

# Sonoluminescence

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

Fyzikální seminář II  
10.5.2012

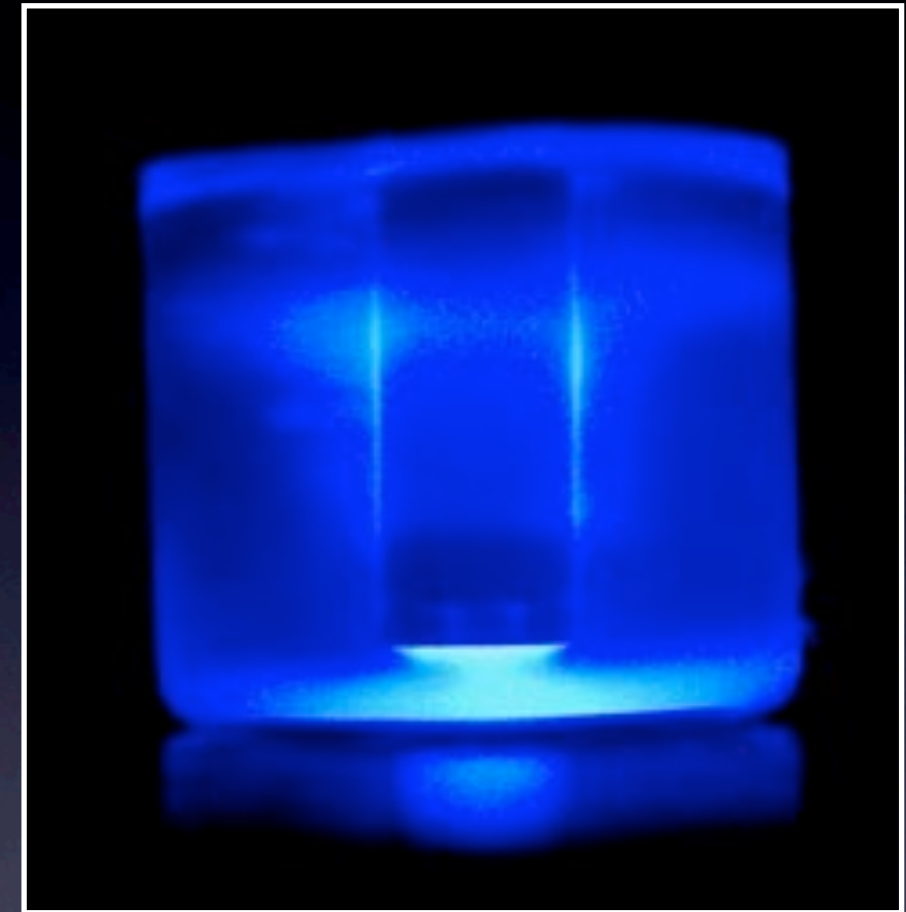
# Intro

# Co je sonoluminiscence?

- extrémní forma akustické kavitace
- emise krátkých záblesků světla z implodujících bublinek vyvolaných zvukovou vlnou
- nastává, když zvuková vlna dostatečné intenzity způsobí / uvězní bublinku, která rychle začne kolabovat (implodovat)

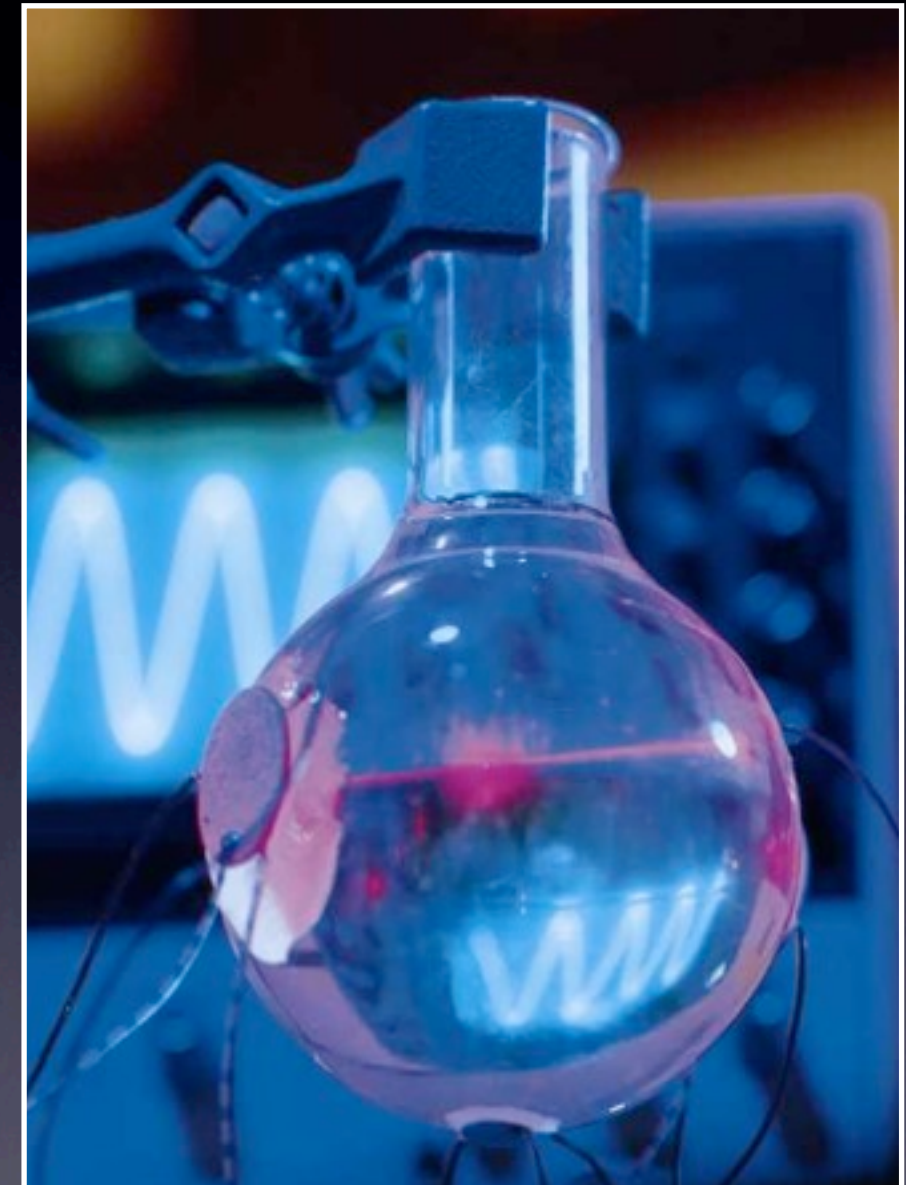
# Historie sonoluminiscence

- Objev
  - na univerzitě v Kolíně v roce 1934
  - při vývoji sonaru
  - pánové Frenzel a Schultes
  - objev teček na vyvolaných fotografiích způsobených ultrazvukovým měničem
  - příliš komplexní jev ke studiu
- ! první multi-bubble sonoluminiscence !
- nezávislý objev pánů Marinesca a Trillata z roku 1933



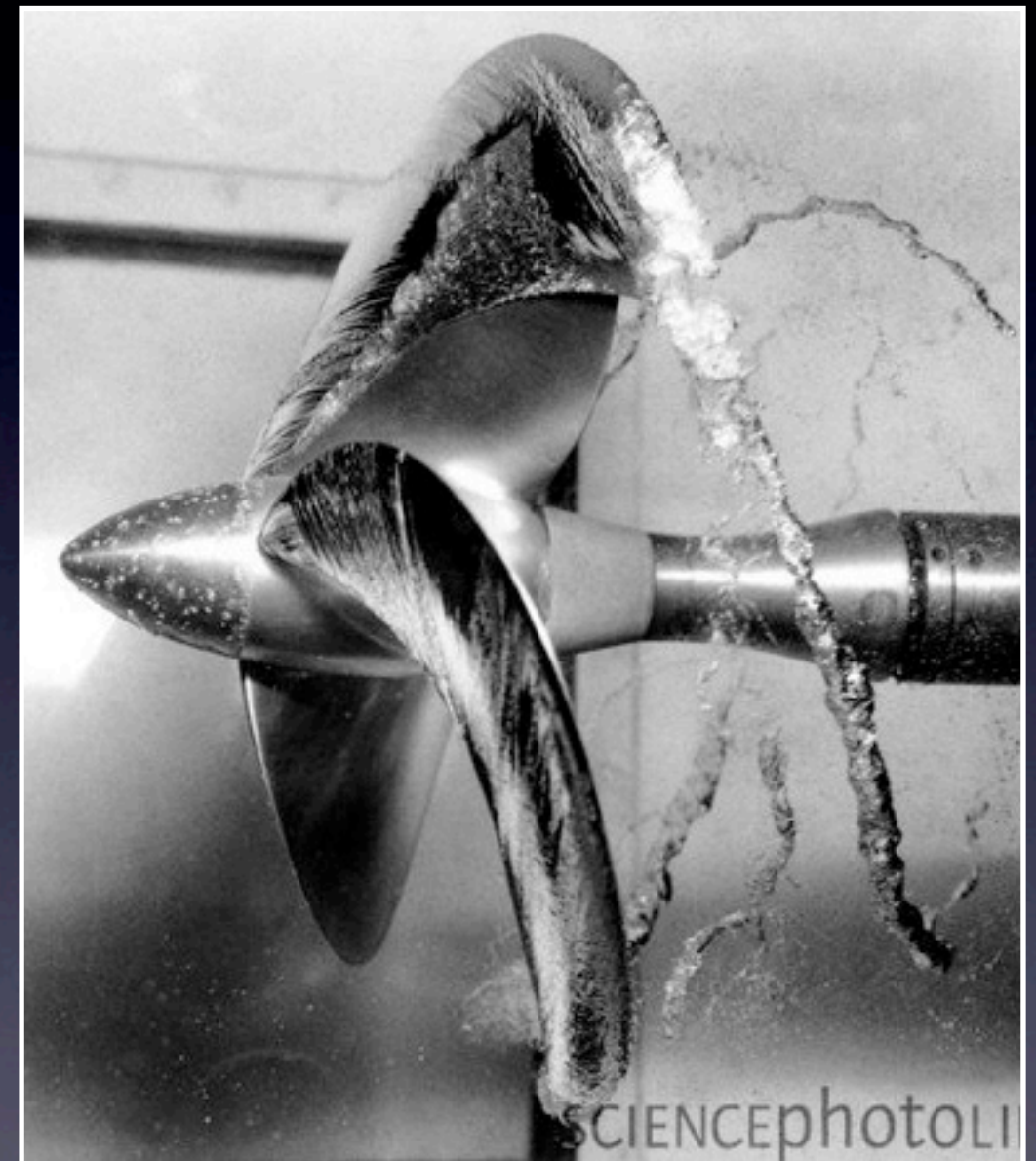
# Historie sonoluminiscence

- Oživení vyzkumu
  - Felipe Gaitan & Lawrence Crum
    - ! první single-bubble sonoluminiscence !
    - experiment z roku 1989
    - 1) vývoj zařízení schopného zachytit jednu bublinku
    - 2) připravili půdu pro další serózní výzkum = zlom ve studiu SL (MBSL -> SBSL)



# Historie sonoluminiscence

- Oživení vyzkumu
  - Felipe Gaitan & Lawrence Crum
  - ! první single-bubble sonoluminiscence !
  - experiment z roku 1989
  - 1) vývoj zařízení schopného zachytit jednu bublinku
  - 2) připravili půdu pro další serózní výzkum = zlom ve studiu SL (MBSL -> SBSL)
- Armádní výzkum US Navy
  - výzkum kavitace a možné SL způsobené lodním šroubem



# Historie SL: Současnost

- Současnost
  - Seth Putterman, UCLA



# Historie SL: Současnost

- Současnost
  - Seth Putterman, UCLA
  - NASA: SL jako potenciální zdroj energie

NASA/TM—2007-214982

AIAA-2007-5596



## Development of Techniques to Investigate Sonoluminescence as a Source of Energy Harvesting

*John D. Wrbanek, Gustave C. Fralick, and Susan Y. Wrbanek  
Glenn Research Center, Cleveland, Ohio*



# Historie SL: Současnost

- Současnost
  - Seth Putterman, UCLA
  - NASA: SL jako potenciální zdroj energie
  - několik společností (pravděpodobně čekajících na uplatnění)

NASA/TM—2007-214982

AIAA-2007-5596

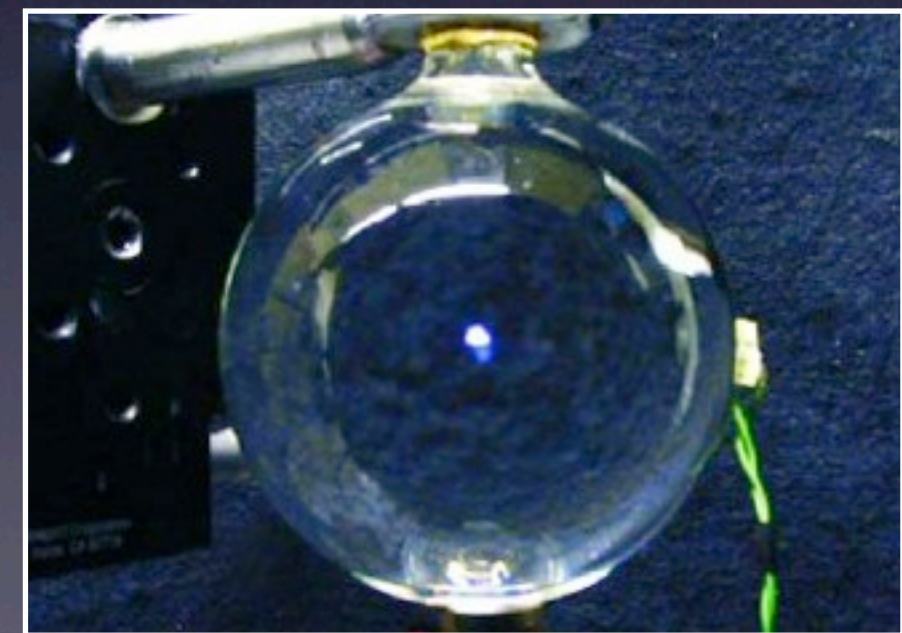
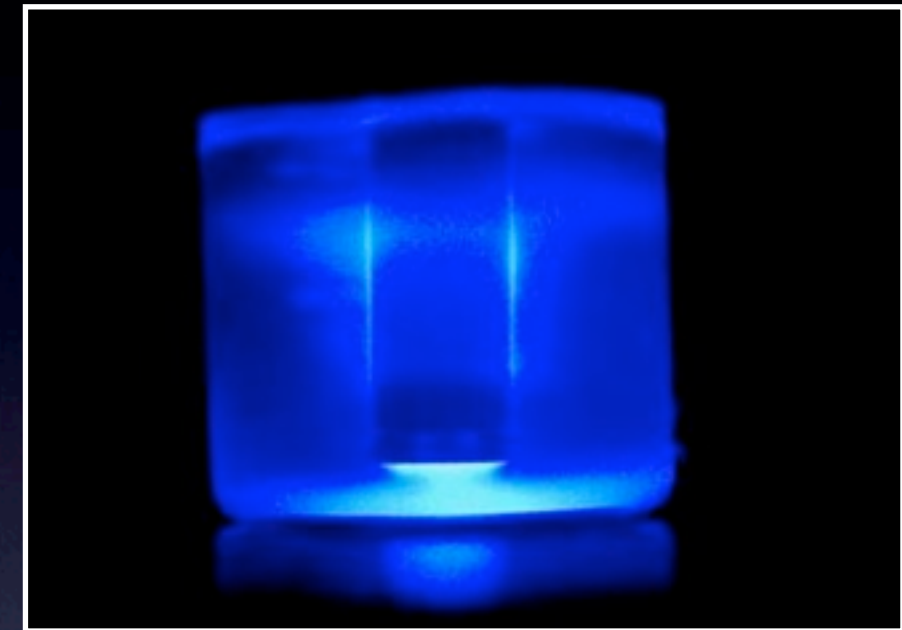


