



## **Středoškolská technika 2014**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# **JAK VYTVOŘIT HVĚZDY A JINÉ ÚTVARY NA POVRCHU KAPALIN?**

**NGO NGOC ANH**

Gymnázium Cheb  
Nerudova 7, 350 02, Cheb

## **Anotace**

Tato práce popisuje řešení jedné ze soutěžních úloh letošního ročníku Turnaje mladých fyziků. Mým úkolem bylo pozorovat, prozkoumat a popsat děje při vertikálním vibrování nádoby s kapalinou a určit, kolik os souměrnosti mají jednotlivé obrazce, které se objevují při vibrování na povrchu kapaliny. Mé řešení je kombinací teoretických a experimentálních poznatků. Autorkou práce je kapitánka reprezentačního týmu Gymnázia Cheb, jejíž tým se v letošním roce dostal na 3. místo v republikovém kole.

## **Zadání úlohy**

If a thick layer of a viscous fluid (e.g. silicone oil) is vibrated vertically in a circular reservoir, symmetrical standing waves can be observed. How many lines of symmetry are there in such wave patterns? Investigate and explain the shape and behaviour of the patterns.

Jestliže tlustá vrstva viskózní kapaliny (např. silikonového oleje) vertikálně vibruje v kruhové nádobě, mohou být pozorovány symetrické stojaté vlny. Kolik os symetrie mají tyto vlnové obrazce? Prozkoumejte a vysvětlete tvar a chování obrazců.

## **Úvod a rozbor zadání**

Tato úloha se řadí spíše mezi ty experimentální, tj. větší důraz jsme kladli na experimentální popis jevu. Nejdůležitější je správně sestavit aparaturu, abychom docílili co možná nejlépe pozorovaného efektu a abychom mohli měnit nejdůležitější parametry, které nám určuje teorie.

Nejprve bych se měla zamyslet nad tím, jak tlustá vrstva kapaliny musí být v nádobě, aby byly pozorovatelné vlnové obrazce. Dalším důležitým aspektem je zcela jistě samotná nádoba, její tvar a velikost. V neposlední řadě bych měla zvolit vhodnou metodu vertikálních vibrací, která bude následně využita při experimentálním zkoumání této problematiky.

Problematikou se zabývalo již několik vědeckých prací, kterou jsem použila jako podklad pro svou práci. Nejprve jsem se tedy důkladně seznámila s již publikovanými materiály, ze kterých jsem zkompletovala teoretické podklady, především co se jednotlivých typů pozorovatelných vln a matematizace problematiky týče. Druhá část mé práce je experimentální, kde je nejprve popsána užitá aparatura a metodika práce, za nimiž následují experimentálně pozorované jevy.

## **Jakou metodu zvolit pro vibrování?**

Metod, které bych mohla využít pro vibrování nádoby s kapalinou, je nespočet. Vybrala jsem si tu, která mi umožní měnit ty nejdůležitější parametry a která je poměrně jednoduchá na sestavení a manipulaci.

Rozhodla jsem se využít starý reproduktor, ke kterému jsem připojila zesilovač zvuku, který umožňuje připojení na Vernier LabQuest. Prostřednictvím rozhraní Vernier LabQuest lze měnit frekvenci kmitání, zesilovač zvuku umožňuje změnu amplitudy.

## **Jak tlustá by měla být vrstva kapaliny?**

Tento parametr závisí na velikosti naší nádoby. Měli bychom vzít v potaz, že pokud se dostaneme ke hraničním hodnotám frekvencí, začne kapalina tryskat ven, což určitě nechceme. Tloušťku kapaliny je vhodné zvolit s ohledem na velikost nádoby, především její výšku.

S rostoucí tloušťkou kapaliny stoupá hmotnost nádoby. Tím pádem stoupá také frekvence, kterou potřebujeme k pozorování vlnových obrazců. I toto kritérium bych měla ve své práci vzít na vědomí.

## Jaká kapalina by měla být použita?

V zadání je uvedeno, že použitá kapalina má být viskózní. Pro své experimenty jsem využila vodu a různé druhy kapalin s vyšší viskozitou (např. olej, šampon). Parametry kapalin, především hustota a viskozita, mají vliv na průběh jevu. Se stoupající viskozitou roste hmotnost kapaliny v nádobě.

