych faktów doświadczalnych.

Wprowadzając uczniów w problemy elektrostatyki, wykonujemy wiele doświadczeń z użyciem lasek szklanych i ebonitowych. Przedstawiamy ich wzajemne oddziaływanie w stanie naelektryzowania. Pokazujemy też, że laski po potarciu przyciągają skrawki papieru, włosów itd.

Przyciąganie to jest skutkiem działania niejednorodnego pola elektrycznego, którego źródłem są ładunki elektryczne rozmieszczone w potartej części laski na wyindukowane w skrawkach materii dipole elektryczne. Dipole te wciągane są w kierunku wzrostu wartości wektora natężenia pola, a obserwator widzi „przyklejanie” się skrawków do laski.

W naszej analogii odpowiednikiem laski jest przezroczysta taśma klejąca, a rozklejanie taśmy z wałka, prowadzące do jej naelektryzowania, odpowiada pocieraniu laski. Przy braku zewnętrznych zaburzeń zbliżanie rozwijanej taśmy do drobin siana jest równoważne zbliżaniu naelektryzowanej laski do skrawków papieru i w obu przypadkach obserwuje się skokowe przyklejanie się drobin. Ułożenie drobin w bliskim kontakcie z uziemioną płaską folią metalową wprowadza nową jakość. Folia stanowi bowiem płaszczyznę przewodzącą o zerowym potencjale. Rozwiązanie typowych problemów związanych z oddziaływaniem ładunków elektrycznych z nieskończonej dużej płaszczyznę przewodzącą staje się proste po zastosowaniu „metody obrazów”. Wprawdzie każda folia ma ograniczone wymiary, ale gdy obszar aktywny leży daleko od jej brzegów, rozważania będą obciążone niewielkim błędem.

Z „metody obrazów” wynika, że do rozwiązania tych problemów można stworzyć sytuację zastępczą, usuwając folie i wprowadzając dodatkowe ładunki rekompensujące jej brak – „ładunki obrazy” – tak by wszystkie punkty płaszczyzny, tam gdzie była folia, zachowały zerowy potencjał.

W naszej sytuacji, by poprawnie rozmieścić „ładunki obrazy”, wystarczy dokonać zwierciadlanego odbicia ładunków realnie wytwarzających pole względem płaszczyzny będącej miejscem ułożenia folii, przy zachowaniu ich wartości i zmianie ładunku na przeciwny. Przesuwanie naelektryzowanej laski nad drobinami materii spoczywającej na uziemionej folii metalowej jest w sytuacji zastępczej równoważne równoczesnemu przesuwaniu laski i jej zwierciadlanego odbicia ze zmienionym znakiem ładunku. Podobnie ma się sprawa z rozwijaniem i klejeniem taśmy.

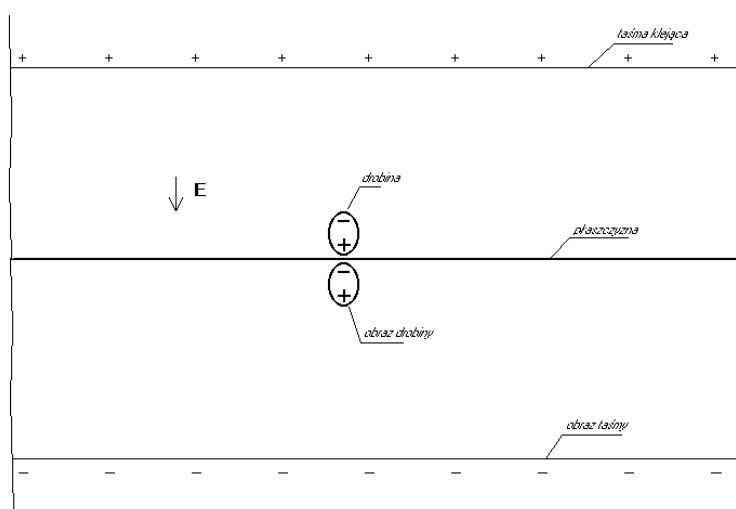
Niestety, nie rozwiązuje to problemu dużych niejednorodności pola, więc drobin przyciągane są zarówno przez laskę, jak i taśmę.

