



# Fusione indotta da cavitazione: esiste?

**D.Madonna-Ripa - I.N.R.i.M. Torino**

attività di R&D sul fenomeno di sono-fusione, ovvero indagine sull'esistenza o meno di tale fenomeno in natura

Primi passi del progetto **SAFE**

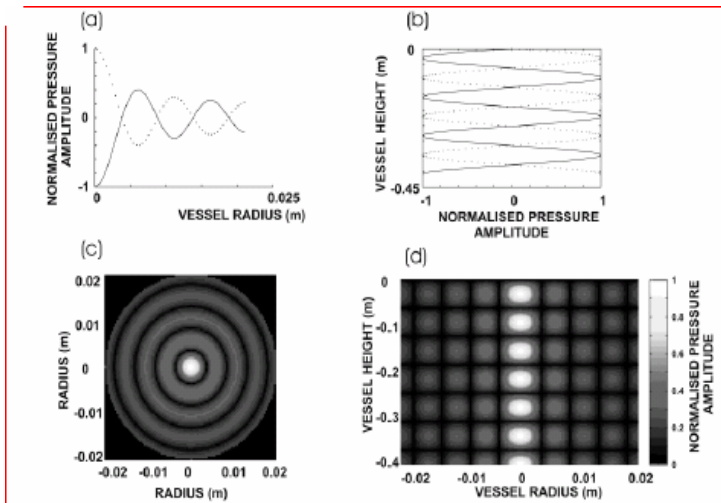
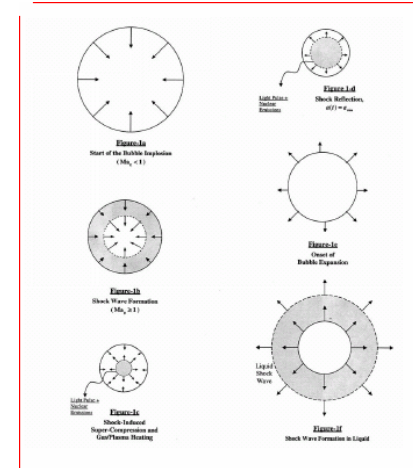
**S**earch for **A**coustically-induced  
nuclear **F**usion on **E**arth

# La sonofusione



Lo scopo dell'esperimento e' raggiungere all'interno di un liquido deuterato le condizioni di alte T,P e  $\rho$  tali da rendere possibili reazioni di fusione TERMO-nucleare  $D+D \rightarrow {}^3\text{He}+n$  e  $D+D \rightarrow T+p$ .

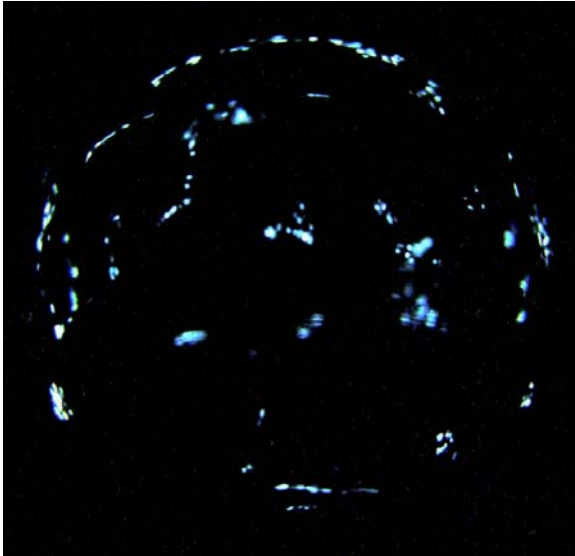
Queste condizioni potrebbero essere realizzate durante il collasso di bolle di vapore in un liquido sottoposto a pressioni negative