## Jaké typy vln se při vibracích objevují?

Ve své teorii jsem zmínila několik typů vln, které se na povrchu kapalin objevují v závislosti na relevantních parametrech. Asi nejznámější jsou tzv. Faradayovy vlny, které jsou důsledkem Faradayovy nestability. Faradayovy vlny mění svou pozici v závislosti na směru kmitu. Tyto vlny jsem pozorovala při nízkém rozsahu vyšších frekvencí pouze na povrchu vody (frekvence se pohybovala mezi 320-340 Hz).

Dalším typem vln jsou tzv. gravitační vlny. Díky těmto vlnám s velkou amplitudou vznikají na povrchu kapaliny různé obrazce, které dle literatury nelze dopředu předpovídat. Symetrie závisí na frekvenci a amplitudě. Zajímavé je bezpochyby také to, že tyto obrazce nezávisí na tvaru a velikosti nádoby.

Posledním typem vln, který jsem během své práce zohlednila, jsou vlny Cymatics. Cymatics studuje viditelnost zvuku, díky které vznikají na povrchu roztodivné obrazce, které nelze definovat jako polygony či hvězdy, které se objevují při vzniku gravitačních vln.

## Jak lze problematiku vyjádřit matematicky?

Pomocí rovnic uvedených v literatuře jsem za pomoci konzultantů sestavila rovnice, které popisují vznik gravitačních vln (hvězd a polygonů).

Aby mohly na povrchu kapaliny vznikat obrazce, musí platit (1), kde  $F$  je bezrozměrným parametrem,  $\Omega$  úhlová frekvence a  $\sigma$  viscous attenuation a zároveň musí platit (2), kde  $F$  je opět bezrozměrným parametrem,  $A$  je amplituda a  $g$  je gravitační zrychlení.

$$F = \sqrt{\frac{8\sigma}{\Omega}} \quad (1)$$

$$F = \frac{\Omega^2 A}{g} \quad (2)$$

V (3) jsem položila (1) rovno (2), kde jedinou neznámou je „viscous attenuation“.

$$\sqrt{\frac{8\sigma}{\Omega}} = \frac{\Omega^2 A}{g} \quad (3)$$

To můžeme spočítat pomocí (4), kde  $\alpha$  a  $\beta$  jsou koeficienty,  $\nu$  kinematická viskozita a  $k$  vlnový vektor.

$$\sigma = \alpha \nu k^2 + \beta \sqrt{\nu k^2} \quad (4)$$

Úhlovou frekvenci bez tlumení a kmitání můžeme spočítat (5), kde  $\omega_0$  je úhlovou frekvencí bez tlumení a kmitání,  $g$  gravitačním zrychlením,  $k$  vlnovým vektorem a  $h$  značí hloubku.

$$\omega_0^2 = gk \tanh hk \quad (5)$$

Argument „tanh“ lze vyjádřit (6) a pokud vycházíme z platnosti (7), dostaneme pro úhlovou frekvenci bez tlumení a kmitání (8).

$$\tanh = \frac{2\pi h}{\lambda} \quad (6)$$

$$hk \ll 1 \quad (7)$$
$$\tanh hk \approx hk$$

Dosazením (5) do (4) získáváme další vztah pro viscous attenuation.

$$\sigma = \alpha \frac{\nu \omega_0^2}{gh} + \beta \sqrt{\frac{\nu \omega_0^2}{gh}} \quad (8)$$

Pokud položíme úhlovou frekvenci bez tlumení a kmitání rovno úhlové frekvenci, získáme vztah (9).

$$\sigma = \alpha \frac{v\Omega^2}{gh} + \beta \sqrt{\frac{v\Omega^2}{gh}} \quad (9)$$

Dosazením (9) do (3) získáváme (10), kde zjišťujeme, že  $\alpha$  se rovná jedné, ale  $\beta$  nikoliv, což znamená, že by tento koeficient měl mít nějakou jednotku.

$$\frac{\Omega^2 A}{g} = \sqrt{\frac{8}{\Omega} \left( \alpha \frac{v\Omega^2}{gh} + \beta \sqrt{\frac{v\Omega^2}{gh}} \right)} \quad (10)$$

I díky této matematizaci můžeme odvodit důležité parametry, které ovlivňují formování vlnových obrazců. Záleží na kinematické viskozitě kapaliny, hloubce, frekvenci a na amplitudě. Tato matematizace verifikovala mou hypotézu o nejdůležitějších parametrech.

