



Kolektywny aplauz

Krzysztof Sacha

Instytut Fizyki UJ

W 1665 roku holenderski fizyk Christiaan Huygens zauważył, że dwa podobne zegary wahadłowe, zawieszane na jednej ścianie, synchronizują swój ruch. Aby możliwa była synchronizacja, musi istnieć dostatecznie silne sprzężenie między układami. W przypadku zegarów ściana przenosząca drgania wprowadzała sprzężenie – przewieszenie jednego z zegarów na przeciwległą ścianę powodowało znikanie efektu synchronizacji. Ze zjawiskiem synchronizacji ruchu sprzężonych ze sobą układów możemy spotkać się w wielu sytuacjach. Na rozlewiskach w Malezji zbierają się gromady świetlików, które gdy zapada zmrok, synchronizują emisję światła, powodując, że rozlewiska pulsują rytmicznym blaskiem. Synchronizacja błysków możliwa jest dopiero o zmroku, ponieważ gdy zajdzie słońce, sprzężenie między świetlikami staje się dostatecznie silne. Z pewnością każdy z nas zwrócił również uwagę na cykające w zgodnym chórze świerszcze.

W niniejszym artykule chciałbym przeanalizować powstawanie i zanikanie synchronicznego aplauzu. Z rytmicznym aplauzem spotykamy się np. w salach koncertowych, kiedy po wyjątkowym koncercie publiczność pragnie razem wyrazić uznanie dla artystów. Ważną cechą aplauzu synchronicznego jest to, że nie pojawia się on od samego początku owacji – zawsze poprzedzony jest pewną fazą niesynchronicznych oklasków. W przypadku bardzo rozentuzjasmowanej publiczności synchroniczny aplauz nie trwa długo. Okazuje się, że widownia szybko gubi rytm, jednak po pewnym czasie może na nowo powrócić do rytmicznej owacji.

Przypomnieliśmy już podstawowe fakty związane z rytmicznym aplauzem, spróbujmy teraz odpowiedzieć na pytanie, jakie warunki należy spełnić, aby widzowie zsynchronizowali owację. W tym celu odwołamy się do analizy ruchu układu sprzężonych ze sobą rotatorów. Każdy rotator scharakteryzowany jest częstością, z jaką kręci się swobodnie w odizolowaniu od reszty rotatorów (rotator najłatwiej wyobrazić sobie jako obracającą się karuzelę, tyle tylko że aby karuzela była rotatorem, musiałaby się obracać zawsze z tą samą częstością). Załóżmy, że zbiór rotatorów składa się z podobnych do siebie, ale nie takich samych rotatorów – częstości ruchu swobodnego rotatorów nieznacznie różnią się od siebie. Możemy wyliczyć średnią wartość częstości zbioru rotatorów oraz określić szerokość przedziału częstości σ , w którym zawierają się częstości rozważanego zbioru rotatorów. Kuramoto i Nishikawa [1] przebadali ruch układu rotatorów w przypadku, gdy między rotatorami pojawia się oddziaływanie, którego siła scharakteryzowana jest współczynnikiem K – w przykładzie rozpatrywanym przez Kuramoto i Nishi-

kawę każdy rotator oddziaływał z każdym z siłą $F = K \sin(\varphi_i - \varphi_j) / N$, gdzie φ_i jest kątem określającym położenie i -tego rotatora, a N liczbą rotatorów. Okazuje się, że aby nastąpił kolektywny ruch rotatorów, siła oddziaływania między nimi musi przekroczyć pewną wartość krytyczną, która jest proporcjonalna do σ , tj.:

$$K > K_c \quad \text{gdzie} \quad K_c \propto \sigma \quad (1)$$

Zatem aby rotatory wykonywały kolektywny ruch, musimy zwiększyć oddziaływanie między nimi na tyle, aby przekroczona została krytyczna wartość K_c , albo przy ustalonej sile oddziaływania K uczynić rotatory dostatecznie podobnymi do siebie (tj. zmniejszyć σ).