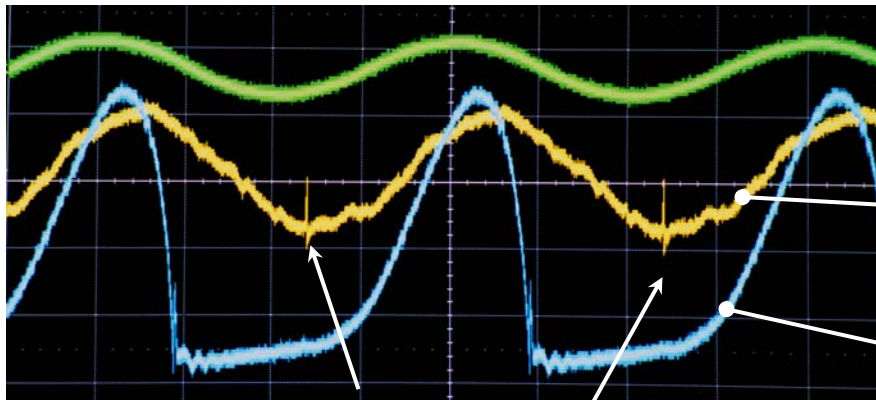
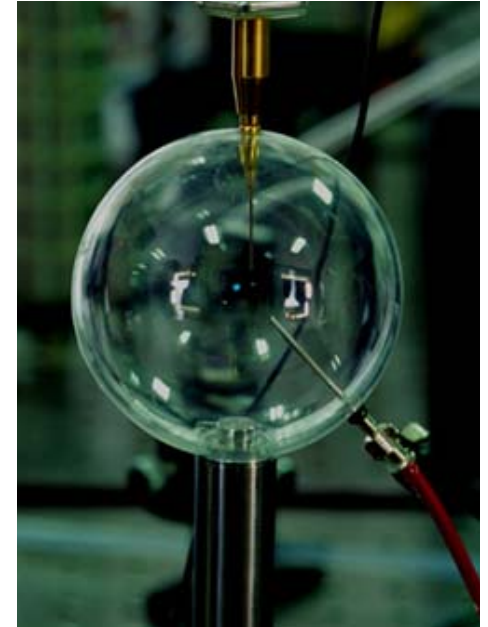
**Come:** onda acustica stazionaria a  $f=10-50\text{kHz}$  in un contenitore di forma opportuna  
 → confinamento delle bolle gassose e guadagno di intensità grazie al comportamento risonante

L'idea e' analoga a quella della fusione mediante confinamento inerziale, ove però si usa la pressione di radiazione e.m.

# Il punto di partenza: Cavitazione e Sonoluminescenza



La luminescenza da cavitazione è associata all'attività implosiva di *cluster* di bolle (a sinistra) o ad una singola bolla intrappolata da un campo acustico stazionario (a destra). La configurazione *Single bubble* presenta una notevole stabilità e ripetibilità del fenomeno emissivo.



