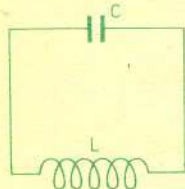


Promieniowanie elektromagnetyczne: punkt widzenia

Dr Jan A. GAJ

Definicja: Punktem widzenia nazywamy produkt przejścia granicznego, w którym horyzont zawęża się coraz bardziej, coraz bardziej, aż wreszcie...

Stało się to dziś rano. Borykając się jak co dzień z przerażającym moje siły zadaniem wypędzenia z głowy resztek snu, doznałem nagle olśnienia. Cały chaos zagadnień, problemów i problemików związanych z pojęciem fal elektromagnetycznych skupił się w jeden punkt: oscylator harmoniczny. Chwila namysłu upewniła mnie, że w powstałej sytuacji muszę pisać o wykrywaniu czyli detekcji promieniowania elektromagnetycznego, mało tego, nawet w tej wąskiej dziedzinie wybrać zagadnienie selektywności wykrywania czyli umiejętności określania, z jaką częstością promieniowania mamy do czynienia. W dodatku dokonałem (nie zdradź mnie, Czytelniku) czysto tendencyjnego wyboru metod detekcji, które dostarczą poparcia moim wypaczonym poglądom.



Praktycznych metod detekcji promieniowania wybór tendencyjny

1. Fale radiowe

(1 m – 10⁴ m)

Sercem odbiornika radiowego jest obwód rezonansowy, składający się w swoim klasycznym wydaniu z kondensatora C i cewki indukcyjnej L . W obwodzie tym ładunek elektryczny po

jednorazowym pobudzeniu będzie drgać z częstością własną $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Zmieniając parametry obwodu rezonansowego — najczęściej pojemność kondensatora — dostrajamy się do żądanej stacji. Odmianą obwodu rezonansowego jest rezonator kwarcowy: kryształ kwarcu ma określoną przez swoje parametry mechaniczne częstość drgań własnych. Drgając wytwarza on napięcie elektryczne dzięki efektowi piezoelektrycznemu i odwrotnie: przykładając zmienne napięcie o częstości jego drgań własnych do nałożonych nań metalowych elektrod można go pobudzić do drgań. Dzięki temu kryształ kwarcu może służyć jako element selektywny w odbiorniku. Wadą jego jest znikoma możliwość przestrajania czyli zmiany częstości własnej.

2. Mikrofale

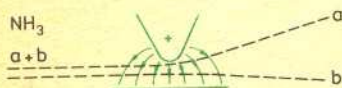
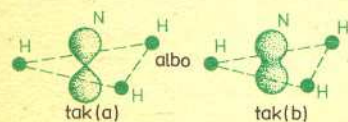
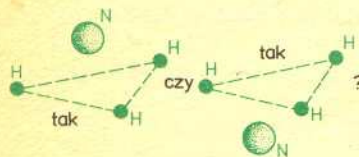
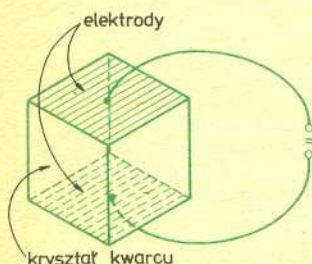
(10⁻³ – 1 m)