Powróćmy teraz do problemu powstawania i zaniku rytmicznego aplauzu. Odpowiednikami rotatorów są w tym przypadku widzowie zgromadzeni w sali koncertowej. Klaszczący widzowie słyszą siebie nawzajem, a więc istnieje pewne sprzężenie między nimi. Grupa naukowców postanowiła przebadac grupę widzów [2, 3]. W tym celu poprosiła każdego z widzów (w odizolowaniu od reszty) o normalne oklaski – takie, z jakimi zwykle mamy do czynienia zaraz po zakończeniu wystąpienia. W trakcie oklasków mierzona była częstotliwość klaskania. Eksperyment pozwolił wyznaczyć średnią częstotliwość oklasków normalnych oraz szerokość przedziału, w którym zawierają się wartości częstotliwości oklasków normalnych badanej widowni (patrz rysunek 1). Następnie przeprowadzono drugi eksperyment, w którym każdy widz (ponownie w odizolowaniu od reszty) klaskał tak, jak gdyby uczestniczył w rytmicznym aplauzie. Drugi eksperyment pozwolił wyznaczyć średnią częstotliwość i szerokość przedziału częstotliwości oklasków rytmicznych (patrz rysunek 1).

Okazało się, że średnia częstotliwość oklasków rytmicznych jest około dwukrotnie mniejsza niż średnia częstotliwość oklasków normalnych. Możemy wyciągnąć stąd wniosek, że widzowie wiedzą (prawdopodobnie uczeni doświadczeniem), co należy zrobić, aby uczestniczyć w rytmicznym aplauzie – należy zmniejszyć częstotliwość oklasków. Jednak nie samo zmniejszenie częstotliwości jest najważniejsze. Kluczowym staje się fakt, że wraz ze zmniejszeniem częstotliwości oklasków maleje również szerokość przedziału, w którym zawierają się częstotliwości oklasków widzów. Innymi słowy, zmniejszając częstotliwość oklasków, widzom jest dużo łatwiej klaskać z podobnymi częstotliwościami – „rotatory” w naszym układzie stają się bardziej podobne do siebie. Jeżeli przypomnimy sobie teraz warunek powstania synchronicznego ruchu rotatorów, znaleziony przez Kuramoto i Nishikawę [wzór (1)], to stanie się jasne, jak widownia osiąga stan rytmicznego aplauzu. Rzeczywiście, aby spełnić warunek synchronizacji, należy albo zwiększyć siłę sprzężenia między widzami (co nie jest możliwe, gdyż siła ta jest zdeterminowana przez warunki panujące w sali koncertowej),

albo uczynić „rotatory” bardziej podobnymi do siebie. Ten ostatni scenariusz realizuje się w trakcie owacji – widzowie zmniejszają częstotliwość oklasków, dzięki czemu łatwiej im klaskać z bardziej podobnymi częstotliwościami, co prowadzi do zmniejszenia σ , a w konsekwencji do spełnienia warunku koniecznego do pojawienia się kolektywnego ruchu.