*Pressione  
acustica*

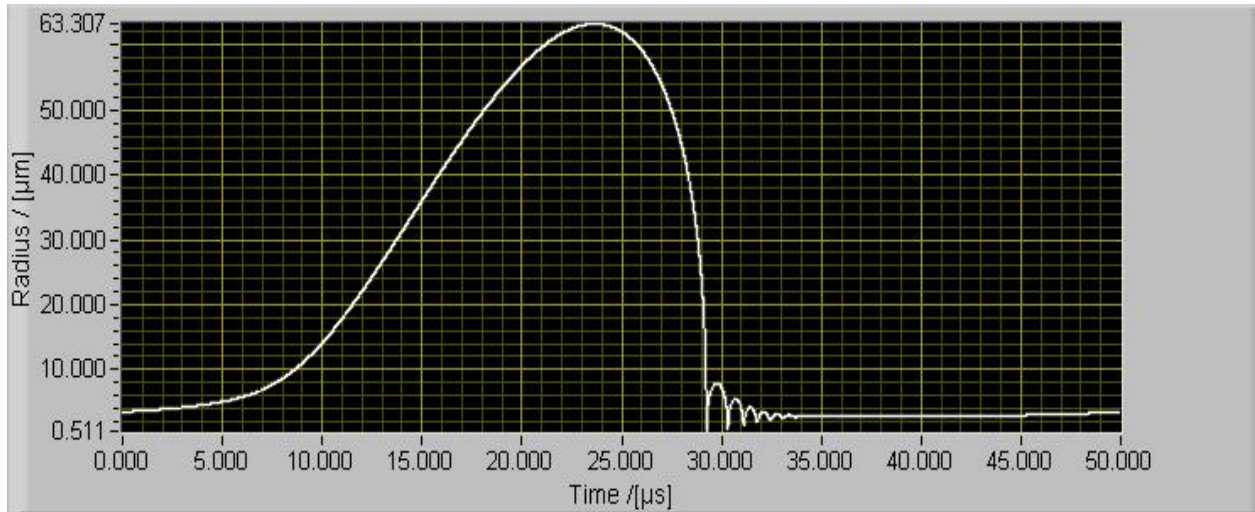
*Sezione  
della Bolla*

*Shock prodotto  
dall'implosione*

onda di pressione:  
 $T \sim 50 \mu s$

emissione di luce:  
 $\Delta t < 100 ps$

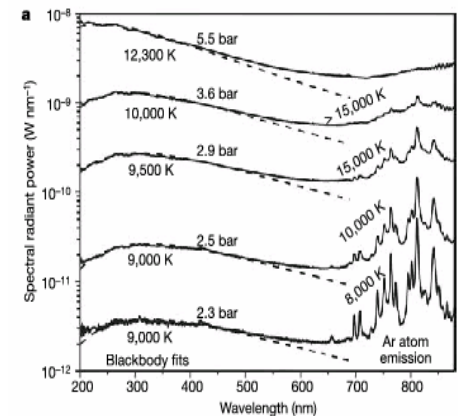
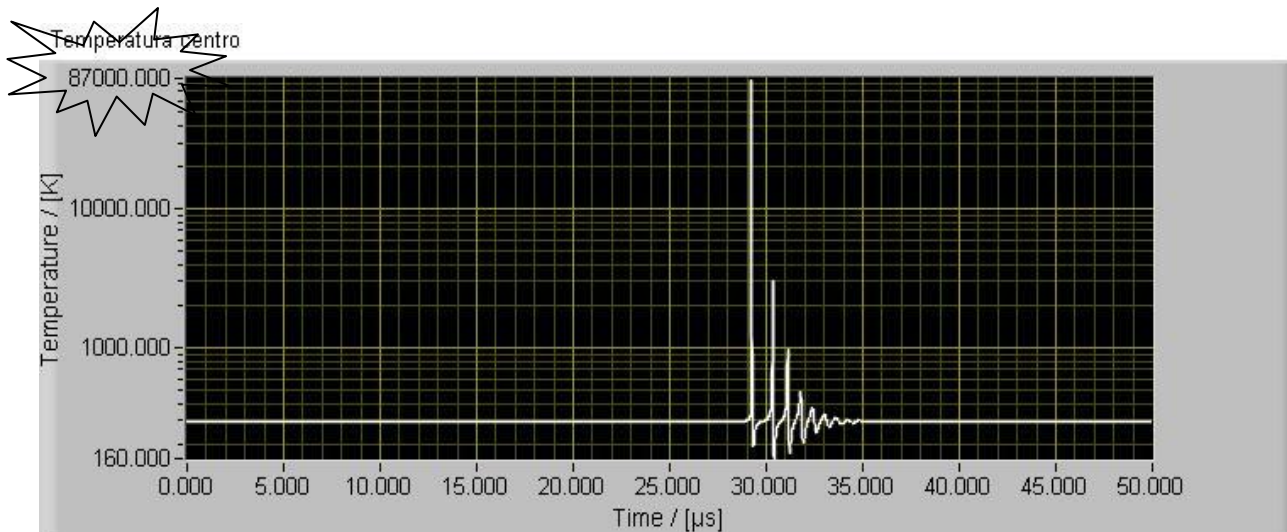
# Causa: formazione di gas ionizzato



Simulazione: bolla di Ar in H<sub>2</sub>O

Pressione acustica :  
0.14 MPa

Raggio equilibrio:  
3.5 μm



# Dalla sonoluminescenza alla sonofusione



## Evidence for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation

R. P. Taleyarkhan,<sup>1\*</sup> C. D. West,<sup>1†</sup> J. S. Cho,<sup>2</sup> R. T. Lahey Jr.,<sup>3</sup>  
R. I. Nigmatulin,<sup>4</sup> R. C. Block<sup>3‡</sup>

In cavitation experiments with deuterated acetone, tritium decay activity above background levels was detected. In addition, evidence for neutron emission near 2.5 million electron volts was also observed, as would be expected for deuterium-deuterium fusion. Control experiments with normal acetone did not result in tritium activity or neutron emissions. Hydrodynamic shock code simulations supported the observed data and indicated highly compressed, hot ( $10^6$  to  $10^7$  kelvin) bubble implosion conditions, as required for nuclear fusion reactions.

The intense implosive collapse of gas or vapor bubbles, including acoustically forced cavitation bubbles, can lead to ultrahigh compressions and temperatures and to the generation of light flashes attributed to sonoluminescence (SL) (1-21). Our aim was to study ultrahigh compression and temperatures in bubbles nucleated by means of fast neutrons, whereby bubble nucleation centers with an initial radius  $R_0$

increases in the peak temperatures within the imploding bubbles, possibly leading to fusion and detectable levels of nuclear particle emissions in suitable fluids.