Używa się tu również obwodów rezonansowych, wprawdzie o innym wyglądzie, ale tej samej zasadzie działania, co klasyczny obwód LC. Chciałbym jednak zatrzymać się na niezwykle ciekawym przykładzie, jakim jest maser amoniakalny. Rolę rezonatora spełniają w nim cząsteczki amoniaku. Mają one symetrię trójkątną z trzema atomami wodoru w narożach trójkąta równobocznego i atomem azotu... właśnie: trochę nad, czy trochę pod płaszczyzną trójkąta? Zależy, jak cząsteczkę odwrócimy — odpowiesz z pewnością. Niezupełnie, ponieważ — i tu widać dziw mechaniki kwantowej — atom azotu jest *zarazem* nad i pod płaszczyzną trójkąta. Ściślej — jest tam i tu z równym prawdopodobieństwem. Praktycznie wygodnie to sobie wyobrazić, że rozmyta chmura materii atomu azotu rozciąga się jak na rysunku, trochę nad i trochę pod płaszczyzną utworzoną przez wodory. Okazuje się — tu musisz mi, Czytelniku, po prostu uwierzyć — że ta chmura ma dwa stany równowagi: w jednym (a) w obszarze między atomami wodoru nie ma ani trochę atomu azotu, w drugim stanie (b) chmura atomu azotu włącza się między atomy wodoru, do czego, jak łatwo uwierzyć, potrzebna jest pewna praca, a więc energia stanu b jest nieco wyższa niż energia stanu a. Przy przejściu cząsteczki ze stanu a do b lub odwrotnie, ładunek jądra i elektronów atomu azotu, a właściwie całej cząsteczki, wykonuje drgania ze ściśle określoną częstością własną $f_0 = 2,39 \cdot 10^{10}$ Hz. Już widzisz rezonansowy charakter takiego tworu? Ale najciekawsze jeszcze przed nami. Jeżeli fala elektromagnetyczna o częstości f_0 pada na cząsteczkę w stanie a (który nazywamy podstawowym), będzie ona pochłaniana przekazując swoją energię cząsteczce w procesie absorpcji. Jeśli fala pada na cząsteczkę w stanie b, również pobudzi ją do drgań, ale wtedy drgający ładunek będzie sam wysyłał falę w zgodnej fazie z falą pobudzającą i oddawał jej energię przechodząc do stanu a. Ten proces nazywamy emisją wymuszoną. Ależ to wspaniały rezonator — powiesz. Wystarczy wybrać z amoniaku wszystkie cząsteczki w stanie b i puścić na nie fale elektromagnetyczne, a amoniak wzmacni tylko te, które mają częstość jego drgań własnych. Dokładnie na tym polega maser. Jego nazwa jest skrótem terminu angielskiego Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation — wzmocnienie mikrofal przez wymuszoną emisję promieniowania. Wydzielenie cząsteczek w stanie b odbywa się przez przepuszczenie strumienia pary amoniaku przez silne niejednorodne pole elektryczne.

3. Światło widzialne

(4 · 10⁻⁷ m – 8 · 10⁻⁷ m)

Jak świetnie wiemy, wydzielenie promieniowania o jakiejś częstości z pełnego widma światła białego może być wykonane za pomocą pryzmatu. Istota działania pryzmatu polega na tym, że współczynnik załamania szkła jest różny dla różnych częstości fali świetlnej. Oznacza to, że szkło reaguje silniej na jedne fale (fioletowe, o większej częstości) niż na inne (czerwone, o niższej częstości). Łatwo to sobie wytłumaczyć traktując zbiór atomów szkła jako oscylatory o częstości wyższej niż częstość światła widzialnego — gdzieś w nadfiolecie. Częstość światła fioletowego jest bliższa częstości własnej niż częstość światła czerwonego — stąd różnie



pobudzają one atomy szkła i różnie załamują się w pryzmacie. Nawiasem mówiąc, nadfiolet jest rzeczywiście silnie pochłaniany przez szkło. Niestety jednak nie dla jednej wybranej częstotliwości, ale w szerokim obszarze widmowym. Lepiej więc traktować szkło jako zbiór oscylatorów o różnych częstotliwościach własnych w obszarze nadfioletu, co w niczym nie umniejsza słuszności poprzedniego rozumowania.

4. Promienie γ

(... - 10^{-15} m)

A gdzie tu oscylator? Oczywiście w jądrze atomowym. Zawiera ono cząstki: neutrony i protony ściśnięte potężnymi siłami jądrowymi do obszaru o rozmiarach rzędu 10^{-13} cm a więc 10^5 razy mniejszych od rozmiarów atomu. Tak wielkim siłom wiążącym odpowiadają bardzo wielkie częstotliwości własne drgań materii jądrowej. Obecność naładowanych protonów w jądrze zapewnia możliwość pobudzenia tych drgań falą elektromagnetyczną. Jeżeli więc znajdujemy pierwiastek a ściślej izotop, który pochłania badane promieniowanie γ , wiemy że częstotliwość tego promieniowania jest równa częstotliwości drgań własnych jąder izotopu.