## Development of Techniques to Investigate Sonoluminescence as a Source of Energy Harvesting

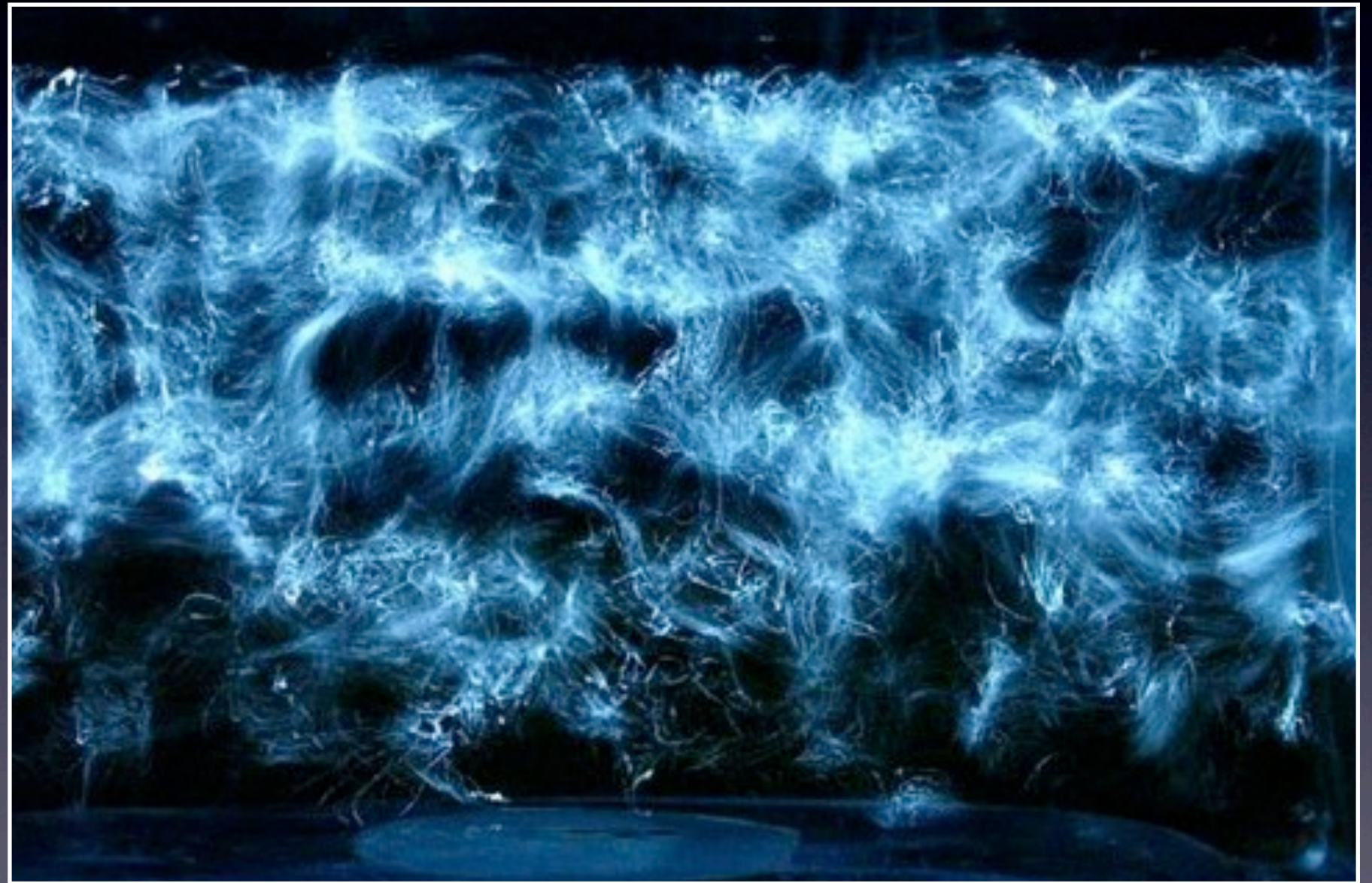
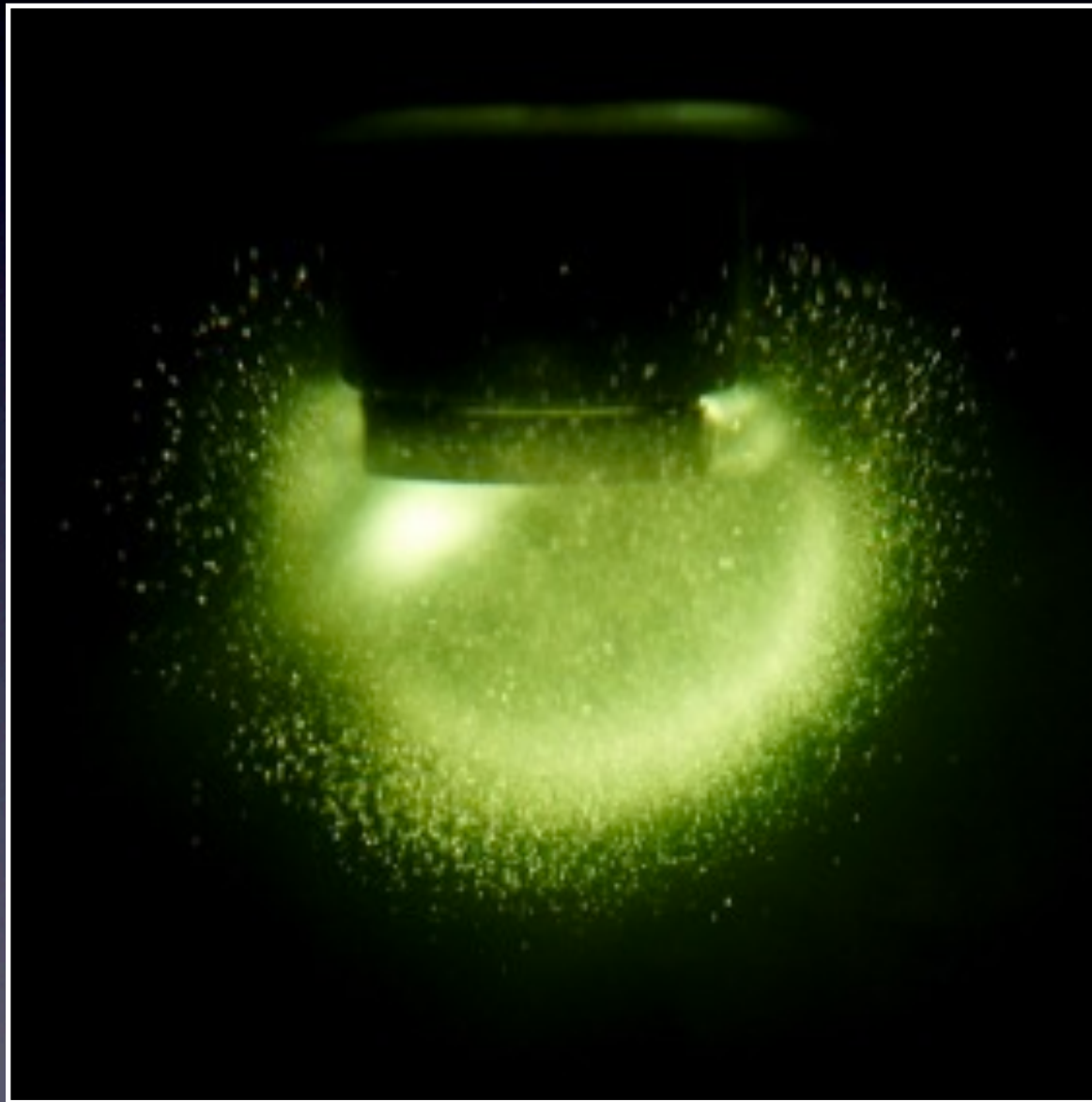
*John D. Wrbanek, Gustave C. Fralick, and Susan Y. Wrbanek  
Glenn Research Center, Cleveland, Ohio*

# Typy sonoluminiscence

- Multi-bubble sonoluminiscence
    - ke kavitaci dochází ve velkém množství / celém poli bublinek
    - nevhodné ke studiu vlastnosti bublinky
    - interakce mezi bublinkami = slabší světlo
  - Single-bubble sonoluminiscence
    - ke kavitaci dochází pouze v jedné bublince
    - bez interakce = použití pro studium vlastnosti
    - silnější světlo
- = dnešní experiment



# Multi-bubble Sonoluminescence



# Teorie

# Kavitace

obecně

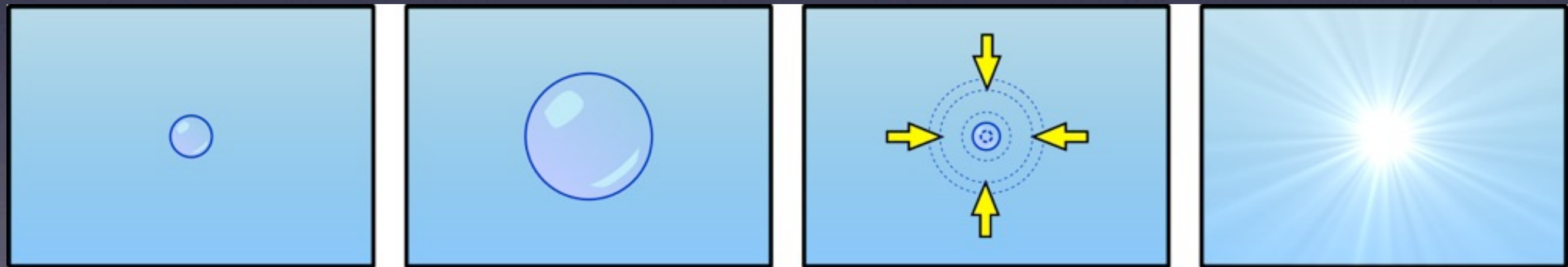
- vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku, následovaný jejich implozí
  - rázová vlna (s destruktivním účinkem)
- hydrodynamická kavitace
- akustická kavitace
- vliv: velikost tlaku, povrchové napětí, teplota

*...více teorie u kolegů...*



# Mechanismus sonoluminiscence

- bublinka vzniká díky akustické kavitaci způsobené signálem o správné rezonanční frekvenci
- při implozi vydá světelný záblesk
- po implozi je díky podtlaku ve stejném místě znovu vytvořena a celý proces se opakuje (za dobu  $1/f$  s  $\rightarrow$  cca  $60 \mu\text{s}$ )



# Kavitace při SL

a) bublinka začíná implodovat

b) utváření rázové vlny tlakem

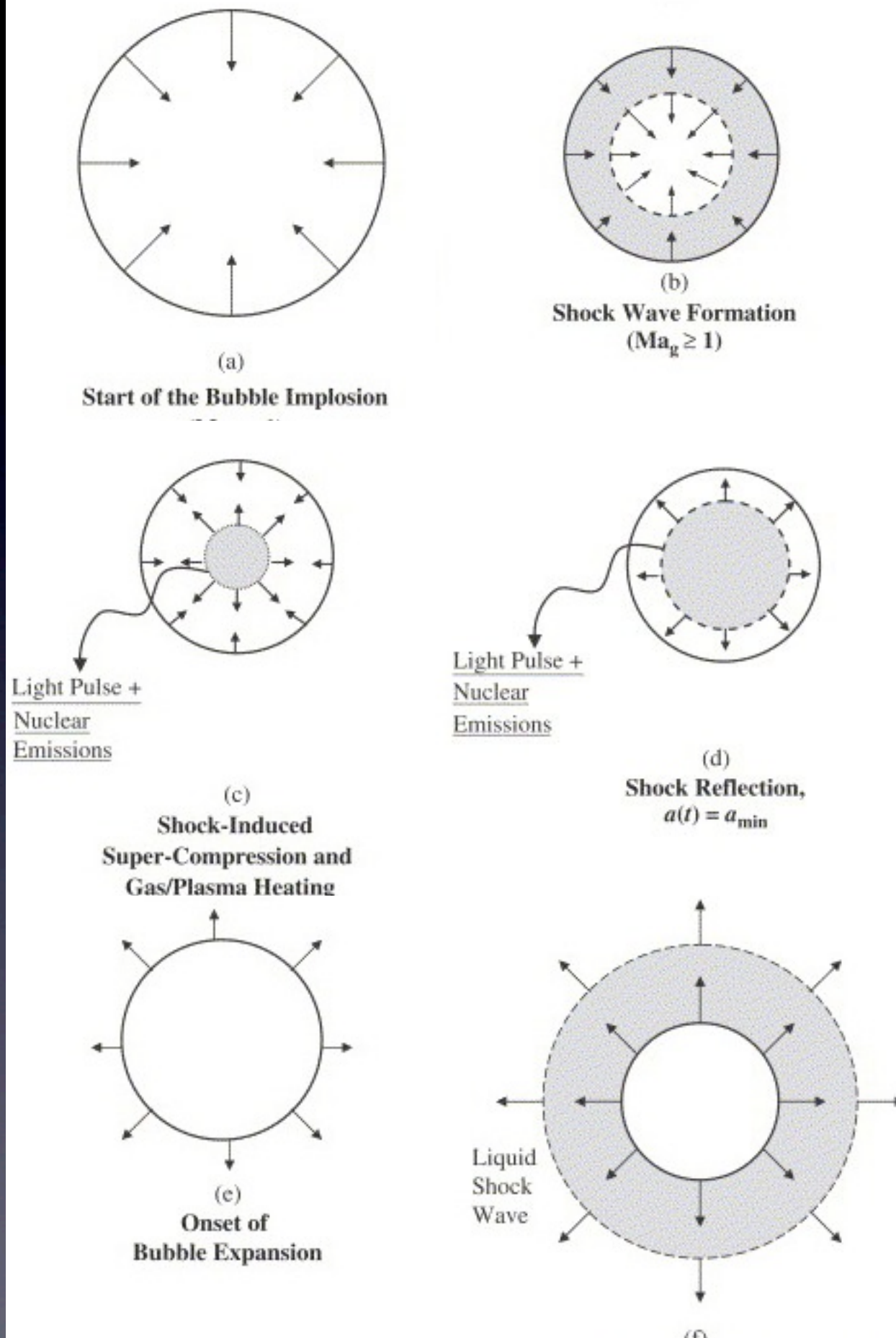
c) jaderné vyzařování + světlo  
- komprese & zahřívání plynu

d) odražení rázové vlny + světlo

e) bublinka začíná expandovat

f) šíření rázové vlny do okolí

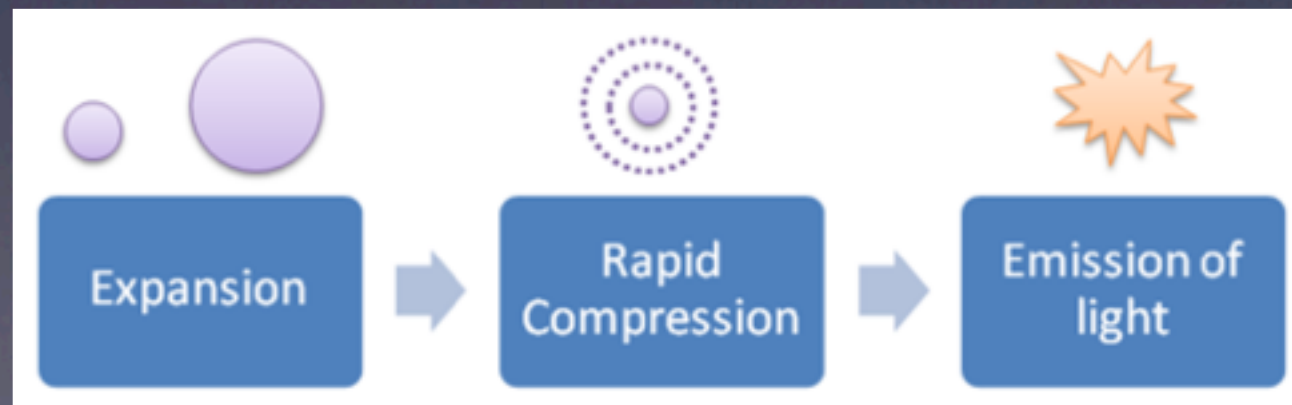
Doba trvání jednoho bliku: 1-10 ps



# Kavitace při SL

- bublinka začíná implodovat
- utváření rázové vlny tlakem
- jaderné vyzařování + světlo  
- komprese & zahřívání plynu
- odražení rázové vlny + světlo
- bublinka začíná expandovat
- šíření rázové vlny do okolí

! nestabilita !