### **Jak probíhaly mé experimenty?**

Před samotným experimentováním jsem si sestavila aparaturu, o které se podrobně zmiňuji v kapitole o metodě pro vibrování. Experimentálně jsem si ověřila, že zvolená sestava je optimální pro účely našeho pokusu.

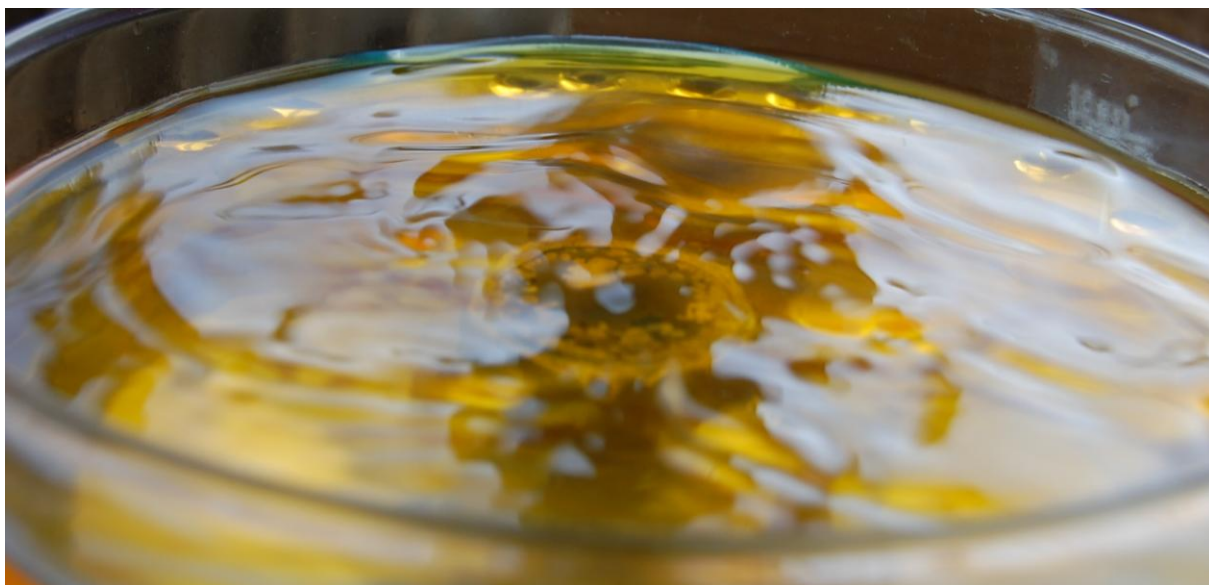
Poté bylo třeba zvolit správnou metodiku experimentů. Rozhodla jsem se, že se zaměřím na měnění frekvence a amplitudy na různých druzích kapalin. Výsledné obrazce z našich experimentů jsem shrnula do obrázků na následujících stránkách.

### **Pokusy s vodou – změna frekvence, amplituda konstantní**

Výchozí parametry: poloměr nádoby 20 cm, výška nádoby 2 cm, tloušťka kapaliny 0,5 cm