Oscylator harmoniczny czyli teoria ci wszystko wyjaśni

Przykładem oscylatora harmonicznego jest kulka zawieszona na sprężynie. Jeżeli wychylimy kulkę o odcinek x od położenia równowagi, posłuszna prawu Hooke'a sprężyna zadziała na nią siłą F proporcjonalną do wychylenia i przeciwnie do niego skierowaną

$$F = -kx.$$

Siła ta nada kulce przyspieszenie a zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona:

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x.$$

Ponieważ przyspieszenie jest pochodną prędkości względem czasu a ta z kolei pochodną położenia (tu wychylenia) względem czasu, zapisując przyspieszenie w formie drugiej pochodnej otrzymujemy zależność:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x. \quad (1)$$

Powyższe równanie jak wiadomo, opisuje ruch harmoniczny

$$x(t) = A \sin(2\pi f_0 t), \quad \text{gdzie } f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

W naszym przykładzie mamy do czynienia z oscylacjami wychylenia x . Przez oscylator harmoniczny będziemy rozumieli ogólnie twór, w którym jakaś wielkość x spełnia równanie (1), to znaczy jej druga pochodna względem czasu jest proporcjonalna do niej samej z ujemnym współczynnikiem. Ogólne, wyprowadzone z równania (1), własności oscylatora nie zależą od tego, czy jest to kulka na sprężynie, wahadło czy elektryczny obwód drgający. Dla tego ostatniego, jak można znaleźć w podręcznikach, odpowiednie równanie ma postać:

$$\frac{d^2U}{dt^2} = -\frac{1}{LC}U,$$

a więc drga w tym przypadku napięcie na obwodzie (połączonych równolegle cewce i kondensatorze).

Najbardziej nas będzie ciekawić

Reakcja oscylatora na zaburzenie

Zaburzeniem dla oscylatora mechanicznego jest siła, dla elektrycznego napięcie. Ogólnie — człon zależny od czasu, który dodajemy do (umówmy się) prawej strony równania (1):

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -4\pi^2 f_0^2 x + F(t). \quad (2)$$

Będziemy rozważać zaburzenie F o sinusoidalnej zależności od czasu ale z dowolną częstotliwością f :

$$F(t) = B \sin 2\pi f t.$$

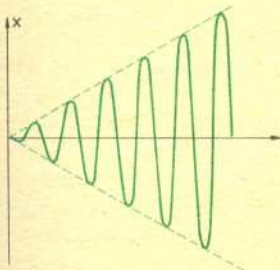
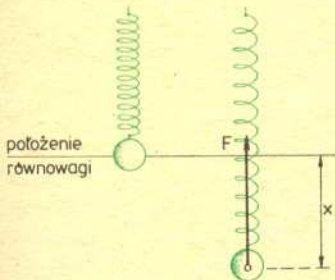
Musimy oczywiście rozważyć dwa przypadki:

1. Pobudzenie rezonansowe $f = f_0$.

Równanie (2), jak łatwo sprawdzić przez dwukrotne zróżniczkowanie i podstawienie, ma wtedy rozwiązanie

$$x(t) = -\frac{B}{4\pi f_0} t \cos 2\pi f_0 t.$$

Są to drgania podobne do harmonicznym z częstotliwością własną, ale o rosnącej proporcjonalnie do czasu amplitudzie. Widać więc, że przy pobudzeniu rezonansowym zmieniamy amplitudę, a więc energię drgań oscylatora, zatem (jeżeli w chwili początkowej był w spoczynku) wykonujemy nad nim pracę.



2. Pobudzenie poza rezonansem $f \neq f_0$.

Proszę Cię, Czytelniku o sprawdzenie przez różniczkowanie, że tym razem rozwiązaniem jest funkcja

$$x(t) = \frac{B}{4\pi^2(f_0^2 - f^2)} \sin 2\pi ft.$$

Opisuje ona drgania o częstotliwości zaburzenia z amplitudą A stałą w czasie, ale zależną od częstotliwości zaburzenia f :

$$A = \frac{B}{4\pi^2(f_0^2 - f^2)}.$$

Ważne są tu dwa wnioski:

1. Przy zbliżaniu się do rezonansu ($f \rightarrow f_0$) amplituda drgań wymuszonych nieograniczenie rośnie. Innymi słowy, reakcja oscylatora na zaburzenie zewnętrzne będzie tym silniejsza, im bliższa rezonansu będzie częstotliwość zaburzenia f .
2. Siła zaburzająca nie wykonuje pracy (amplituda oscylatora, a więc i jego energia drgań, jest stała).