Doba trvání jednoho bliku: 1-10 ps



# Teorie sonoluminiscence

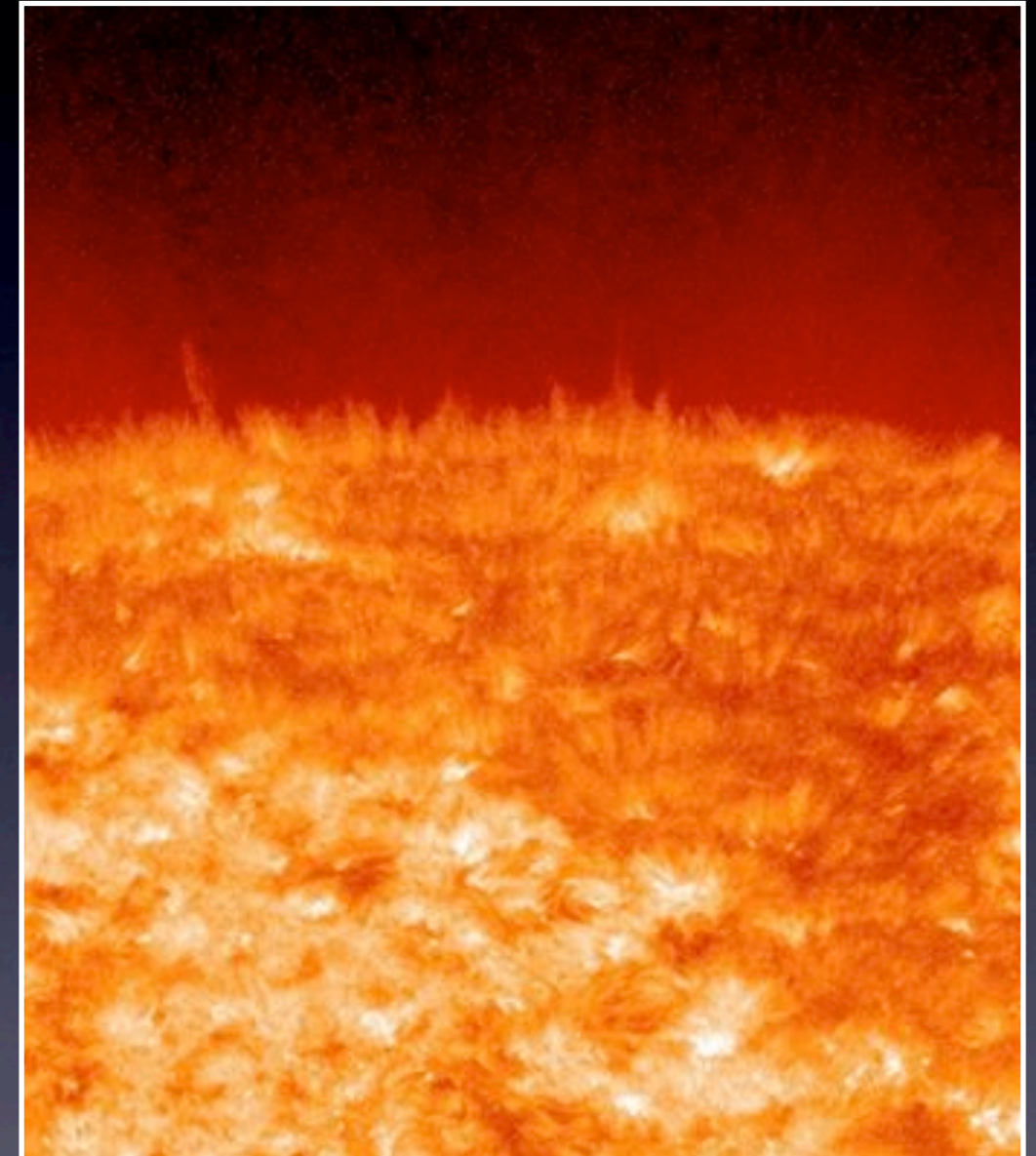
- Současné studium sonoluminiscence
- mnoho neznámých ?
  - teploty v bublince ? (jádro / povrch)
  - tlak a velikost ?
  - záření ?
  - jaderná fúze ?

# Teorie SL: Tlak & velikost?

- Tlak ?
  - v jádru při implozi, odhady se opět liší
  - přibližně  $p = 10^9 \text{ atm} = 10^{14} \text{ Pa}$  !
- Velikost ?
  - **1 - 3  $\mu\text{m}$**  v průměru (samotná bublinka)  
(záleží na kapalině a plynech uvnitř)
  - svítící oblast má průměr **300 nm**

# Teorie SL: Teplota?

- na povrchu
  - různé odhady (závisí na plynu uvnitř)
  - od 10 000 - 40 000 K
  - vlastní měření dále...
- v jádru
  - údaje (a odhady) se hodně rozcházejí
  - první odhad: 10 000 K
  - pozdější měření (Ar): 10 000 - 100 000 K
  - teplota na povrchu vs. v jádru



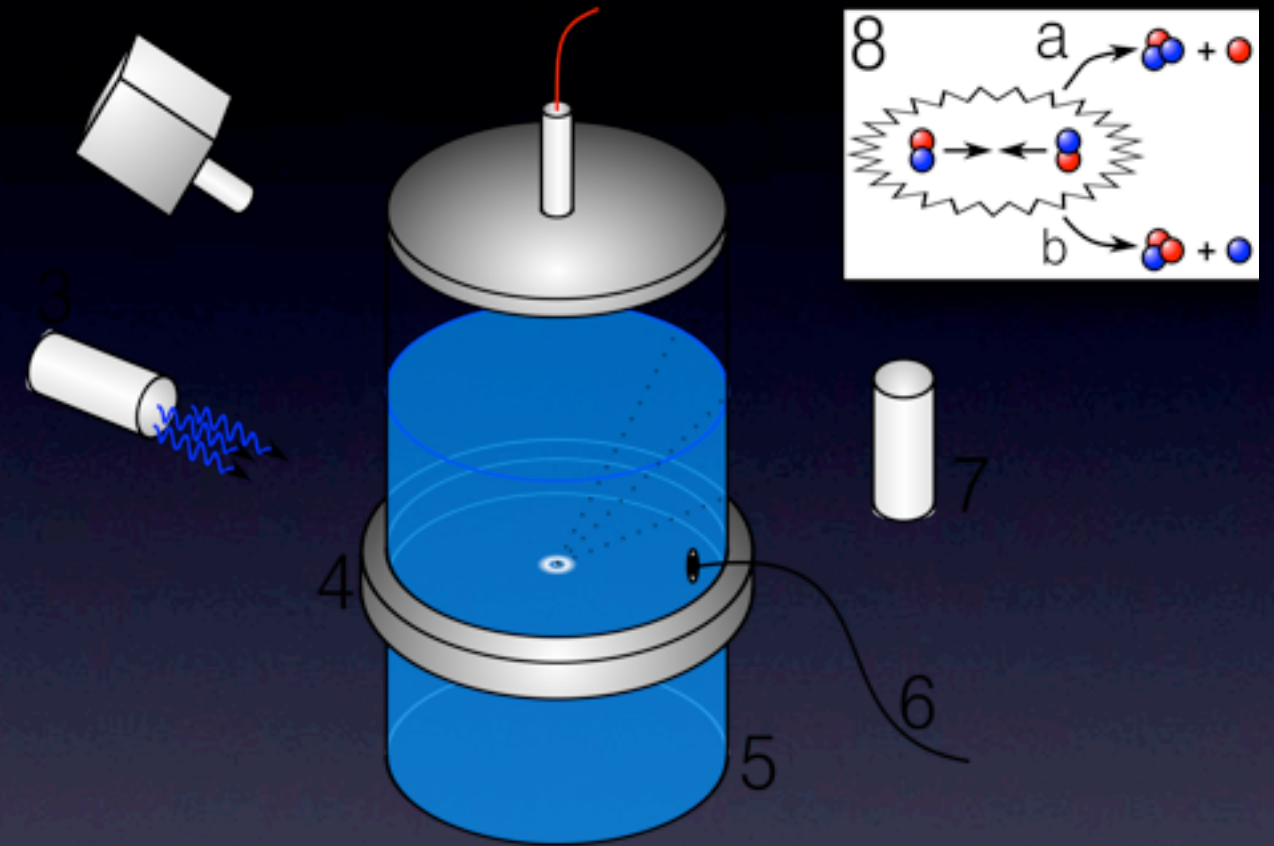
# Teorie SL: Záření?

- Vyzařování ?
  - při velikosti 300 nm září jako černé těleso
    - u nízkých frekvencí (jako v experimentu)
  - při velikostech v řádu 10 nm (MHz frek.)
    - záření charakteru brzdného záření
- Druh záření v jádru
  - různé teorie: brzdné záření (X-ray),  
Unruh záření (zrychlený pohyb soustavy)  
“=” Hawkingovo záření



# Teorie SL: Fúze??

- Jaderná fúze ?
  - výborný potenciální zdroj fúze za snadno dostupných podmínek
  - hlavní výzkum S. Putterman, UCLA
  - předpoklad: podmínky dostatečné pro průběh fúze
  - pokud jde o stejný princip jako u hvězdy, tak by to bylo možné
  - MBSL by byla vhodnější
- pochybnosti a neúspěchy
  - případ prof. Taleyarkhana, Purdue University



Fúzní experiment s D<sub>2</sub>O

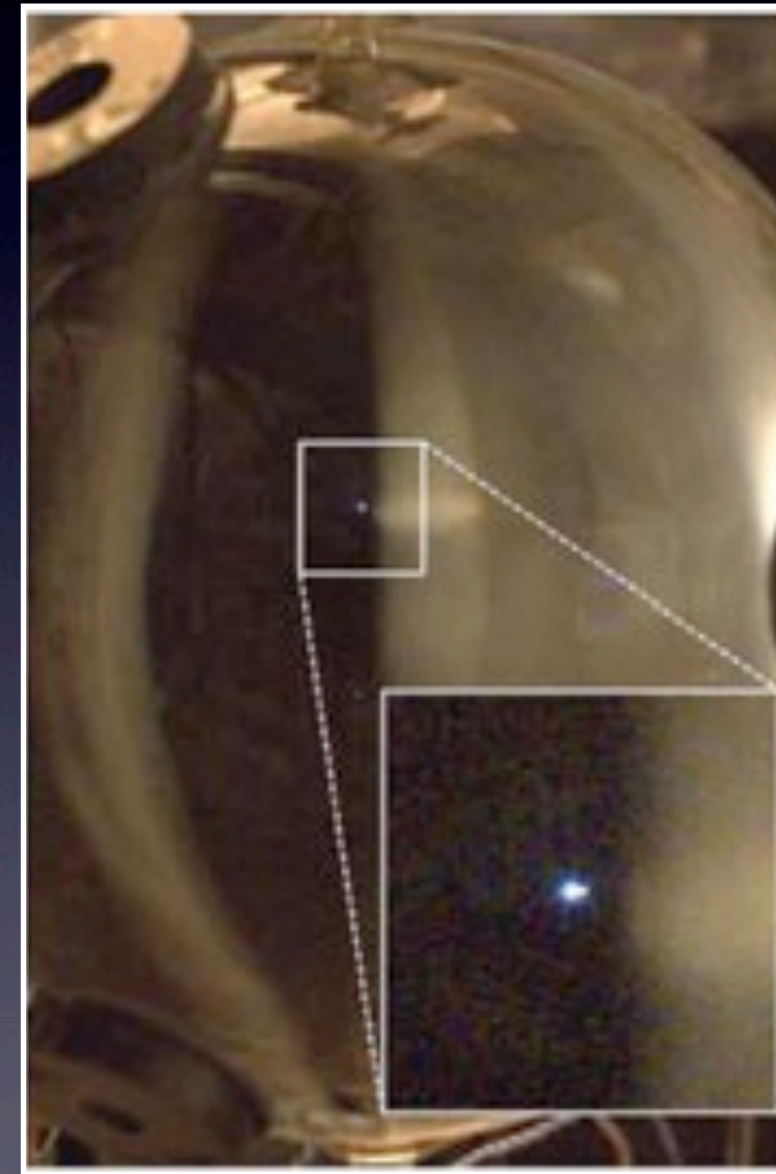
- zdroj neutronů
- těžká voda
- akustický generátor
- scintilator
- fotonásobič



# Silnější záření?

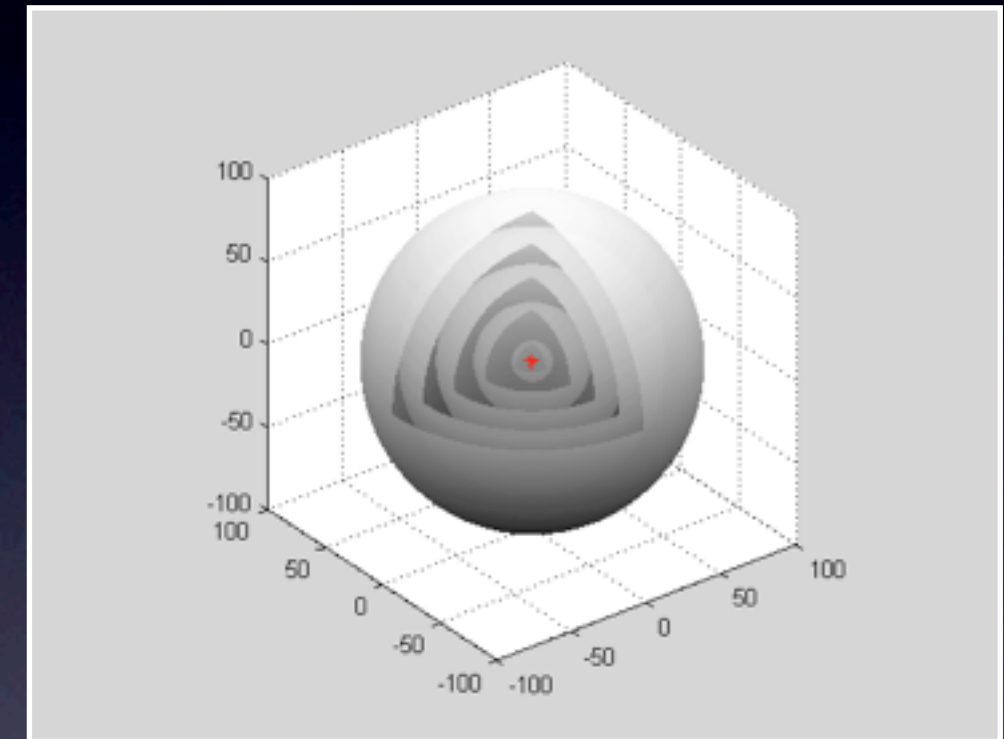
Vlastnosti vyzařování bublinky ovlivňuje...

