

Chladniho krupice

K. Haismanová, E. Ohmanová*, K. Pečinková**

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

tyna.haiso@seznam.cz, *eliska.ohmanova@gmail.com,

** katerina-pecinkova@seznam.cz

Abstrakt

Během našeho experimentu jsme se zabývaly Chladniho obrazci. Inspirovaly jsme se pokusy, kterými Ernst Chladni vizualizoval zvukové vlny, a na vlastní aparatuře jsme pozorovaly jejich vznik v závislosti na různých faktorech. Zaznamenávaly jsme frekvence, které vedly k nejzajímavějším obrazcům, a následně se snažily pro některé z nich vytvořit počítačový model.

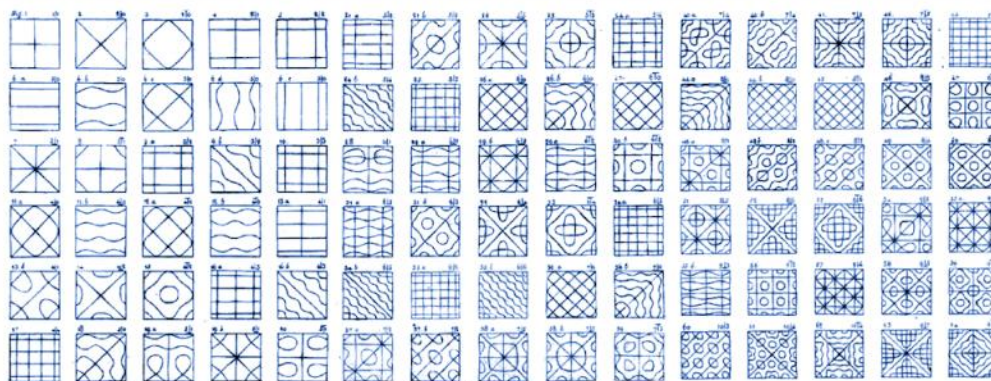
1 Úvod

Ernst Chladni, někdy označovaný též jako „otec akustiky“, dokázal během svého bádání mimo jiné při výzkumu vibrujících desek znázornit vlnovou povahu zvuku a jeho šíření materiálem. Chladniho obrazce jsme během našeho experimentu zreprodukovaly a díky tomu lépe porozuměly podstatě mechanického vlnění.

2 Teorie

2.1 Ernst Florens Friedrich Chladni

Ernst Florens Friedrich Chladni žil v letech 1756-1827. Pocházel z rodiny akademicky vzdělaných učenců, Chladniho otec však nesouhlasil s jeho zájmem o vědu. Proto Ernst Chladni vystudoval ve Wittenbergu a v Lipsku filosofii a právo. V roce 1782 se po smrti svého otce začal věnovat fyzikálně zaměřenému výzkumu. Kromě znázornění různých forem chvění se zabýval také rychlostí zvuku v rozdílných zvukových prostředích a studiem meteoritů (jako jeden z prvních věřil v jejich mimozemský původ). Na Měsíci se nachází kráter Chladni pojmenovaný právě po tomto badateli. Jeho nejznámějším dílem však zůstává popis Chladniho obrazců, které vytvářel rozechvíváním kovové desky pomocí smyčce. Vzniklé tvary následně zakreslil (viz Obr. 1).



Obr. 1: Chladniho nákresy obrazců vznikající na kovové desce rozechvívané smyčcem

2.2 Vlnění

Vlněním rozumíme šíření rozruchu, zpravidla kmitů prostorem. Vlnění rozdělujeme na mechanické (zvuk) a elektromagnetické (světlo). Mechanické vlnění vzniká v látkách všech skupenství a jeho příčinou je existence vazebných sil mezi částicemi látky – kmitání jedné částice se vzájemnými vazbami přenáší na částice další. Současně se na částice přenáší energie kmitavého pohybu. Takové prostředí se nazývá pružné prostředí. Setkají-li se dvě a více vlnění, dochází ke skládání (interferenci) vlnění. Výsledný kmitavý pohyb hmotných bodů prostředí je určen superpozicí kmitání vyvolaných všemi dílčími vlněními.