Wynika stąd, że jeśli czynnikiem zaburzającym ma być fala elektromagnetyczna, to jej energia nie będzie pochłaniana poza rezonansem.

Przeczytałeś więc trochę o praktyce i trochę o teorii. Porównałeś jedno z drugim?

Może zaprotestujesz: A gdzie siatka dyfrakcyjna, ugięcie promieni Roentgena na kryształach, licznik Geigera? Przecież to wszystko nie da się podciągnąć pod prymitywny model oscylatora harmonicznego! O niczym więcej nie marzę. Pomyśl i zaproponuj własny punkt widzenia. Jedno zawsze pozostanie wspólne: detekcja fal elektromagnetycznych będzie polegać na wprawieniu w ruch ładunków elektrycznych polem fali i obserwacji skutków tego ruchu — czy będzie to ciepło w termoelemencie, impuls z licznika Geigera czy głos z radiodiodownika.

Właśnie o tym chciałbym jak najpoważniej Cię przekonać: choć długie fale radiowe na pierwszy rzut oka różnią się ogromnie od promieni γ lub światła, wszystko to są członkowie tej samej rodziny fal elektromagnetycznych.

Teleskopy nowej generacji

Mgr Tomasz CHLEBOWSKI

Można powiedzieć, że w ciągu trzystu lat od wynalezienia lunety, jej możliwości były większe niż możliwości wyobraźni człowieka. Za pomocą lunety dokonywano odkrywczych obserwacji, które dopiero później ogarniano rozumem — budowano teorie i modele. Jednak w ciągu ostatnich 50 lat wyobraźnia człowieka rozwinęła skrzydła. Przystały nam wystarczać lunety i małe reflektory. Zaczęto budować obserwatoria z teleskopami — gigantami, najpierw zaczęto od 2,5 metrowego teleskopu na Mount Wilson, w latach czterdziestych uruchomiono 5 metrowy reflektor na Mount Palomar. Wydawało się, że jest to już największa możliwa konstrukcja, że koszt każdego większego instrumentu będzie tak duży, że jego budowa będzie zupełnie nieopłacalna; wydawało się, że trudności techniczne będą nie do pokonania, że wpływ zakłócający atmosfery jest już ogromny, jednak w Związku Radzieckim w ostatnich latach uruchomiono jeszcze większy teleskop — o średnicy 6 m. O budowie jeszcze większych luster nikt już nie myśli.

A wyobraźnia nasza sięgnęła już dawno do granic Wszechświata, budujemy modele kosmologiczne i chcemy je weryfikować, sięgając coraz dalej, do coraz słabszych obiektów. Musimy mieć jeszcze czulsze instrumenty. Są dwa wyjścia — jednym są nowe rozwiązania techniczne, drugim — wyjście w kosmos i ostateczne pozbycie się zakłócających wpływów atmosfery. Oba mają swoje dodatnie i ujemne strony. Wielki Teleskop Kosmiczny (Large Space Telescope, „LST”) zostanie wystrzelony w 1983 lub 1984 roku, będzie miał 2,4 metra średnicy, lecz dzięki brakowi atmosfery na orbicie oraz dzięki supernowoczesnemu oprzyrządowaniu będzie skutecznie konkurował z największymi, obecnie istniejącymi, teleskopami na Ziemi. Koszt takiego przedsięwzięcia jest jednak tak ogromny, że wystrzelenia następnego na razie nikt nie projektuje. A więc pozostają nowe rozwiązania naziemne.

Głównym problemem konstrukcyjnym jest sposób uniknięcia gięcia się ogromnego lustra i tubusu w wyniku obrotu instrumentu. Zachowanie stałości kształtu zwierciadła o średnicy np. 10 m z dokładnością do ułamka długości fali świetlnej jest technicznie niemożliwe przy zastosowaniu znanych nam materiałów. Może więc wybudować zamiast jednego 10 metrowego teleskopu — cztery zsynchronizowane 5 metrowe zwierciadła — idea bardzo prosta i otwierająca przed nami właściwie nieograniczone możliwości. Rzeczywiście w tym kierunku idzie większość nowych rozwiązań.