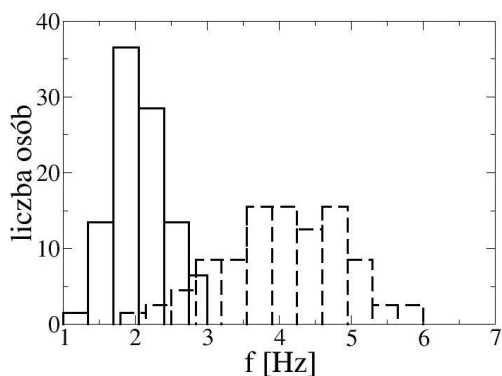
Klaskanie synchroniczne

Wyjaśniliśmy proces pojawiania się rytmicznego aplauzu, ale wciąż nie wiemy, dlaczego często zdarza się tak, że rytmiczny aplauz się urywa i widownia przechodzi do owacji niesynchronicznej. Odpowiedzi na to pytanie należy szukać w analizie średniego natężenia dźwięku panującego w sali koncertowej w trakcie owacji. W trakcie gorącej owacji widzowie uderzają w dłonie z maksymalną siłą. Jeżeli widownia przechodzi w fazę rytmicznych oklasków, średnie natężenie dźwięku maleje, ponieważ (jak wywnioskowaliśmy przed chwilą) maleje częstotliwość oklasków. Dla rozentuzjasmowanej widowni jest to bardzo niepokojący objaw, gdyż widzowie chcieliby nie tylko wyrazić uznanie kolektywnie, ale również jak najgłośniej. W konsekwencji publiczność zaczyna mimowolnie zwiększać częstotliwość oklasków. Średnie natężenie dźwięku w sali rośnie, ale przestaje być spełniony warunek synchroniczności i rytmiczny aplauz znika. Widzimy zatem, że badany układ poddany jest pewnego rodzaju frustracji – widzowie chcieliby klaskać razem, ale również jak najgłośniej, a ponieważ warunki konieczne do realizacji obu celów wykluczają się, widownia przechodzi na przemian między fazą rytmicznych, ale stosunkowo niegłośnych oklasków, a fazą niesynchronicznej głośniejszej owacji.



Klaskanie niesynchroniczne

Przeprowadzona tutaj analiza pozwala nam wysnuć pewne wnioski i komentarze. Znając mechanizm powstawania synchronicznej owacji, możemy wyjaśnić, dlaczego rytmiczny aplauz nigdy nie pojawia się w trakcie koncertów na otwartej przestrzeni. Sprężenie między widzami jest w tym przypadku na tyle małe, że zmniejszanie częstotliwości oklasków nie prowadzi do spełnienia warunku koniecznego do pojawienia się kolektywnego zachowania (dla tak małego sprężenia „rotatory” są wciąż za mało podobne do siebie). Analiza powstawania i zaniku rytmicznego aplauzu sugeruje, że oznaką wielkiego uznania nie jest niekończąca się synchroniczna owacja, ale konkurowanie między maksymalnie synchronicznymi a maksymalnie głośnymi oklaskami. Bazując na ostatnim wniosku, autorzy pracy [2, 3], którą tu relacjonuję, pozwolili sobie na komentarz odnośnie do niekończących się synchronicznych owacji, jakie miały miejsce dawniej w krajach o ustroju komunistycznym po wystąpieniu „Wielkiego Lidera”. Autorzy piszą: „...ponieważ rytmiczny aplauz trwał długo i prawie nigdy się nie urywał, jest to jawnym dowodem na to, że radość w narodzie nie była nieograniczona i widownię satysfakcjonował osiągnięty poziom owacji bez chęci podnoszenia go...”



Rys. 1

Rysunek 1 przedstawia wyniki eksperymentu przeprowadzonego na grupie 100 osób. Każdą z osób (w odizolowaniu od reszty) proszono o takie oklaski, z jakimi zwykle ma do czynienia zaraz po zakończeniu koncertu. Osobie klaszczącej mierzono częstotliwość klaskania, linia przerywana przedstawia otrzymany histogram. Następnie każdą z osób (również w odizolowaniu od reszty) proszono o oklaski, takie jak gdyby uczestniczyła w aplauzie synchronicznym; odpowiedni histogram zmierzonych częstotliwości przedstawia linia ciągła. Zauważmy, że średnia częstotliwość, jak również szerokość histogramu są w przypadku oklasków synchronicznych około dwóch razy mniejsze niż w przypadku oklasków normalnych.

Literatura

- [1] Y. Kuramoto, I. Nishikawa, *Journal of Statistical Physics* **49**, 569 (1987)
- [2] Z. Neda, E. Ravasz, Y. Brecht, T. Vicsek, A.-L. Barabási, *Nature* **403**, 849 (2000)
- [3] Z. Neda, E. Ravasz, T. Vicsek, Y. Brecht, A.-L. Barabási, *Physical Review E* **61**, 6987 (2000)