3 Praktická část

3.1 Námi stanovený úkol

Pozorovat podobné obrazce, jako vytvořil Ernst Chladni. Porovnat několik běžně dostupných sypkých surovin a jejich vhodnost pro tento pokus.

3.2 Sestrojení aparatury

Využili jsme čtvercovou a kruhovou desku, generátor signálu DDS 2 MHz, zesilovač a vibrační nástavec, na který jsme jednu či druhou desku upevnily. Dále byly použity kabely potřebné k vzájemnému propojení jednotlivých komponent, napájecí kabely, šroubky a inbus.

3.3 Použité materiály

Vyzkoušely jsme celkem osm různých sypkých materiálů: jemnou krupici, cukr krystal, kuchyňskou sůl, hladkou mouku, rozpustnou kávu, Granko, holandské kakao a moučkový cukr. Nejlépe obrazce vznikaly z jemné krupice (viz Obr. 2), podobně na vibrace reagovaly také kuchyňská sůl a cukr krystal. Některé obrazce bylo možné obdobně vytvořit také použitím rozpustné kávy. Moučkový cukr a holandské kakao se naopak vůbec nehýbaly. Hladká mouka vytvářela obrazce jen při vyšších frekvencích, naopak Granko spíše při nižších. Domníváme se, že je to zapříčiněno rozdílnou velikostí a hmotností zrn jednotlivých surovin.

3.4 Vznik obrazců

U Chladniho obrazců dochází k vizualizaci interferenčních vln na desku. Čtvercová deska kmitá podle vztahu (1).

$$f(x,y) = \cos(\pi m x \cdot a^{-1}) \cdot \cos(\pi n y \cdot b^{-1}), \quad (1)$$

kde m, n zastupují počet protnutí uzlových čar s kraji desky, x, y jsou souřadnice a a, b rozměry desky. Pro kvadrát f platí vztah (2).

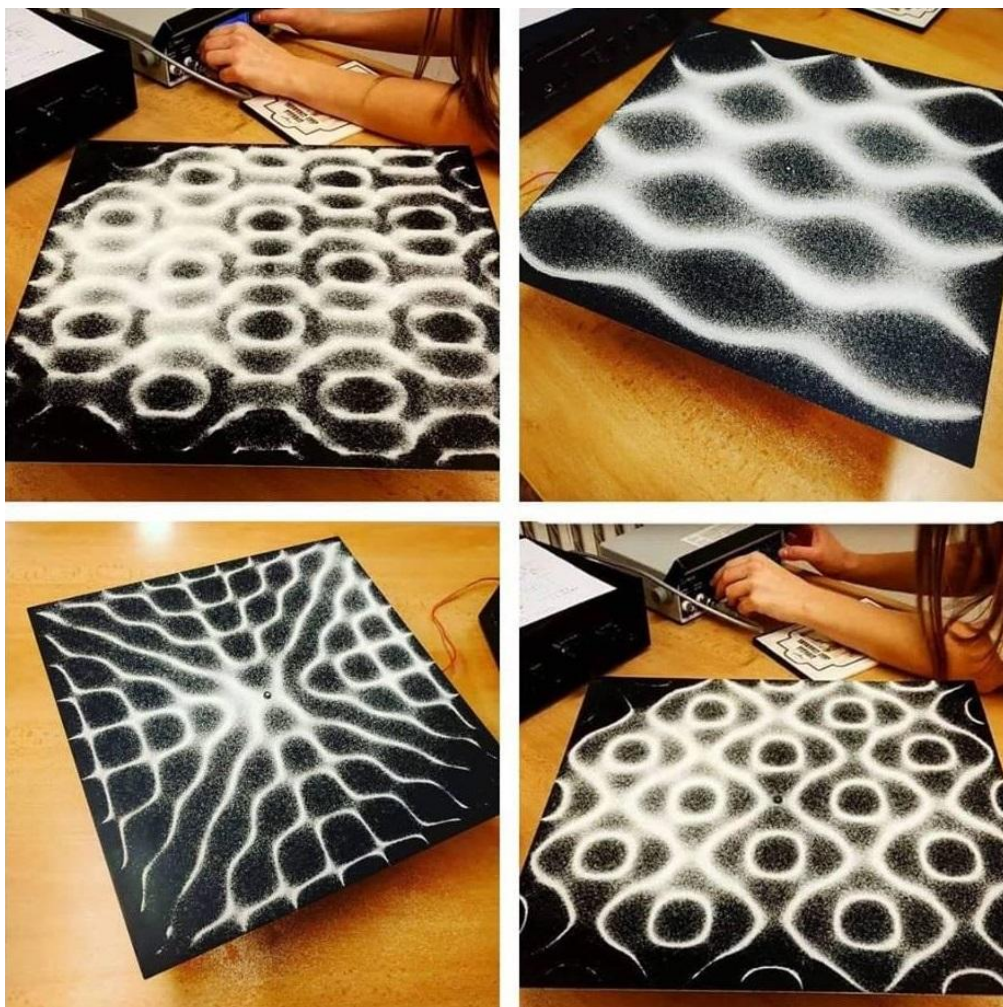
$$f^2 = \text{konst.} \cdot (m^2 + n^2). \quad (2)$$