- stupeň odplynění a teplota vody
- vzácné plyny (Ar, Ne, He)
- přídavek glycerinu
- D<sub>2</sub>O
- magnetické pole
- síla signálu? / objem baňky?



# Popis vlny uvnitř baňky

- kulová vlna (při rezonanci) - odráží se zpět od stěn baňky
- bublinka chycena v uzlu / uzlech
- rázové vlny ve správné frekvenci posílí kavitaci
- porušení (nečistoty, plyn) = nestabilita
- při doteku se zeslabí intenzita světla



# Praxe

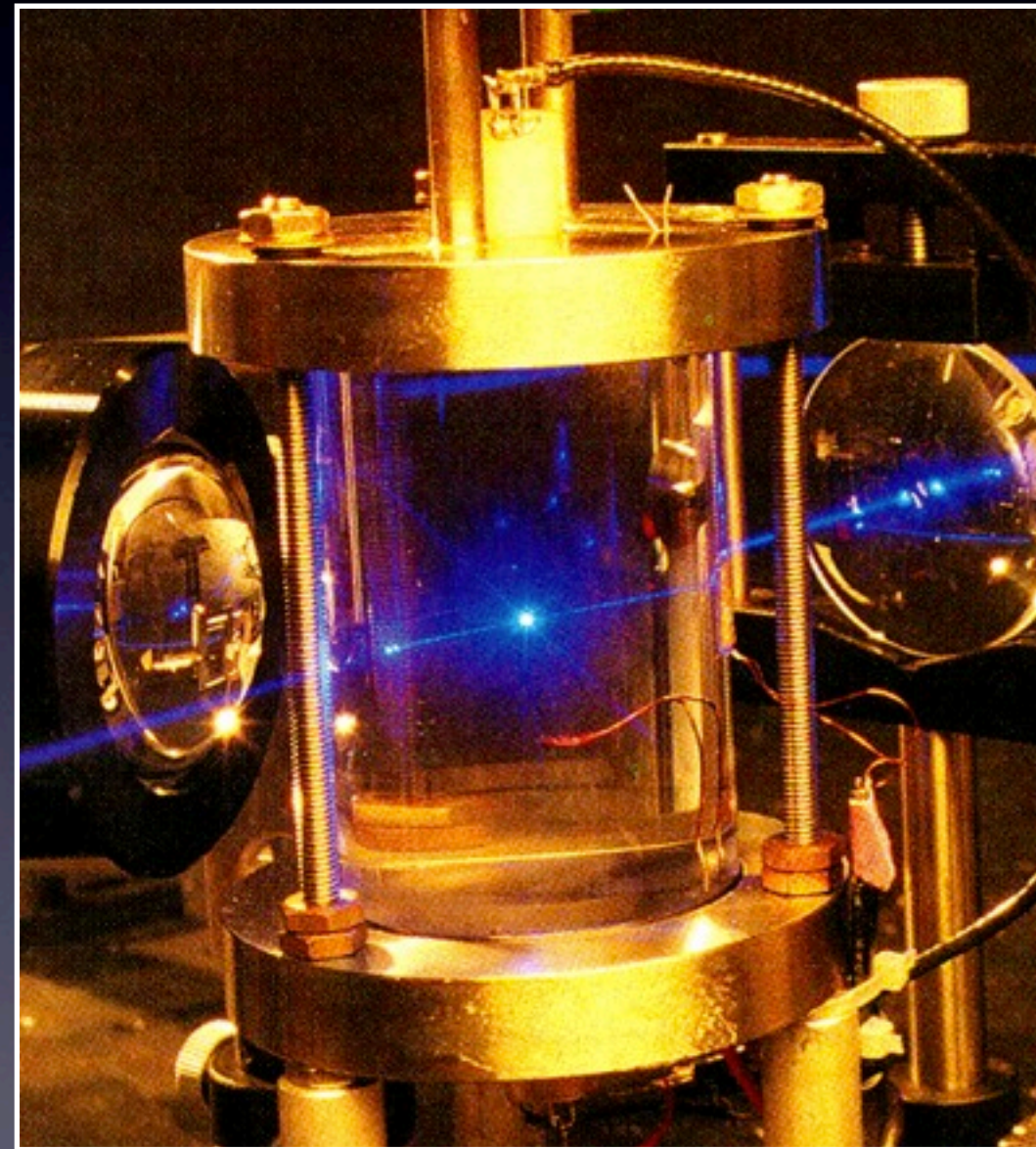


# Typy zařízení

Kulová baňka

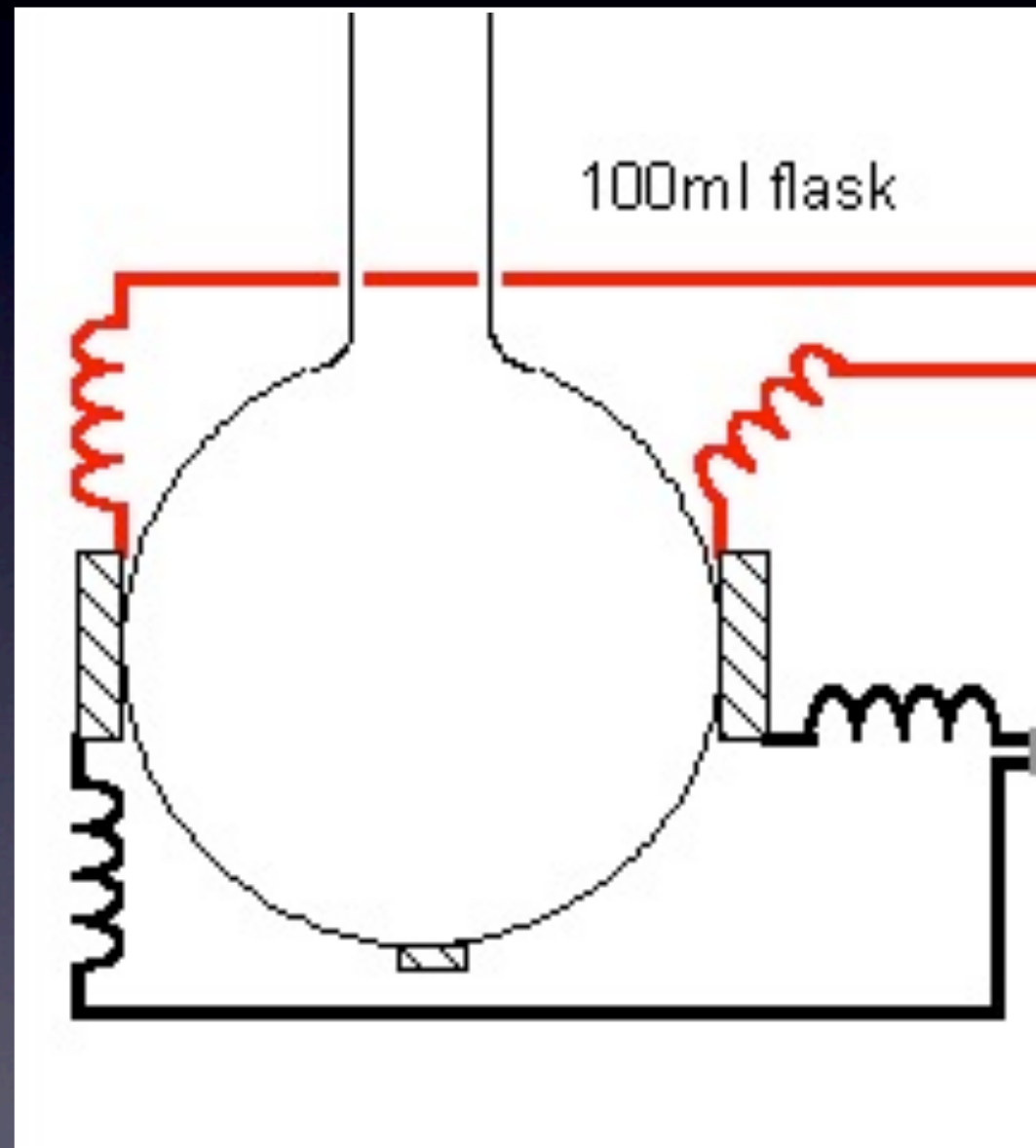


Válcová baňka

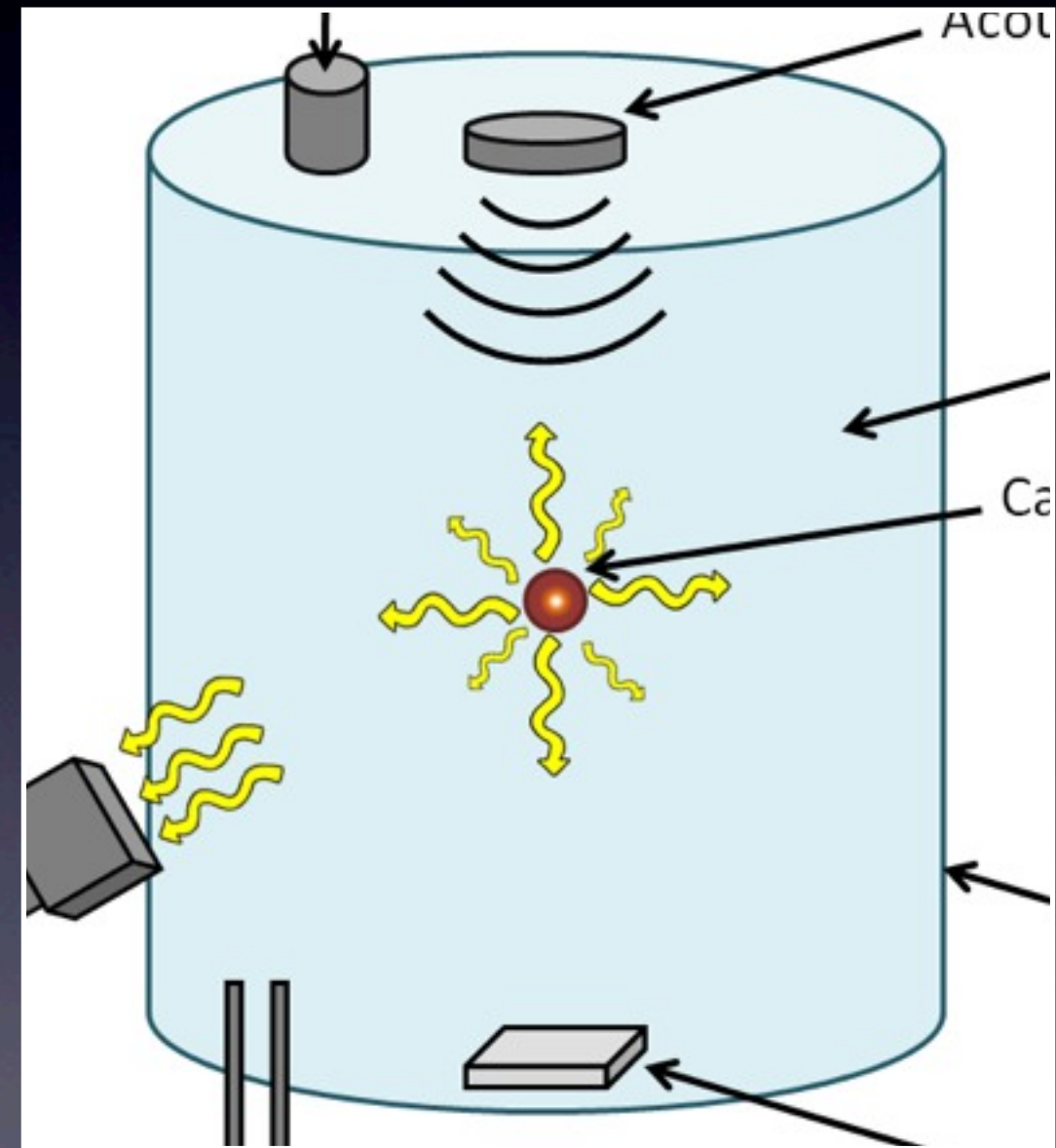


# Typy zařízení

Kulová baňka

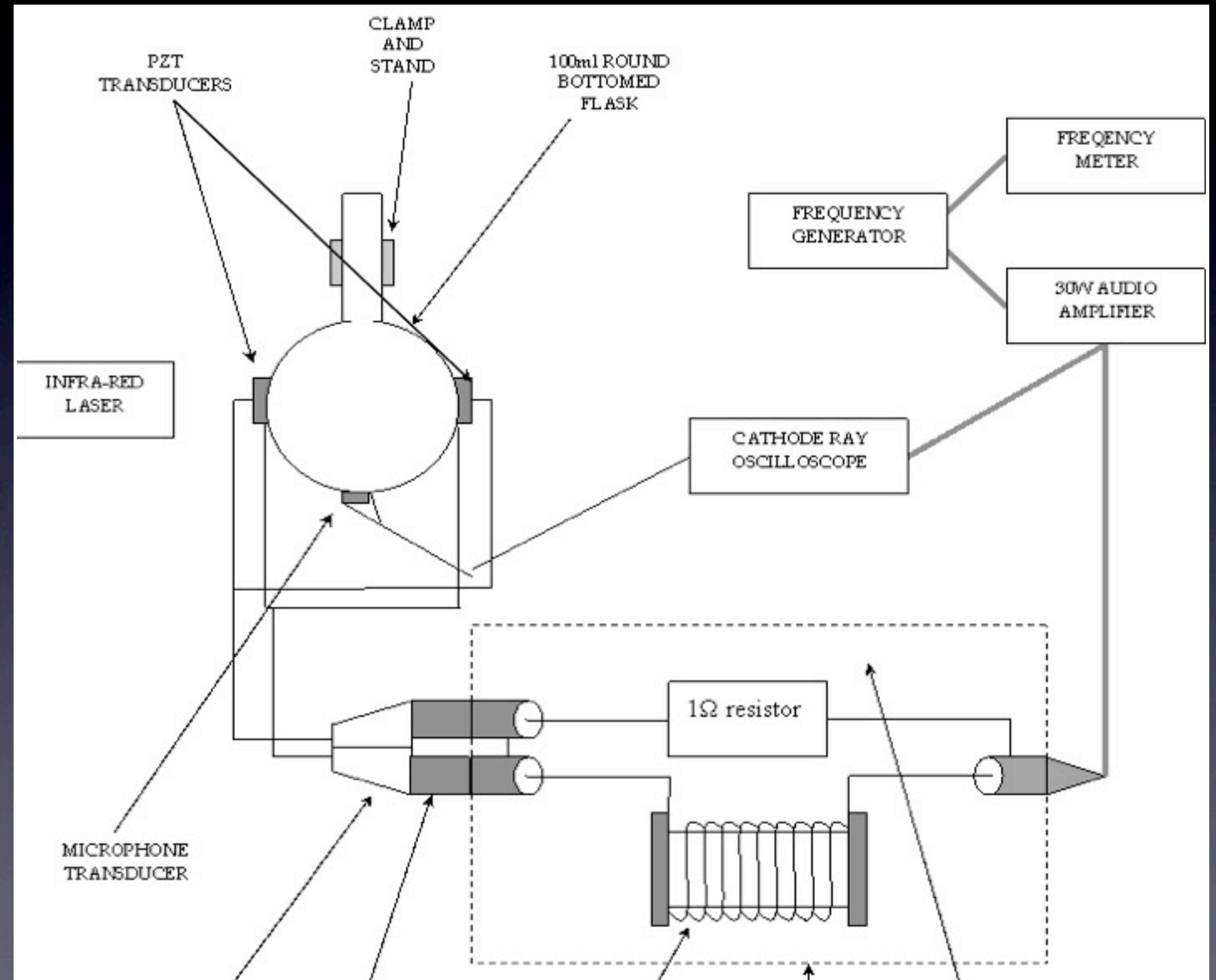


Válcová baňka



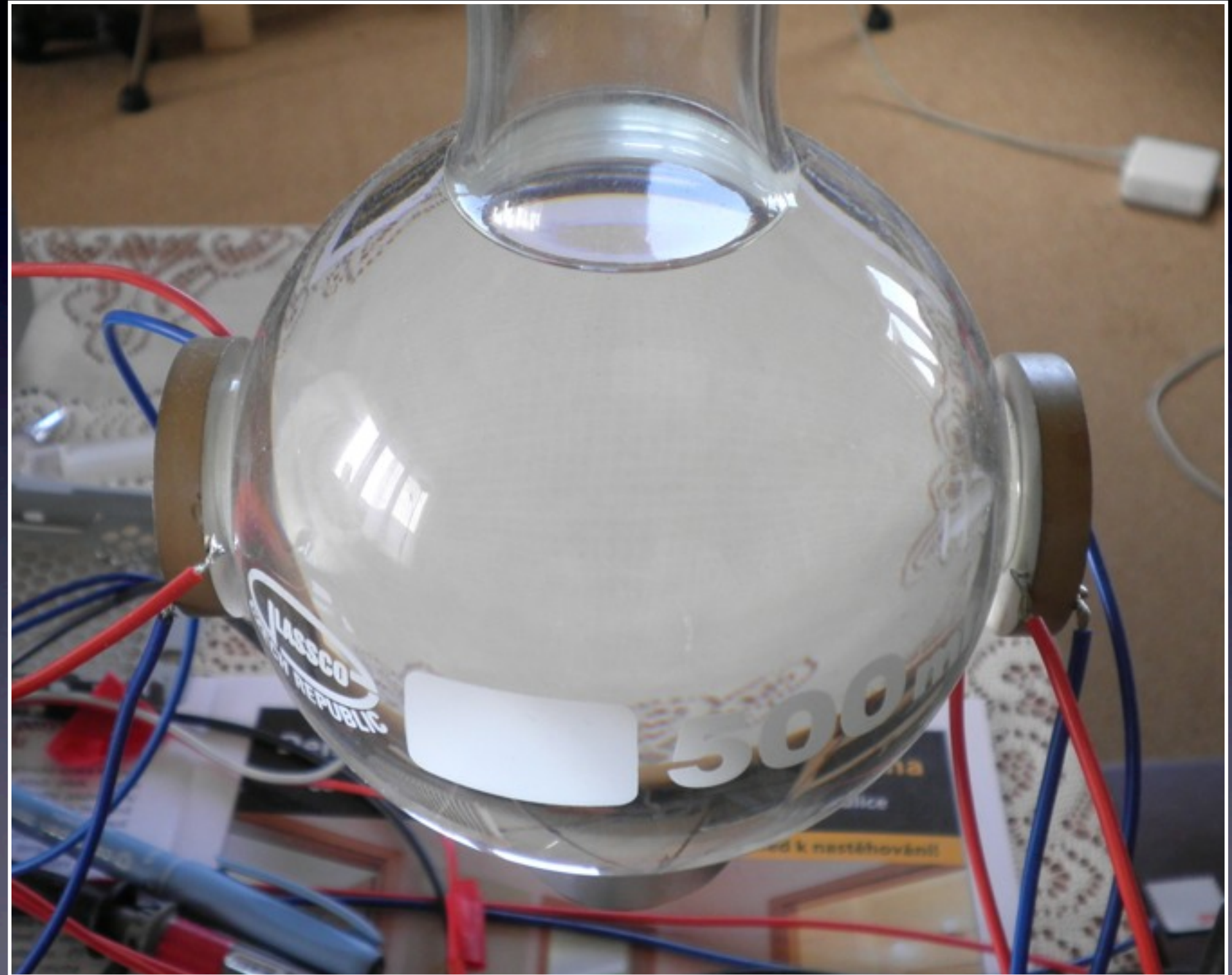
# Obecné schéma zapojení

- Komponenty
  - kulová baňka
  - měniče (piezokrystaly)