obr. 1 – frekvence 3 Hz



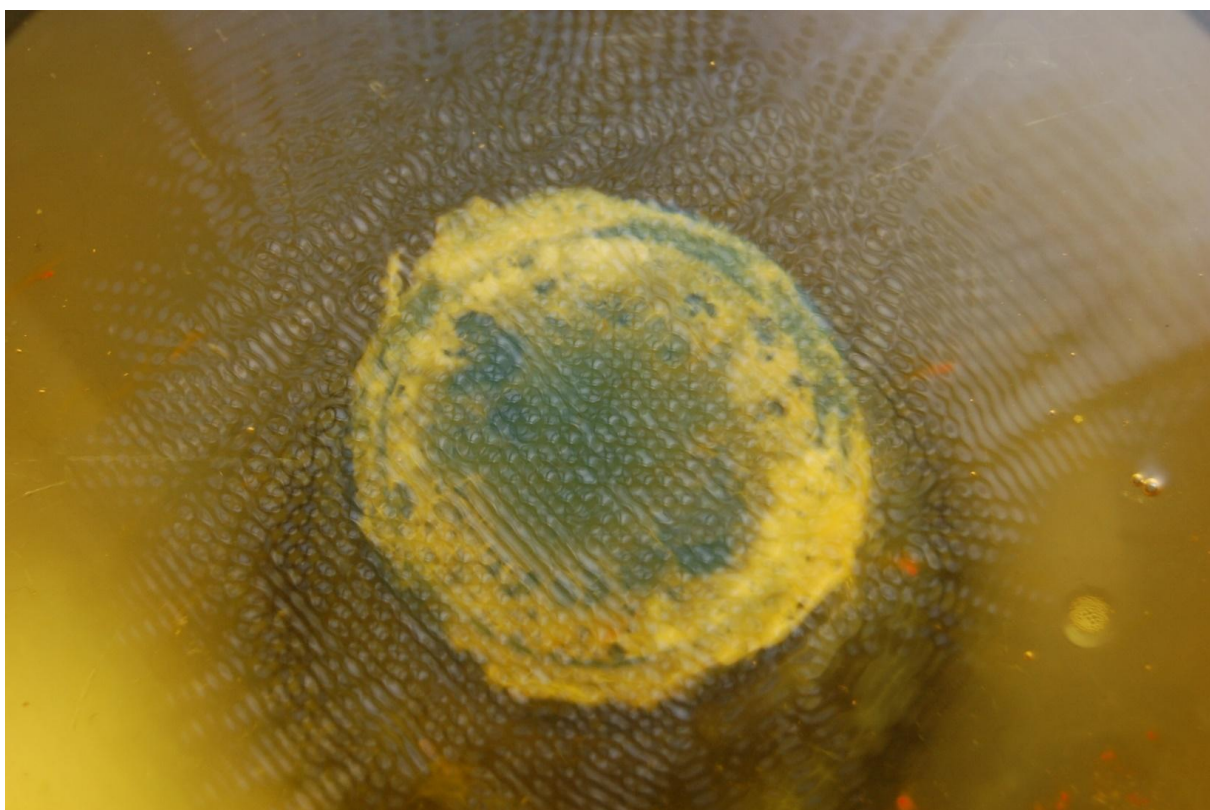
obr. 2 – frekvence 4,125 Hz



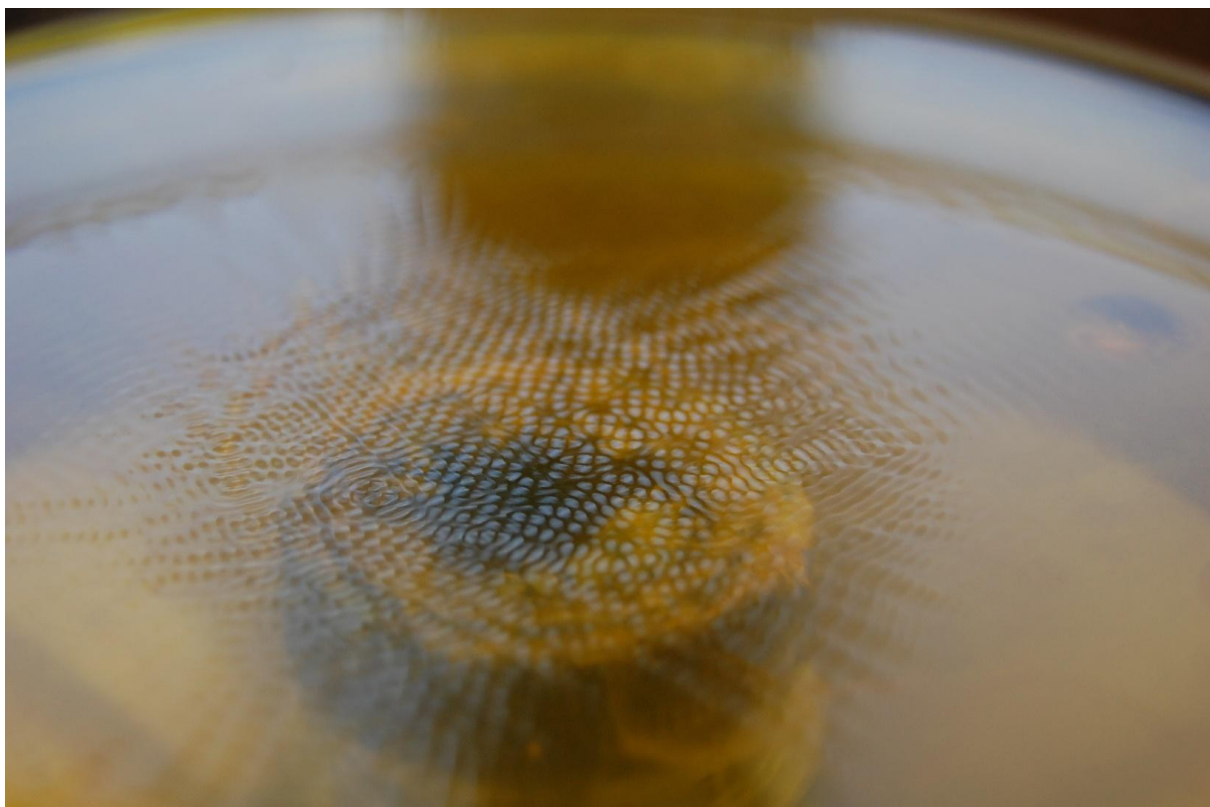
obr. 3 – frekvence 7,25 Hz



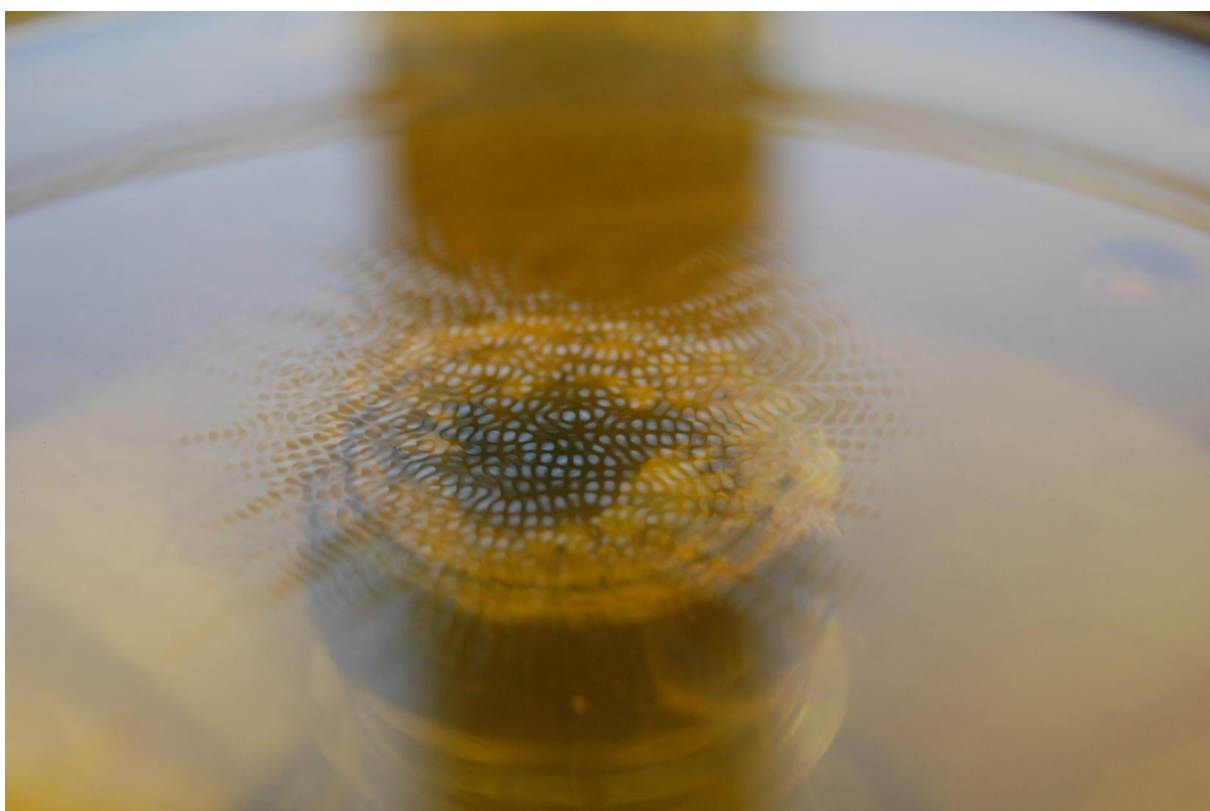
obr. 4 – frekvence 9,5 Hz



obr. 5 – frekvence 327 Hz



obr. 6 – frekvence 344 Hz



obr. 7 – frekvence 375 Hz

## Pokusy s glycerolem – změna frekvence, amplituda konstantní

Výchozí parametry: poloměr nádoby 20 cm, výška nádoby 2 cm, tloušťka kapaliny 0,5 cm

