

# SONOLUMINISCENCE

Matěj Petráček

[matej.petracek@gmail.com](mailto:matej.petracek@gmail.com)

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

## Abstrakt

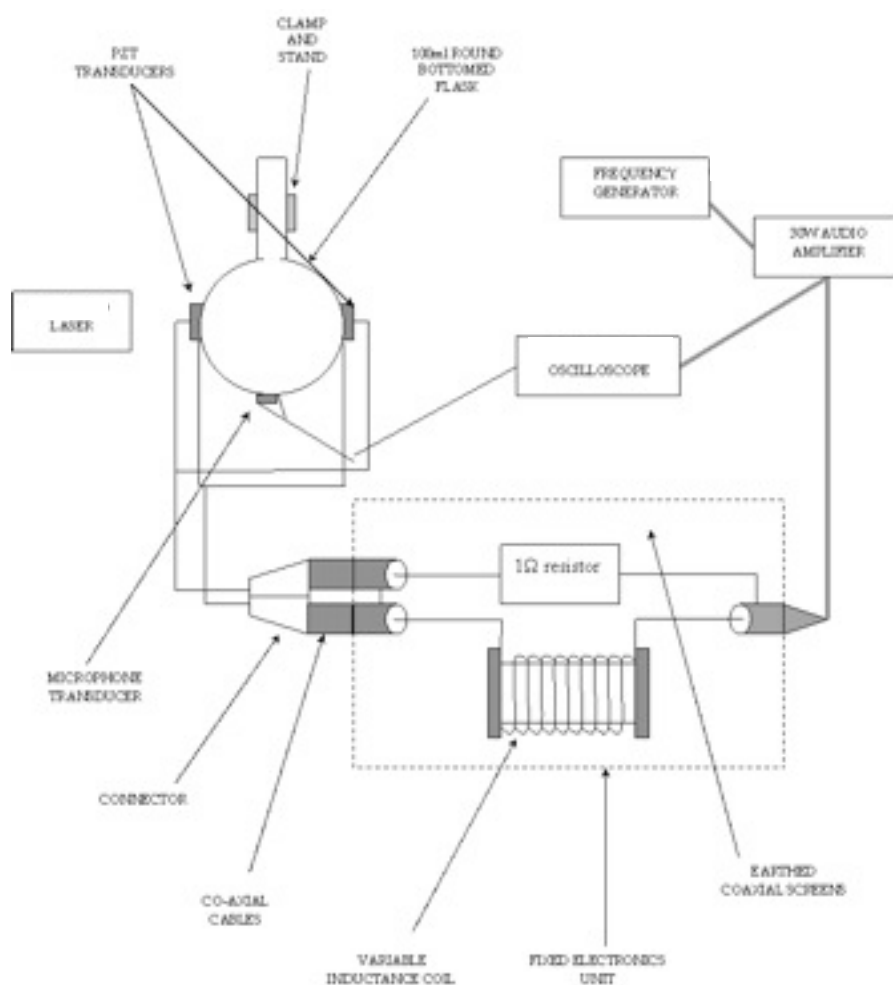
Bylo představeno téma sonoluminiscence, posluchači byli seznámeni s teorií a praxí výzkumu tohoto fyzikálního jevu a konkrétním experimentálním zařízením. Dále byly prezentovány výsledky získané z práce na experimentu a provedena experimentální ukázka akustické kavitace ve vodě.

## 1 Úvod

Účelem projektu bylo představit posluchačům akustickou kavitaci a s ní související málo známé téma sonoluminiscence, na experimentálním zařízení prezentovat působení zvukových vln na kapalinu za vzniku kavitace a dosáhnout sonoluminiscence za běžně dostupných podmínek. Experimentální zařízení, které bylo pro projekt postaveno, rovněž umožňuje v budoucnu navázat na základní studium sonoluminiscence pokročilou experimentální činností.