  - mikrofon (piezokrystal)
  - sinus generátor / SW
  - zesilovač signálu
  - cívka s měnitelnou induktancí
  - rezistor
  - osciloskop



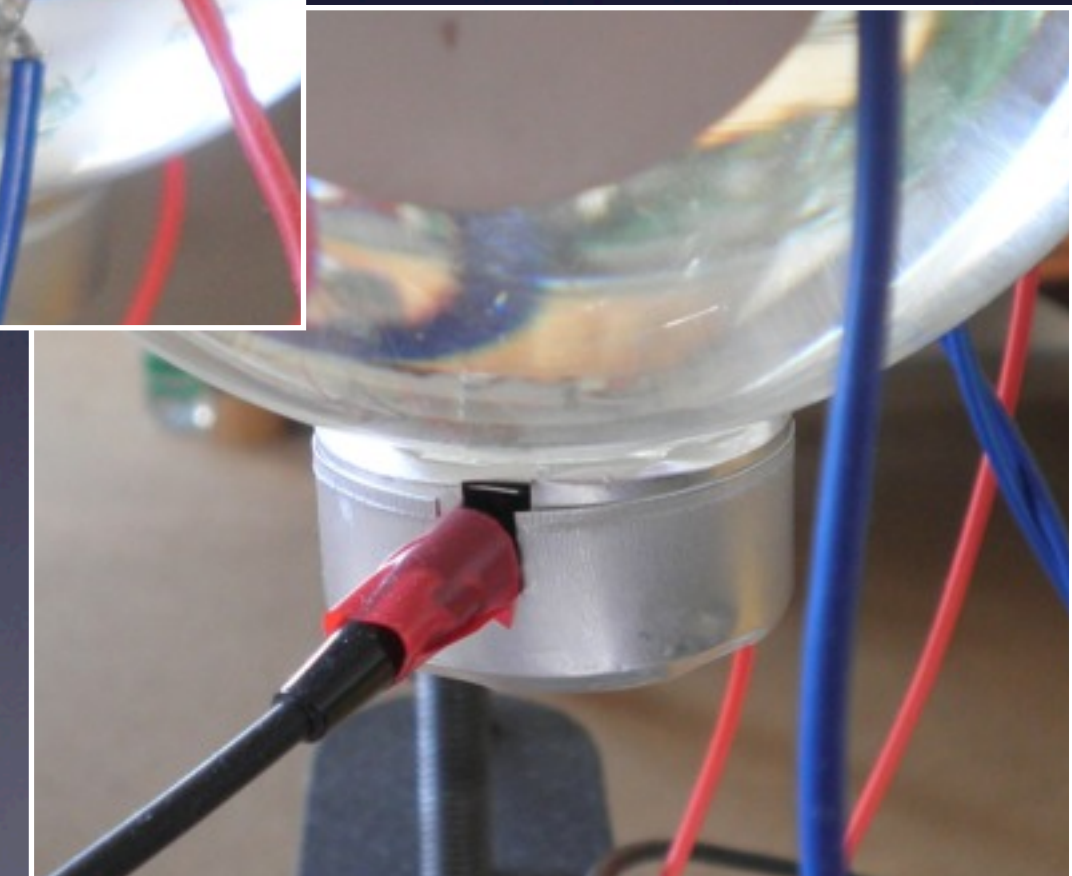
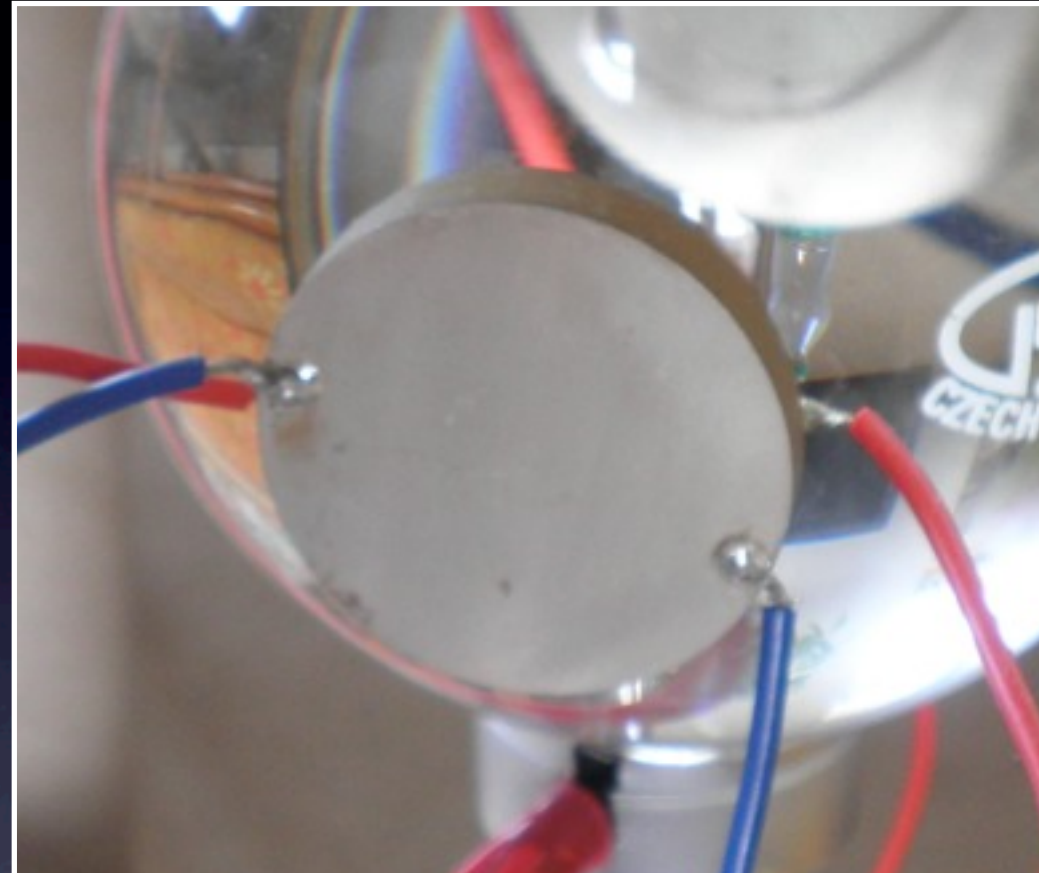
# Schéma zapojení experimentu

- Komponenty
  - 500 ml kulová baňka
  - měniče, piezokrystaly
  - mikrofon, piezokrystal
  - SW sinus generátor
  - zesilovač signálu do auta
    - HiFi, 12V, 360W
  - cívka s měnitelnou indukčností
    - posuvné jádro cívky
  - osciloskop Rigol DS1102
    - 100MHz



# Schéma zapojení experimentu

- Komponenty
  - 500 ml kulová baňka
  - měniče, piezokrystaly
  - mikrofon, piezokrystal
  - SW sinus generátor
  - zesilovač signálu do auta
    - HiFi, 12V, 360W
  - cívka s měnitelnou indukčností
    - posuvné jádro cívky
  - osciloskop Rigol DS1102
    - 100MHz