Obrazce vznikají v důsledku hromadění sypkého materiálu v místech, kde deska nekmitá, tzv. uzlových čarách, splňujících vztah (3).

$$f(x,y) = 0. \quad (3)$$

Na rozdíl od čtvercové desky nelze kmitání kruhové desky matematicky popsat jedinou rovnicí, lze však dobře pozorovat vliv volného a pevného konce na podobu obrazců.

Při volném konci jsme při různých frekvencích pozorovaly vznik různého počtu soustředných kružnic (viz Obr. 3). Po vytvoření pevného konce (zamezení kmitu desky v bodě ležícím mimo původní uzlové čáry), jsme zjistily, že se kružnice deformovaly tak, že nová uzlová čára vždy protínala místo uchycení (viz Obr. 4).



Obr. 2: Obrazce vznikající z jemné krupice na čtvercové desce při různých frekvencích



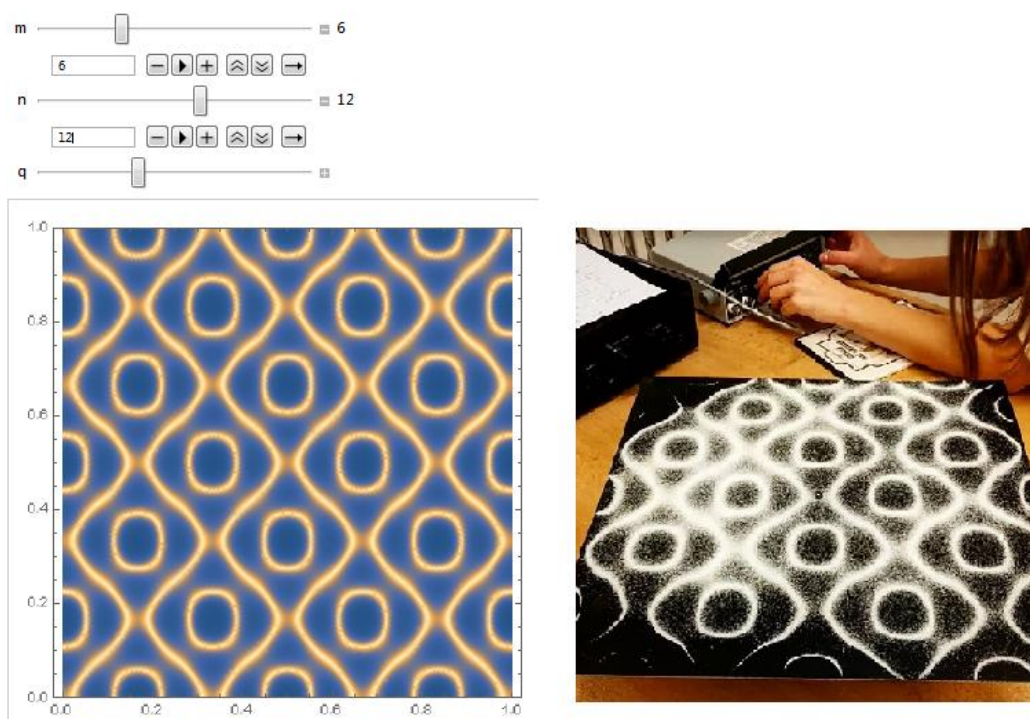
Obr. 3: Obrazce vznikající při dvou různých frekvencích na kruhové desce při volném konci