## 2 Popis experimentální aparatury

### 2.1 Schéma experimentu



Obr. 1: Schéma experimentu

Hlavní součástí experimentu je kulová baňka, na jejíž stranách jsou proti sobě fixovány dva piezoelektrické budiče a na jejímž dně je umístěn piezoelektrický krystal fungující jako mikrofon. Budiče mají za úkol vytvářet kulovou zvukovou vlnu uvnitř baňky a mikrofon snímá její frekvenci. Harmonická vlna je do budičů vysílána ze sinusového generátoru. Pro dosažení dostatečného akustického výkonu potřebného pro průběh kavitace je třeba signál zesílit akustickým zesilovačem a následně přesně doladit pomocí cívky s proměnnou indukčností. Veškeré vodiče směřující od cívky k baňce vedou vysoké napětí a musí proto být řádně odstíněny a izolovány. Výstup z generátoru i z mikrofonu je snímán a zaznamenáván osciloskopem.

## 2.2 Příprava vody

Vzhledem k citlivosti průběhu akustické kavitace ve vodě bylo třeba použít vodu destilovanou a v co největší míře odplyněnou. Různé plyny přirozeně obsažené ve vzduchu reagují rozdílně při extrémních podmínkách, které se vyskytují uvnitř kavitací vyvolané imploze bublinky a je třeba z vody co nejlépe odstranit ty plyny, které mohou kavitaci brzdit. Odplynění vody dosáhneme dostatečně dlouhým převařením a následnou hermetickou izolací vody. Při nalévání odplyněné vody do baňky je třeba dbát i na to, aby se ve vodě nevytvářely bublinky, které by do ní opět zaváděly plyn. Doporučená teplota vody se liší v různých zdrojích, ale v našem případě bylo dosaženo dobrých výsledků s vodou o teplotě 18-20 °C.

## 2.3 Zachycení bublinky

Aby byla kulová zvuková vlna uvnitř baňky schopna produkovat kavitaci je třeba, aby její frekvence odpovídala rezonanční frekvenci baňky. Tuto frekvenci  $f_r$  je možné vypočítat (pro ideálně sférickou baňku) následujícím vztahem:

$$f_r = \frac{vn}{2a} ,$$

kde  $v$  je rychlost zvuku v dané kapalině (v destilované vodě),  $n$  pořadí rezonance a  $a$  poloměr kulové baňky. Určení frekvence tímto způsobem ale není dostatečně přesné a pro účely experimentu je proto nutné ji ještě experimentálně doladit (viz bod 3.1 Stabilizace prostředí).

# 3 Popis provedených experimentů

Základní experimenty (akustická kavitace a sonoluminiscence) byly prováděny pouze kvalitativně, přesto byl jejich průběh zaznamenán ve výstupních datech osciloskopu a na fotografiích. Následně byly odvozeny vlastnosti a chování kapaliny a akustické vlny v závislosti na podmínkách prostředí a byla provedena analýza světelného spektra podle vyfotografovaného záření a zhruba určena teplota zářící oblasti.

## 3.1 Stabilizace prostředí

Podmínkou pro stabilní průběh kavitace jsou správné vlastnosti vody. Experimentem bylo ověřeno, že mezi nejpodstatnější patří stupeň zaplynění vody a její teplota. Při následujícím popisu stabilizace prostředí pro optimální průběh kavitace předpokládáme, že použitá voda má optimální vlastnosti, tedy teplotu 20°C a zaplynění ve fázi 24 hodin od úplného odplynění.

Při nastavování aparatury a optimalizaci prostředí pro průběh kavitace a následně sonoluminiscence jsme postupovali následovně:

- 1) Jako první je nutné naladit správnou frekvenci vstupující zvukové vlny, která odpovídá akustické rezonanci baňky a prostředí uvnitř (vody). Pomocí osciloskopu jsme určili, při jaké frekvenci je na vstupním mikrofonu maximální síla signálu.
- 2) Pomocí cívky s měnitelnou indukčností a pohyblivým jádrem jsme upravili napětí a nastavili maximální možný výkon budícího napětí, způsobující největší možnou sílu akustického tlaku.
- 3) Nastavením výše uvedených parametrů jsme dosáhli optimálního prostředí pro stabilní akustickou kavitaci a sonoluminiscenci.

V experimentu se při velikosti baňky 500 ml, teplotě vody 20° a správném stupni zaplynění vody nejlépe osvědčilo nastavení, které udává frekvence zvukového signálu ~16,5 kHz a budící napětí ~1,6 V. Za těchto podmínek bylo možné dosáhnout stabilní akustické kavitace doprovázené stabilní sonoluminiscencí po dobu omezenou pouze změnou podmínek.