# Schéma zapojení experimentu

- Komponenty

- 500 ml kulová baňka

- měniče, piezokrystaly

- mikrofon, piezokrystal

- SW sinus generátor

- zesilovač signálu do auta

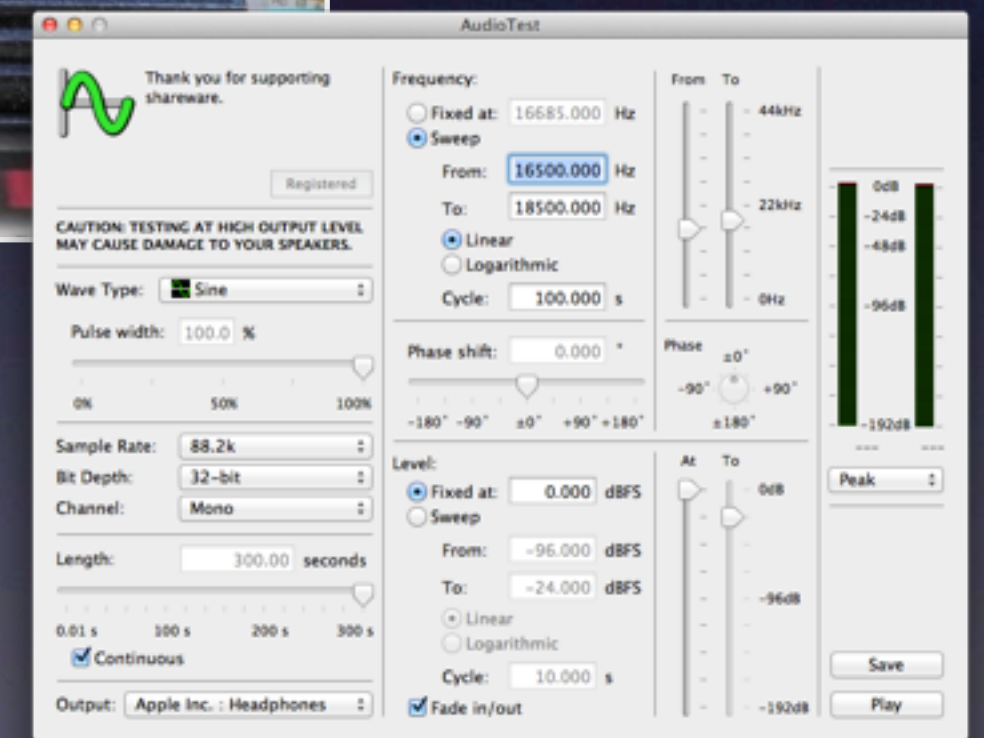
- HiFi, 12V, 360W

- cívka s měnitelnou indukčností

- posuvné jádro cívky

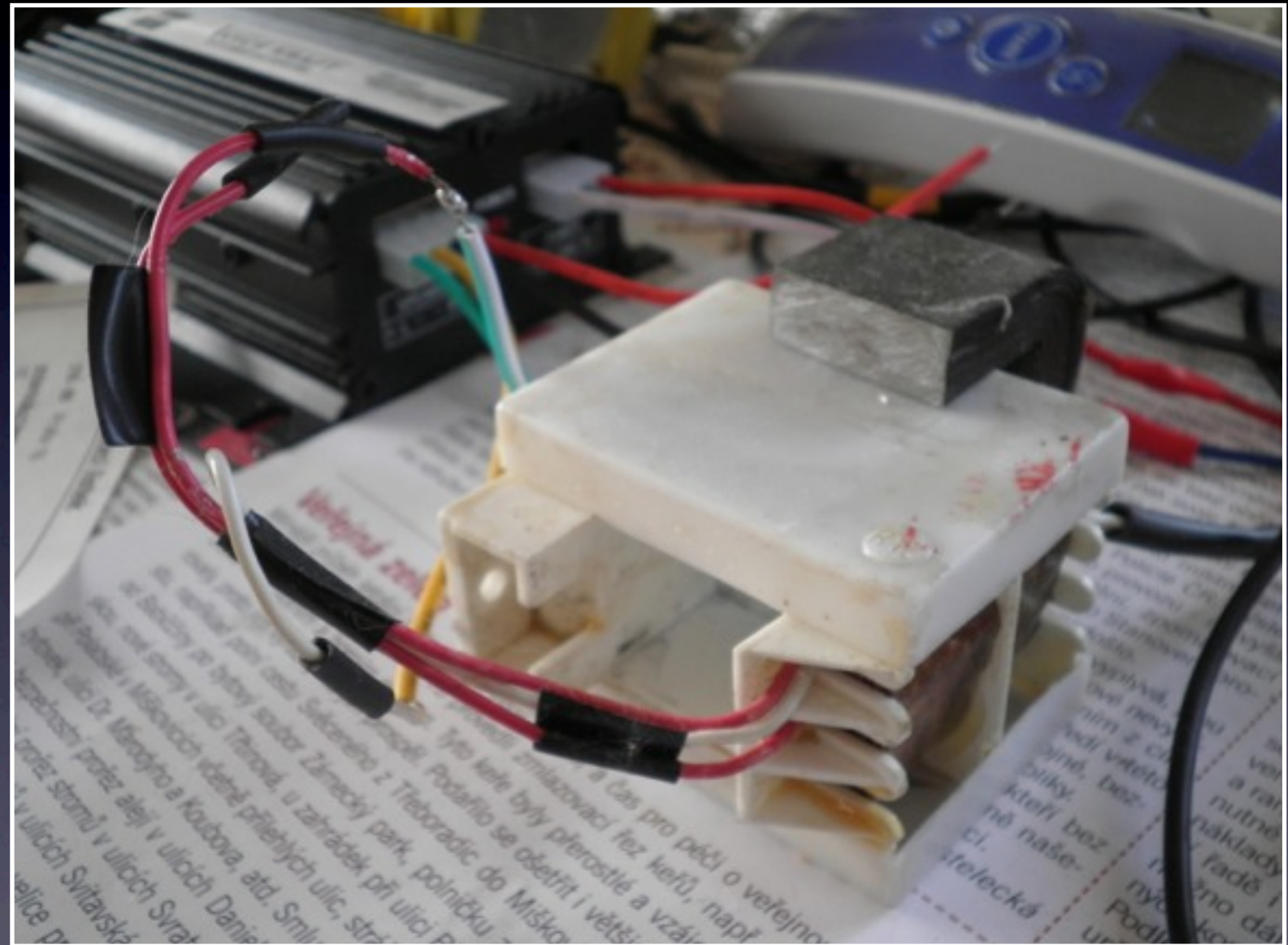
- osciloskop Rigol DS1102

- 100MHz



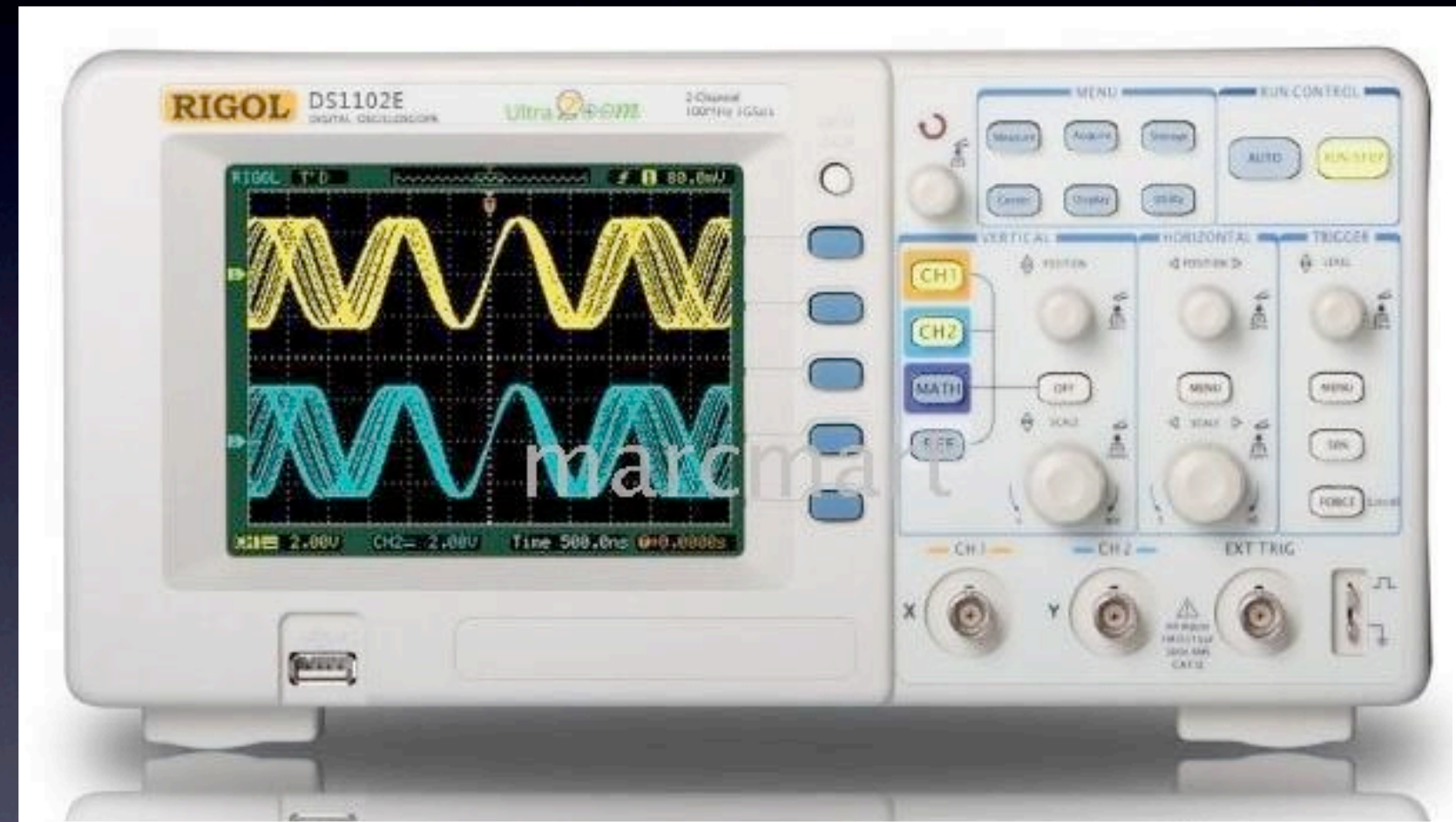
# Schéma zapojení experimentu

- Komponenty
  - 500 ml kulová baňka
  - měniče, piezokrystaly
  - mikrofon, piezokrystal
  - SW sinus generátor
  - zesilovač signálu do auta
    - HiFi, 12V, 360W
  - cívka s měnitelnou indukčností
    - posuvné jádro cívky
  - osciloskop Rigol DS1102
    - 100MHz



# Schéma zapojení experimentu

- Komponenty
  - 500 ml kulová baňka
  - měniče, piezokrystaly
  - mikrofon, piezokrystal
  - SW sinus generátor
  - zesilovač signálu do auta
    - HiFi, 12V, 360W
  - cívka s měnitelnou indukčností
    - posuvné jádro cívky
  - osciloskop Rigol DS1102
    - 100MHz

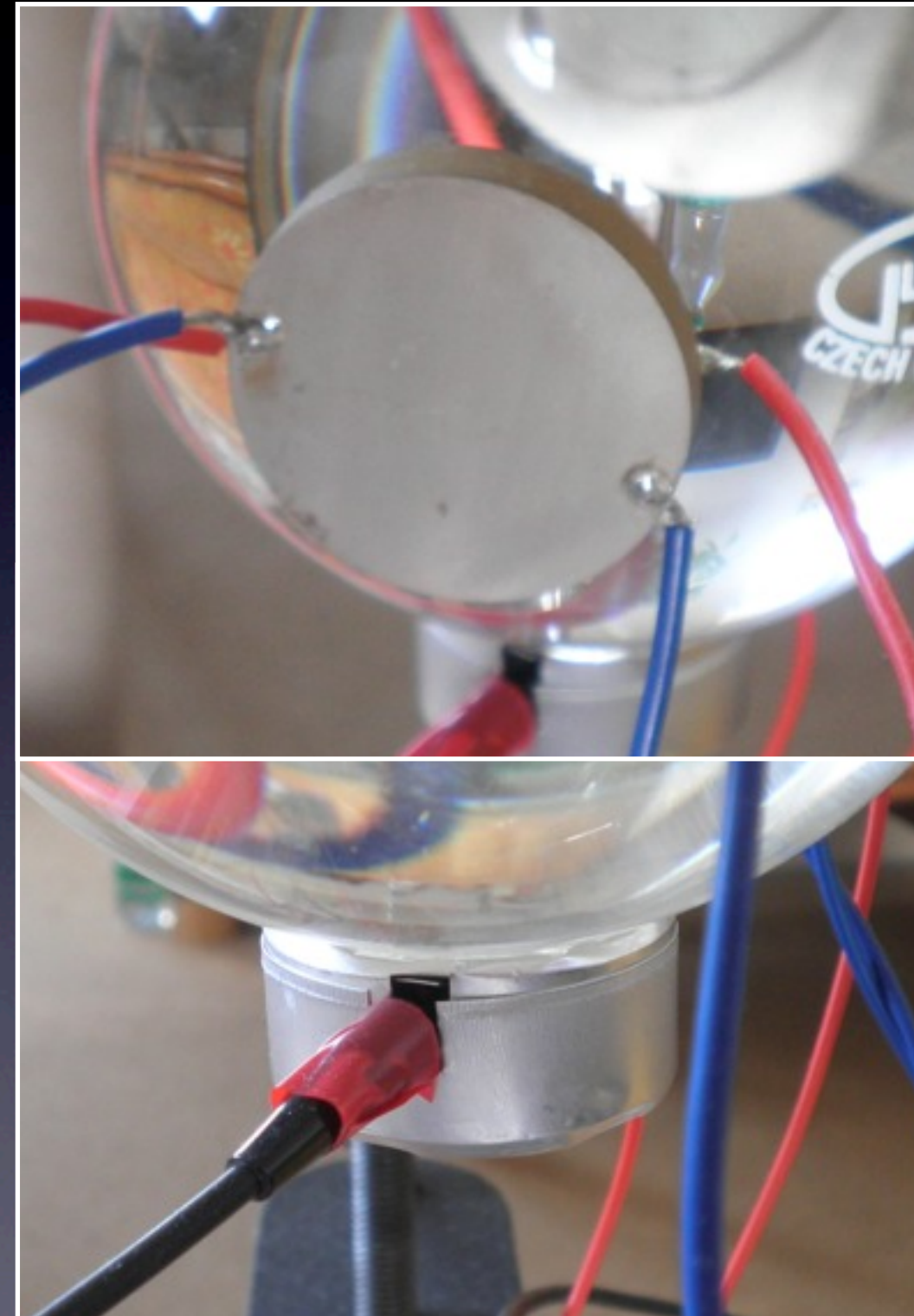




# Experiment

# Stavba zařízení

- Zapojení měničů a mikrofonu
  - letování nízkoteplotní (!) pájkou



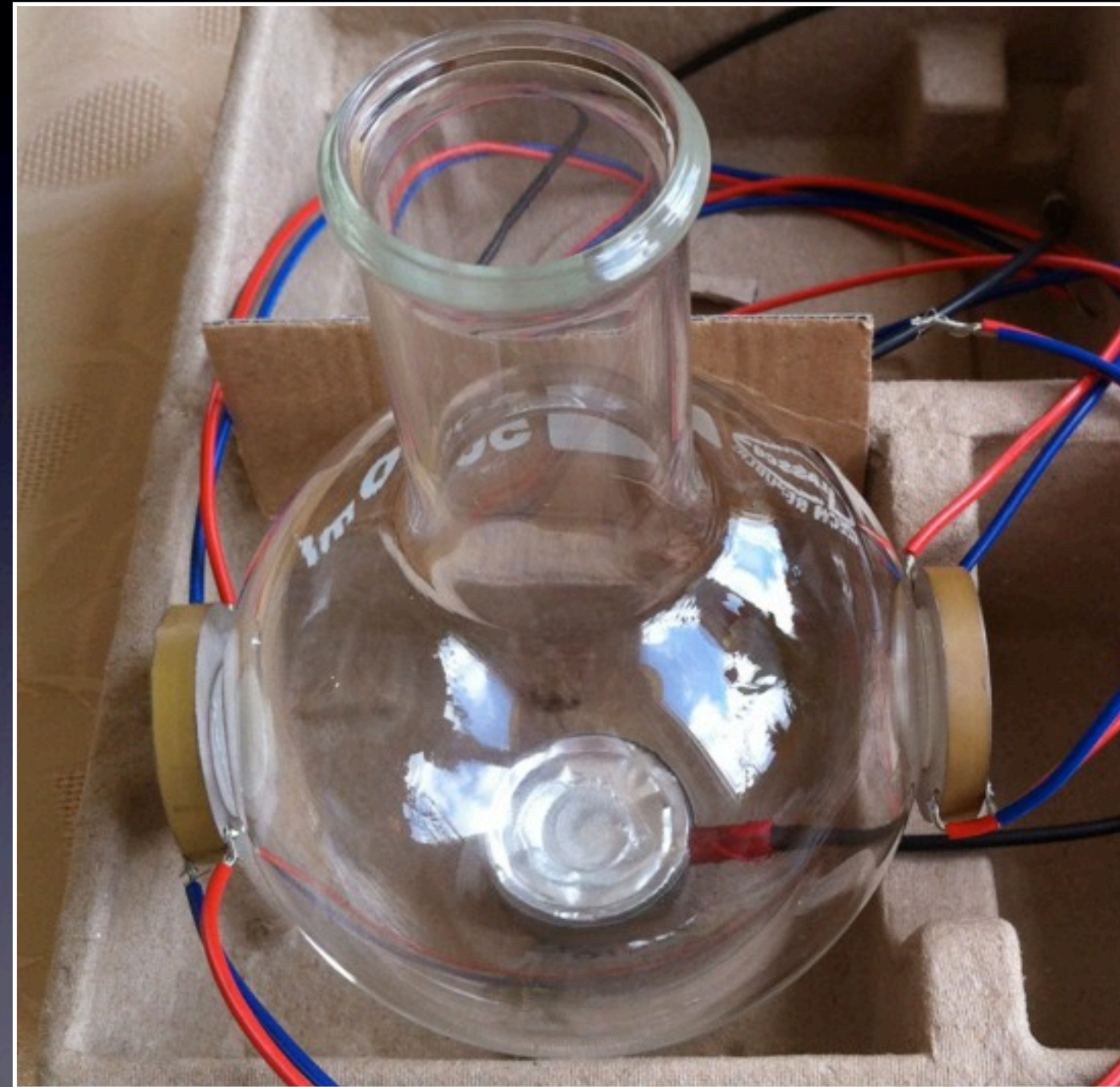
# Stavba zařízení

- Zapojení měničů a mikrofonu
  - letování nízkoteplotní (!) pájkou
- Lepení měničů a mikrofonu
  - dvousložkový epoxid
  - dostatečná pružnost při přenosu zvuku
  - problém s přesným umístěním piezokrystalů 180° proti sobě
  - řešení: fixace v krabici