Obr. 4: Vznik obrazce z jemné krupice na kruhové desce s pevným koncem

3.5 Počítačové modelování

Chladniho obrazce je možné modelovat a předpovídat pomocí programu Mathematica Wolfram. Stačí navolit počet protnutí uzlových čar s kraji desky m , n . Posuvník q zastupuje nekonečné množství obrazců, které by při m , n protnutích mohly vzniknout v závislosti na mnoha faktorech (například volných koncích na desce). Charakteristiky čtvercové desky při našem experimentu však zůstaly neměnné a tudíž jsme pozorovaly vždy jeden z těchto potenciálních obrazců, nalezený vhodným posunutím q (viz Obr. 5).



Obr. 5: Porovnání uměle vygenerovaného obrazce nalezeného zadáním počtu protnutí desky m , n a vhodným posunutím q se skutečným obrazcem vzniklým z jemné krupice

4 Diskuse

Realizovat pokus pomocí smyčce tak, jak to provedl Ernst Chladni, se nám nepodařilo. Pravděpodobně to odráželo kvalitu houslového smyčce, materiál, z něhož byla deska vyrobena, a způsob úchyty desky v aparatuře. Pomocí moderní aparatury jsme ale dosahovaly velice podobných až přesných výsledků. Při dalších experimentech by bylo vhodné změřit i rychlost zvuku v desce a věnovat se více modelování obrazců. To ovšem může být obtížné vlivem různých vlastností materiálů.

5 Shrnutí

Provedly jsme experimenty, při kterých vznikají Chladniho obrazce. Využili jsme aparatury, která obsahovala kovovou desku, pokryly ji různými druhy materiálů a hledaly vlnové délky, při nichž se tvořily obrazce. Vlnové délky námi nalezené jsme porovnávaly s těmi známými. Z použitých materiálů se jako nejvhodnější jevila jemná krupice, zatímco nejméně reagoval moučkový cukr a holandské kakao. To přisuzujeme jejich vlastnostem jako je velikost a hmotnost částic. Zejména na kruhové desce jsme zkoušely odraz na volném a pevném konci. Pomocí programu Mathematica Wolfram jsme byly schopny namodelovat vznikající obrazce pomocí parametrů, jako byla vlnová délka zvuku a počet protnutí čar obrazců a okrajů desky.

6 Poděkování

Chtěly bychom poděkovat Ing. Václavu Potočkovi, Ph.D. za odborné konzultace a všeobecnou podporu při našem experimentu. Naše díky patří také talentcentru Laborky.cz při Gymnáziu Václava Beneše Třebízského ve Slaném za zapůjčení aparatury.

Reference

- [1] F. Bachmann, *Ernst Chladni*, <https://blog.zhdk.ch/kkunst/2018/08/11/ernst-chladni/>
- [2] K. Staňová, *Fyzika Chladniho obrazců*, https://is.muni.cz/th/jilOf/Fyzika_Chladniho_obrazcu
- [3] T. Tyc, *Kmity, stroboskop a Chladniho obrazce*, <http://www.physics.muni.cz/~tomtyc/zajfyz/kmity-tex.pdf>