Drobin spoczywają w znaczącej odległości od płaszczyzny w stosunku do ich wymiarów, wskutek czego odciążone są od stanu równowagi metatrwałej, który jest osiągnięty w położeniu idealnie pokrywającym się z płaszczyzną. Przyciąganie się dipola ze swym obrazem nie wnosi istotnych efektów. Pozostaje zatem stworzyć optymalne warunki do uzyskania w pobliżu miejsca ułożenia drobin pola jednorodnego. W praktyce należy najpierw rozkleić taśmę ze znacznym nad-

datkiem w stosunku do długości rozkładu sproszkowanej substancji, który chcemy utrwalić, przyklejając taśmę. Następnie zbliżmy ją równoległe do płaszczyzny, na której umieszczona jest sproszkowana substancja, rozłożona na cienkiej taśmie papierowej. Ważne jest, by w trakcie zbliżania taśmy zachować równoległe położenie taśmy klejącej względem płaszczyzny i w miarę centralne położenie drobin względem środka szerokości taśmy.

Sytuację elektrostatyczną drobin w takim stanie przedstawia rys. 1. Należy zwrócić uwagę na wzajemne przyciąganie drobin i jej obrazu, co oprócz grawitacji sprzyja pozostawianiu jej na swoim miejscu.

Stosując się do opisanej procedury, uzyskiwaliśmy dobre „ostre obrazy” rozkładu sproszkowanego siana, które zostały wykorzystane w pomiarach.



Rys. 1

Według autorów zastosowanie uziemionej folii aluminiowej przyniosło następujące skutki:

- przyczyniło się do „ujednorodnienia” pola elektrycznego w obszarze położenia drobin, a zatem ograniczyło możliwość przemieszczania się dipola elektrycznego,
- sprawiło, że wektor natężenia pola elektrycznego był w tym obszarze prostopadły do płaszczyzny spoczynku drobin, a wynikające z niego ustawienie dipola nie sprzyja jego przesuwaniu w kierunku płaszczyzny,
- wspomogło przywieranie drobin siana do podłoża poprzez przyciągające działanie na wyindukowany dipol elektryczny.

Problem, który czynnik był najważniejszy, pozostawiamy do rozstrzygnięcia Czytelnikom.

Zapewne Czytelnicy zwrócili uwagę, że artykuł nie zawiera opisu wykorzystania rury Kundta w pomiarach fizycznych ani podstaw teoretycznych i zastosowań praktycznych „metody obrazów”. Sądzymy, że tematyka ta jest fizykom dobrze znana, a można ją znaleźć – między innymi – w cytowanej literaturze.

Głównym przesłaniem pracy było pokazanie, że proces badawczy – często dobrze znany – przy niewielkich modyfikacjach, na jakie pozwala inwencja i środki techniczne, może generować nowe problemy, których rozwiązanie bywa niejednokrotnie bardziej twórcze i inspirujące od pierwotnie zaplanowanych celów.

Warto zatem modyfikować standardowe eksperymenty w nadziei, że pojawią się nowe nieoczekiwane okoliczności, które w nauczanie fizyki wprowadzą pozytywne bodźce i twórcze emocje, czego wszystkim uczącym życzymy.

Literatura

- B. Fechner, Metoda obrazów elektrycznych rozwiązywania problemów elektrostatyki, „Fizyka w Szkole”, 3/1980.
- R.P. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, *Feynmana wykłady z fizyki*, t. II, cz. 1, PWN, Warszawa 1974.
- H. Lalek, Metoda obrazów w doświadczeniach z elektryczności, „Fizyka w Szkole”, 3/1980.
- H. Lalek, *Wyższe harmoniczne w rurze Kundta*, „Fizyka w Szkole”, 3/1987.
- A.N. Matwiejew, *Teoria pola elektromagnetycznego*, PWN, Warszawa 1967.
- Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, cz. 1, PWN, Warszawa 1980.