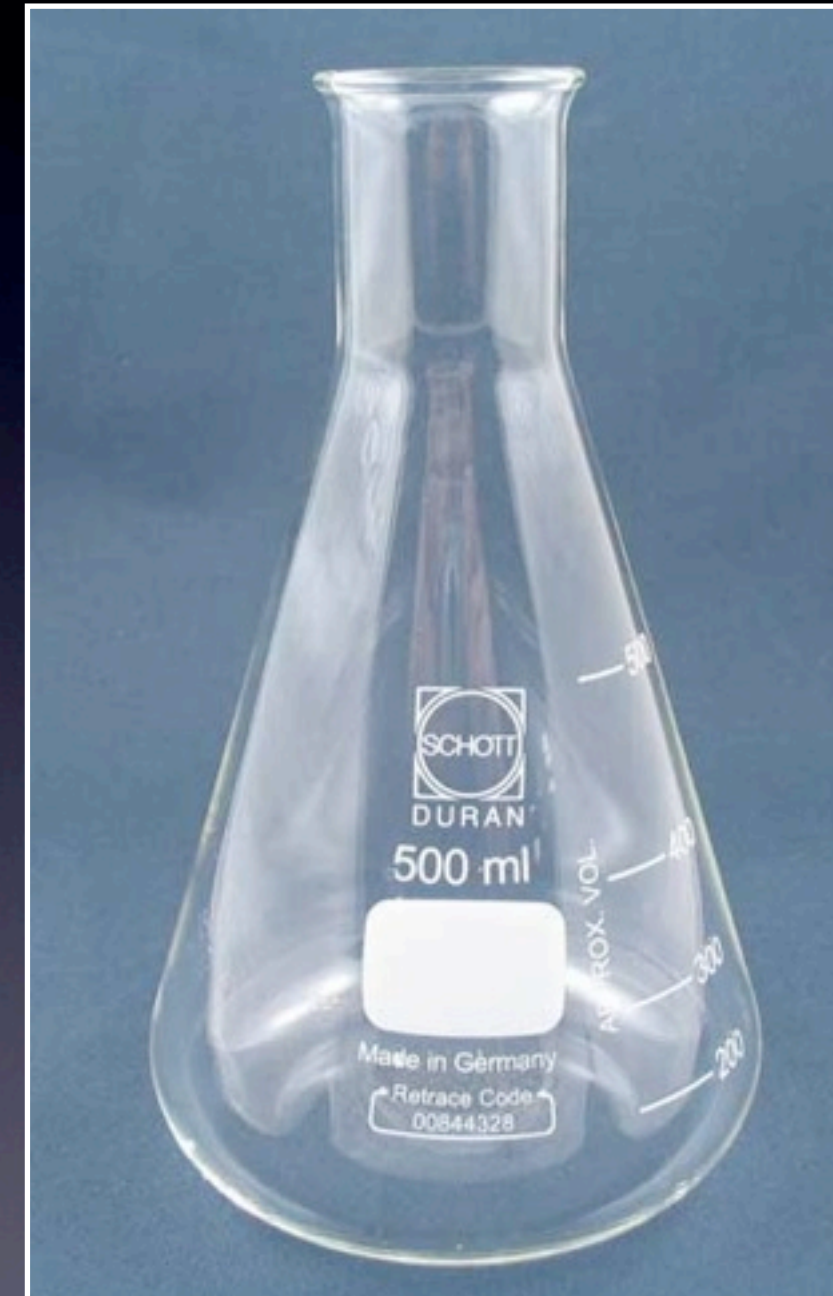
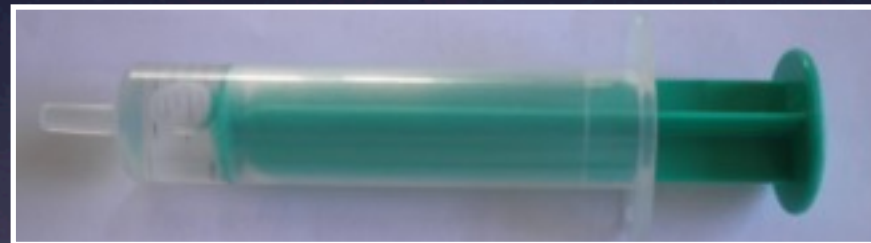
# Stavba zařízení

- Zapojení měničů a mikrofonu
  - letování nízkoteplotní (!) pájkou
- Lepení měničů a mikrofonu
  - dvousložkový epoxid
  - dostatečná pružnost při přenosu zvuku
  - problém s přesným umístěním piezokrystalů 180° proti sobě
  - řešení: fixace v krabici



# Mechanismus zavedení bublinky

- Příprava vody
  - odplynění vody (Erlenmayerova baňka)
  - vychladnutí (vytvoří se vlastní vakuum)
- Teplota vody
  - 10° až 23°
- Pipeta / stříkačka
- Rezonance závislá na teplotě prostředí

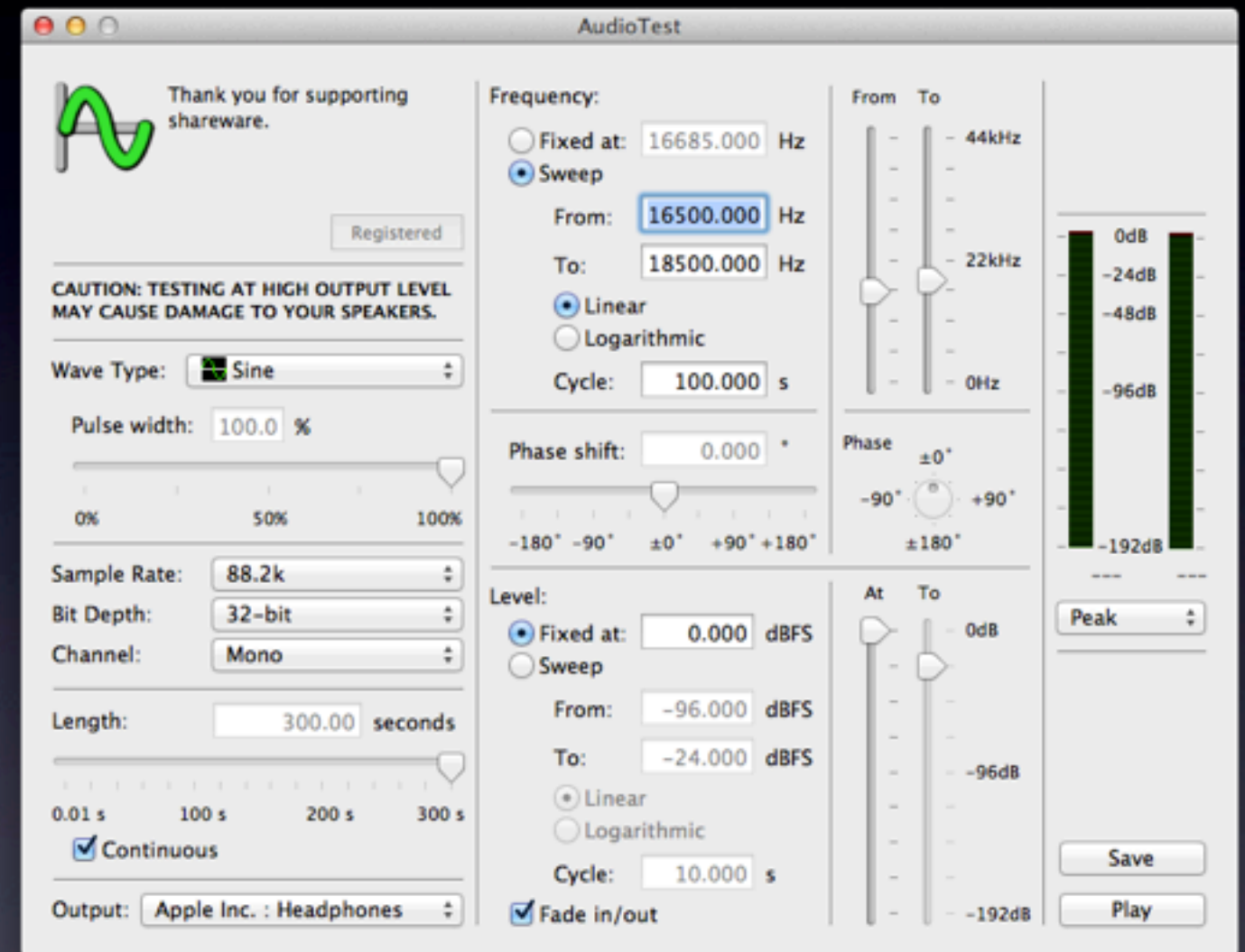


# Kdy to funguje a kdy ne

- Špatná teplota vody
- Špatné odplynění vody
  - příliš vysoký tlak par = brzdí implozi
  - bublinka tancuje a je nestabilní
- Příliš vysoký výkon
  - příliš silná kavitace = bublinka zkolabuje
  - praskání

# Nastavení a ladění bublinky

- Rezonance baňky
- Chycení bublinky
  - nesmí “tancovat”
  - nesmí zkolabovat
- Úprava frekvence podle aktuálních podmínek
  - sweep frekvence



# Výstup z osciloskopu

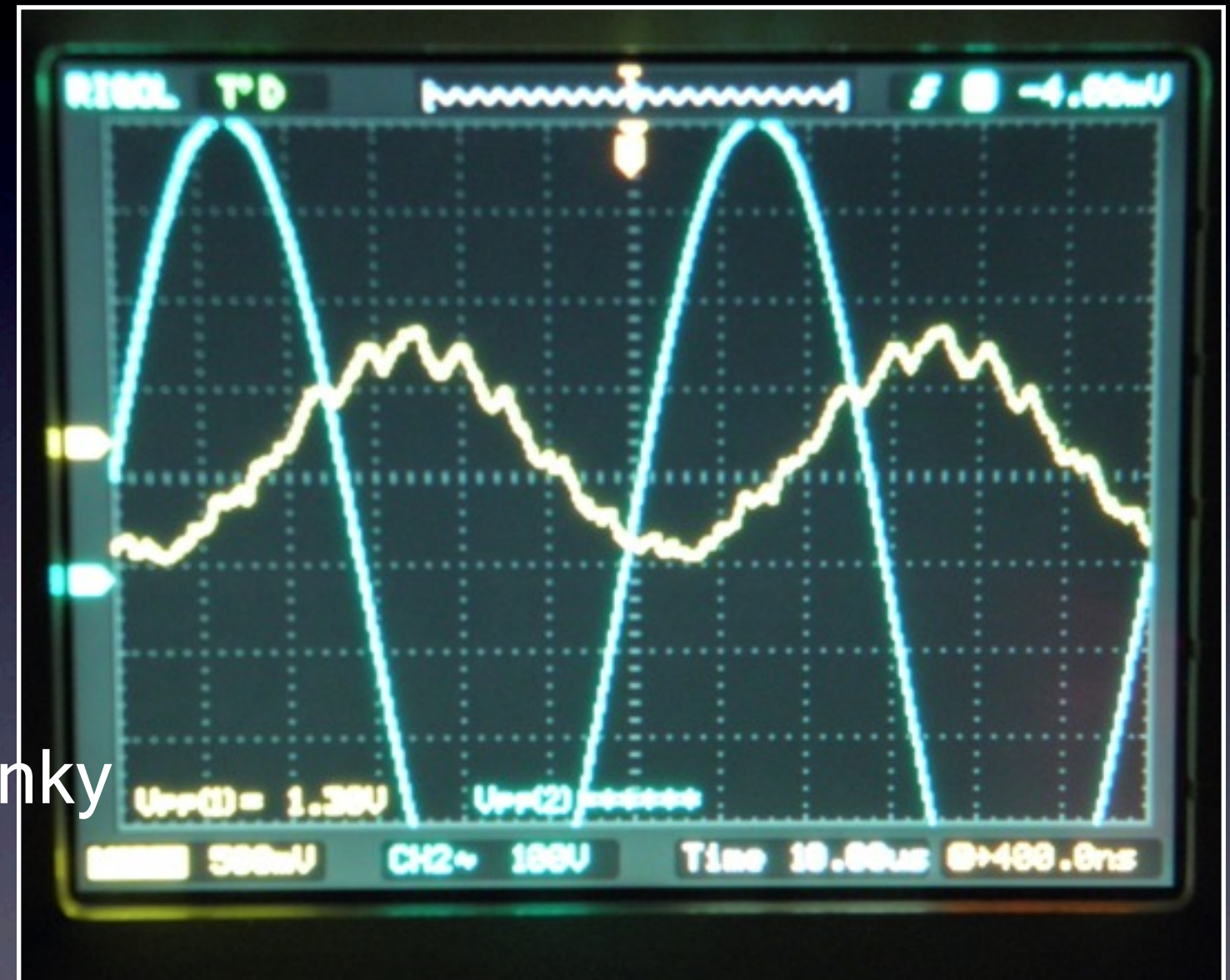
- Správné napětí na výstupu
  - zobrazí sílu kavitace pro dané podmínky
- Maxima sinusovek





# Výstup z osciloskopu

- Správné napětí na výstupu
  - zobrazí sílu kavitace pro dané podmínky
- Maxima sinusovek
- Narušení sinusovky = kavitace
- Stabilní narušení = chycení bublinky