## 3.2 Určení teploty

Experimentální zjišťování přibližné teploty vyzařující oblasti bublinky bylo prováděno spektrální analýzou vyzařovaného světla. Podle poměru intenzity světla v oblasti modré a červené barvy byla z grafu vyzařování černého tělesa odhadnuta výsledná teplota porovnáním poměru červené a modré.

Analýza byla provedena na 6 fotografiích různých bublinek, ve kterých probíhala sonoluminiscence. Fotografie byly pořízeny digitálním fotoaparátem s expozicí 4s a následně analyzovány pomocí fotografického softwaru.

## 4 Popis a diskuze výsledků

### 4.1 Teplota

Postupem uvedeným v bodě 3.2 byla na 6 vzorkových fotografiích naměřena teplota od 6 000 K do 21 000 K. Výsledná průměrná teplota vyzařující oblasti bublinky je tedy  $10\,880\text{ K} \pm 2\,000\text{ K}$ .

Odchylku v naměřených teplotách nelze přičíst pouze chybě měření, ale především rozdílným podmínkám uvnitř jednotlivých bublinek. Spektrální analýza ukázala, že v každé z bublinek byla rozdílná intenzita barev modré a červené, z čehož lze usuzovat, že v jednotlivých bublinkách byly rozdílné teplotní podmínky.

### 4.2 Srovnání výsledků

Uváděné výsledky měření teplot se podle různých zdrojů značně liší a pohybují se mezi 10 000 K[9] až 50 000 K[10]. Situace je tedy prozatím nepříliš jasná, přesto se ale v současnosti většina experimentů kloní k průměrné teplotě okolo 10,000 K až 15,000 K. Vzhledem k tomu je teplota naměřená v našem experimentu, tedy  $10\,880\text{ K} \pm 2\,000\text{ K}$ , v mezích současného modelu a můžeme tedy s jistotou pravděpodobností usuzovat její správnost.

## 5 Závěr

V rámci experimentu se s úspěchem podařilo zavést a udržet stabilní akustickou kavitaci uvnitř jediné bublinky a následně úspěšně spustit proces sonoluminiscence. Experiment byl prováděn v jednoduchých podmínkách za pomoci snadno dostupných součástí a ukazuje tak na zajímavost aplikace sonoluminiscence jako snadno dostupného procesu s velmi zajímavými vlastnostmi - a to jako pro menší, tak i ústavní výzkum.

Experimentálně změřená teplota je v mezích možností pouze orientační, avšak svou hodnotou se přibližuje experimentálním výsledkům jiných autorů. Prostředky použité pro měření teploty jsou použitelné i v preciznější formě a slibují tak budoucí upřesnění za použití stejných metod.

Proces sonoluminiscence je jistě velmi zajímavým oborem pro budoucí studium a skýtá ještě mnoho neznámých. Budoucí experimenty mají z úkol odhalit, jaké mechanismy sonoluminiscenci způsobují, jaké jsou její přesné vlastnosti a případné další využití, které má potenciál sahát do širokého spektra aplikačních možností.

## 6 Reference

- [1] Single Bubble Sonoluminescence How-To - <http://www.macgeisler.de/nld/sbsl-howto.html>
- [2] Wikipedia, Sonoluminescence - <http://en.wikipedia.org/wiki/Sonoluminescence>
- [3] Wikipedia, Mechanism of sonoluminescence - [http://en.wikipedia.org/wiki/Mechanism\\_of\\_sonoluminescence](http://en.wikipedia.org/wiki/Mechanism_of_sonoluminescence)
- [4] Wikipedia, Bubble fusion - [http://en.wikipedia.org/wiki/Bubble\\_fusion](http://en.wikipedia.org/wiki/Bubble_fusion)
- [5] UCLA Web Pages - Seth J. Putterman - <http://personnel.physics.ucla.edu/directory/faculty/putterman>
- [6] UCLA Web Pages - Sonoluminescence - <http://www.physics.ucla.edu/Sonoluminescence/>
- [7] Sonoluminescence Experiment: Sound into Light - <http://www.techmind.org/sl/>
- [8] Sonoluminescence: Sound into Light - <http://www.pas.rochester.edu/~AdvLab/11-Sonolum/sono1.pdf>
- [9] J. Apl. Phys, Vol. 32, No. 3, p. 448
- [10] Phys. Rev. Let., Vol. 75, No. 13, p. 2602