# Fotografie bublinky

- Fotografie



# Fotografie bublinky

- Fotografie

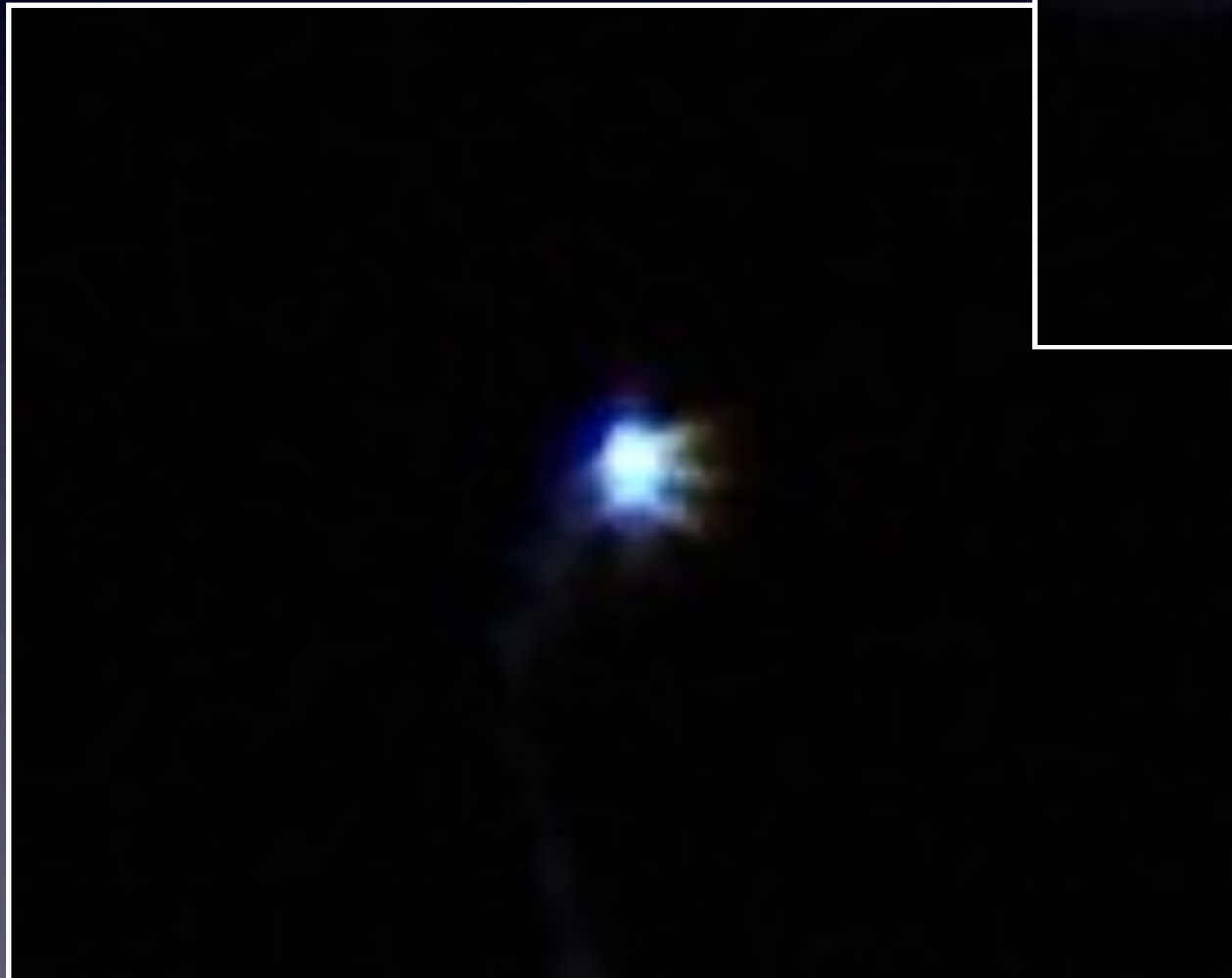


# Fotografie bublinky

- Fotografie  
- přiblížení

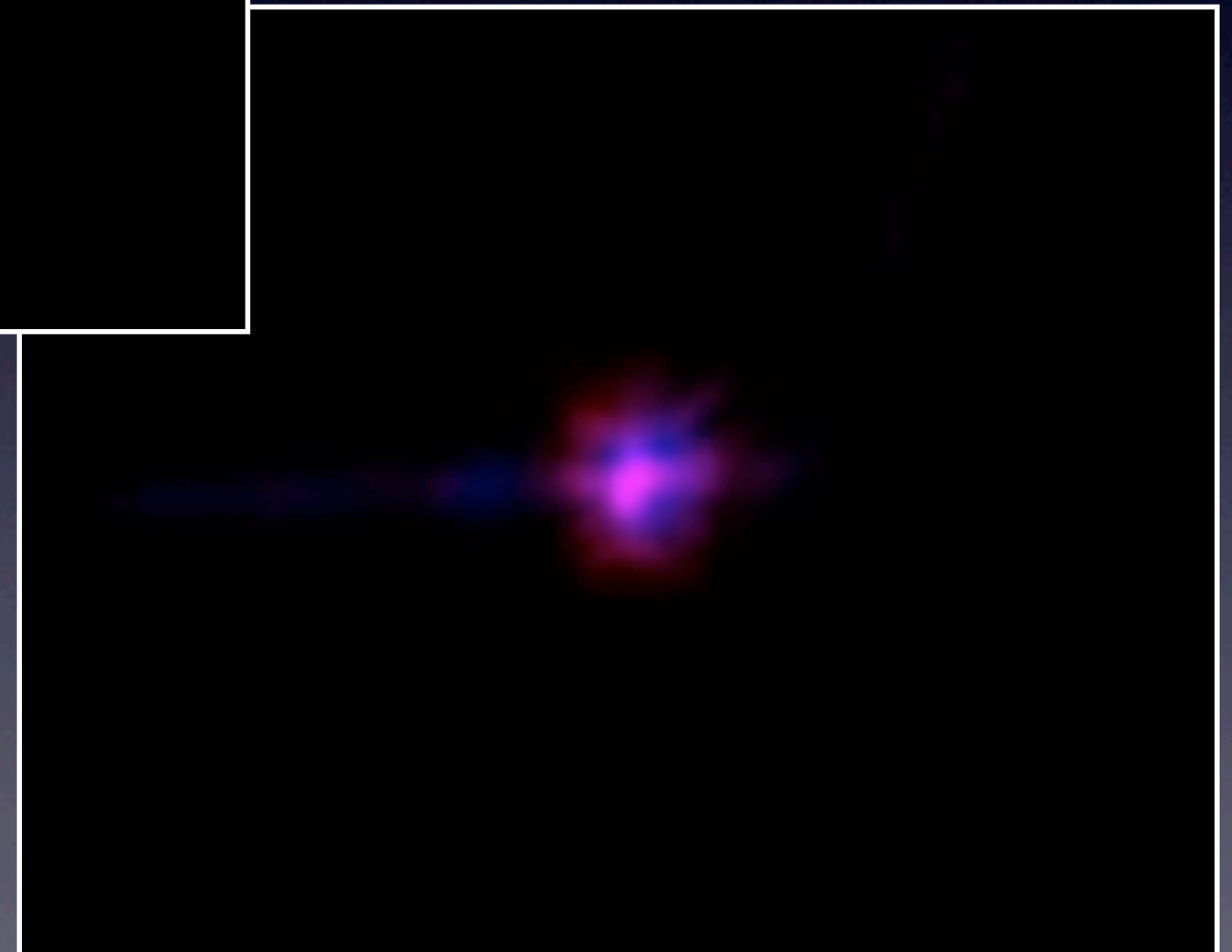
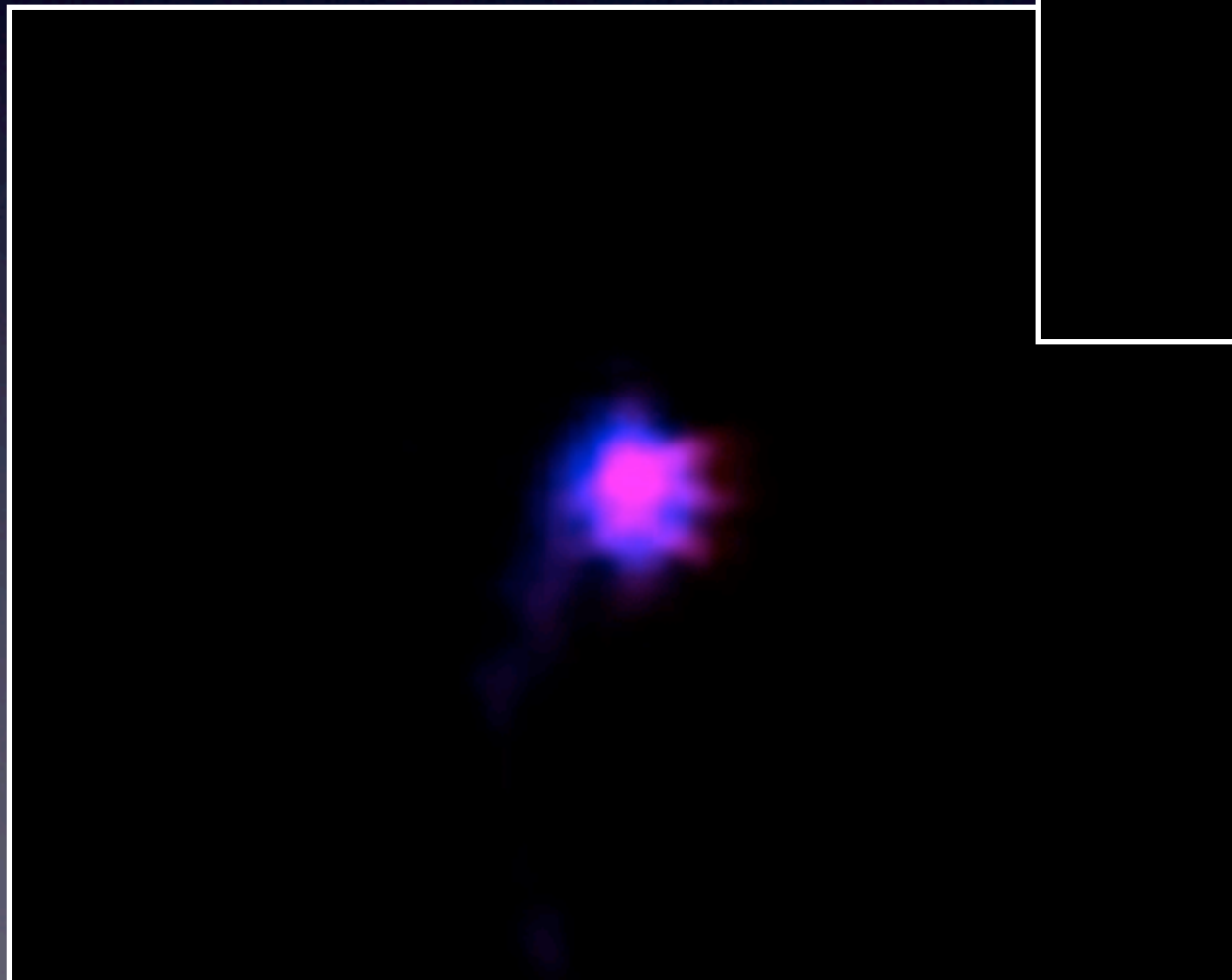
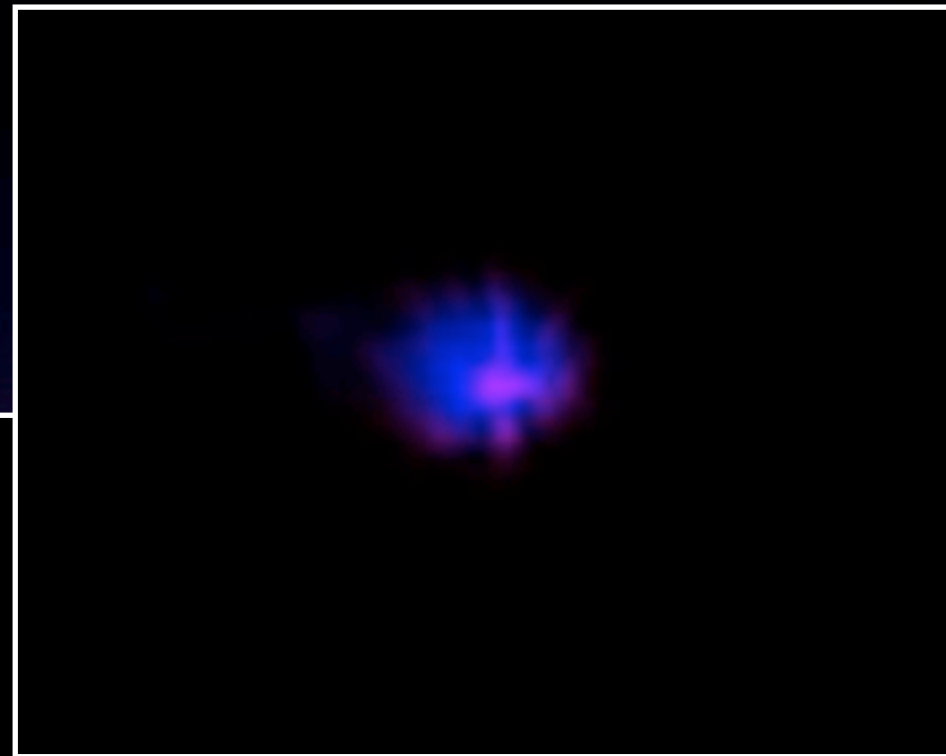


expozice 4s



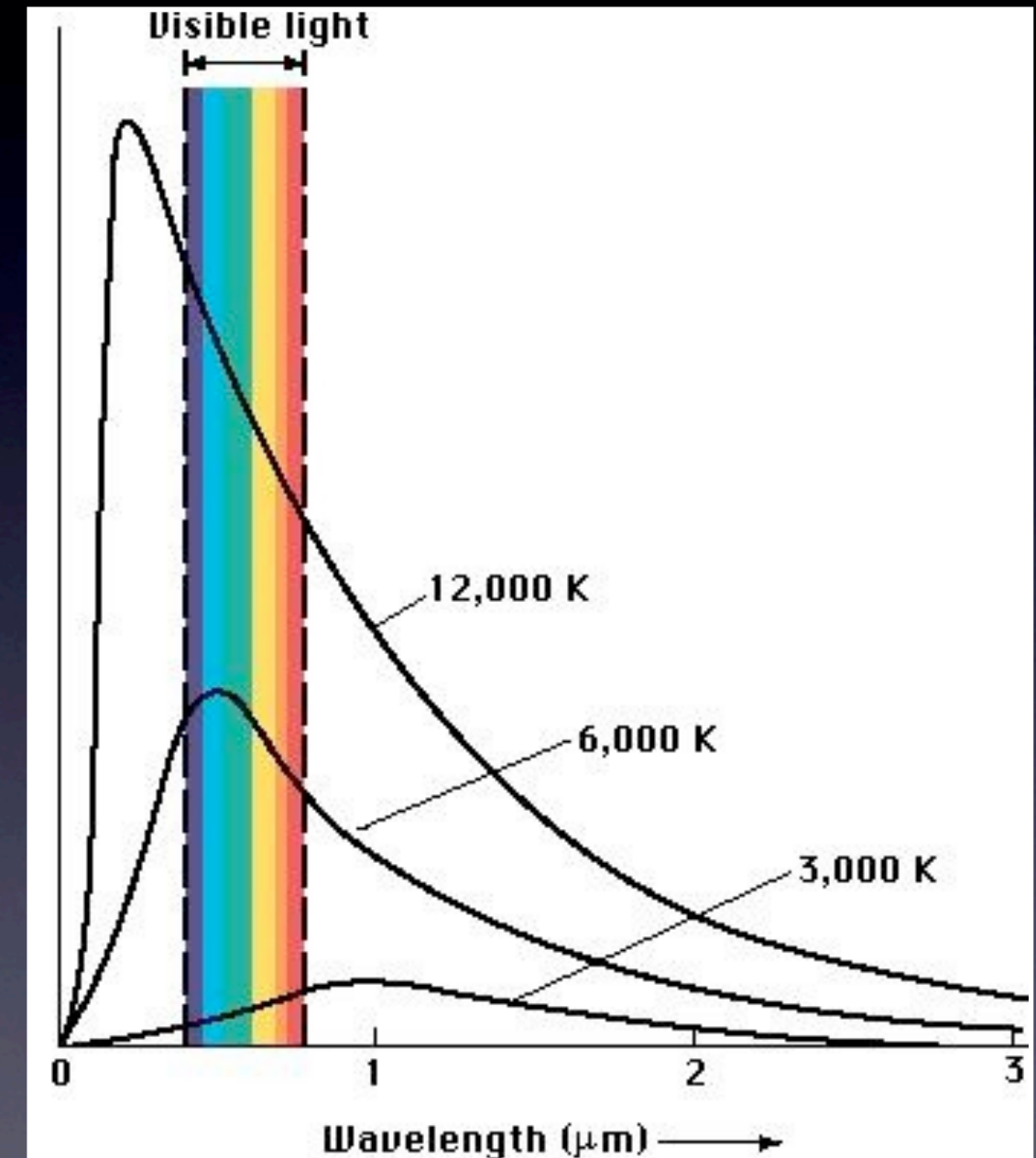
# Fotografie bublinky

- Fotografie
  - úprava spektra
  - poměr RB



# Odhad teploty bublinky

- porovnání intenzity světla v modrém a červeném pásmu
- přibližný odhad: 6000 - 21 000 K
- odhad průměrné teploty:  $10880 \text{ K} \pm 2000\text{K}$



# Předvedení experimentu a ukázka na osciloskopu

**16.5 kHz**  
**!WARNING!**

# Další výzkum

- Použití dalších možností
  - D<sub>2</sub>O
  - glycerin
  - vzácné plyny
  - magnetické pole
- Zpřesnění měření teploty
- Měření velikosti: MIE scattering
  - rozptyl laseru





KONEC