To minimize the effect of gas cushioning by promoting rapid condensation during implosive collapse, we elected to work with highly degassed organic liquids. An organic liquid was chosen [normal acetone

L'idea non è nuova: nel maggio 1978 H. Flynn presenta una domanda di brevetto per vari tipi di reattori a fusione per cavitazione; il brevetto viene accettato solo nel 1982

Taleyarkan et al., Science (2002), PRE(2004)→Oak Ridge

Xu and Butt, Nucl.Eng.Des.(2005)→Purdue

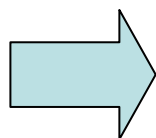
Taleyarkan et al., PRL 96,034301 (2006)

+ un risultato presentato da un altro gruppo alla American Nuclear Society 2006 non ancora pubblicato



# Puntualizzazione ...

Trattasi di fusione "calda", termonucleare, con  $\tau \sim 10\text{ps}$  e  $\Delta x \sim 10\text{nm}$ ,  
sebbene avvenga in un bicchiere d'acqua,



trattasi di fisica nota; NON e' necessario fare ricorso  
a "new physics" per spiegare il fenomeno a livello di  
fisica nucleare

Si tratta in effetti di un problema *tecnologico*:

*"è possibile comprimere una bolla contenente deuterio fino ad  
indurre eventi di fusione nucleare?"*

# Dalla sonoluminescenza alla sonofusione

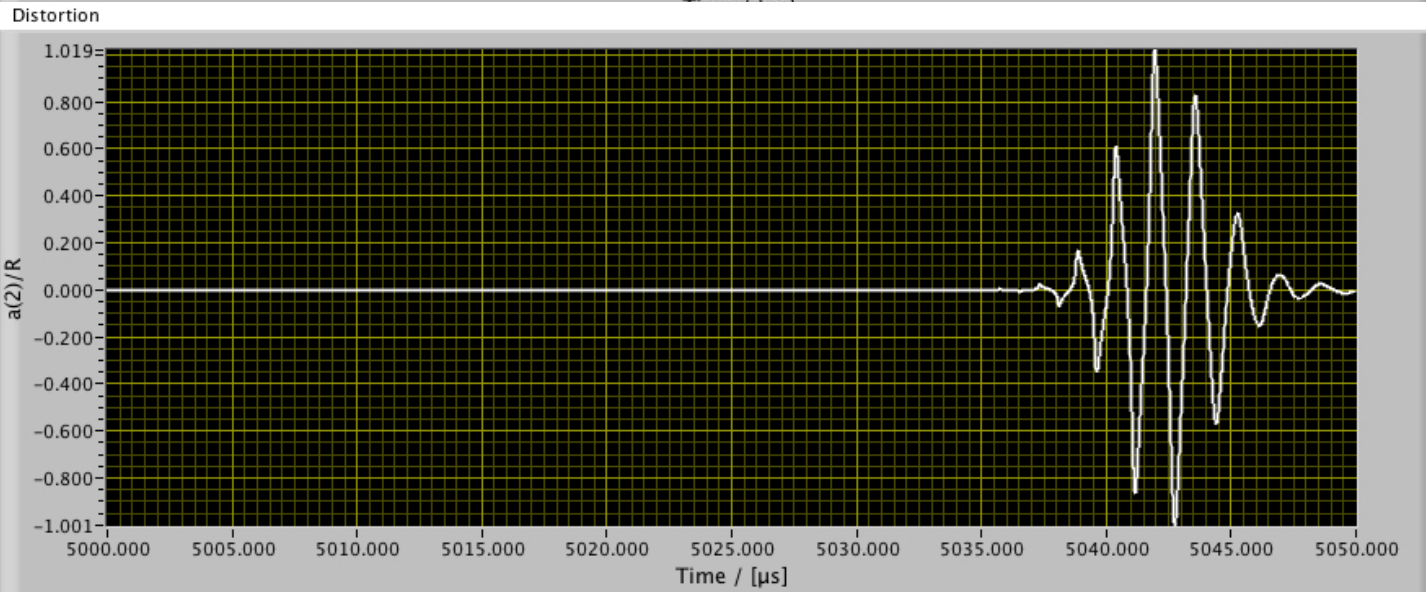
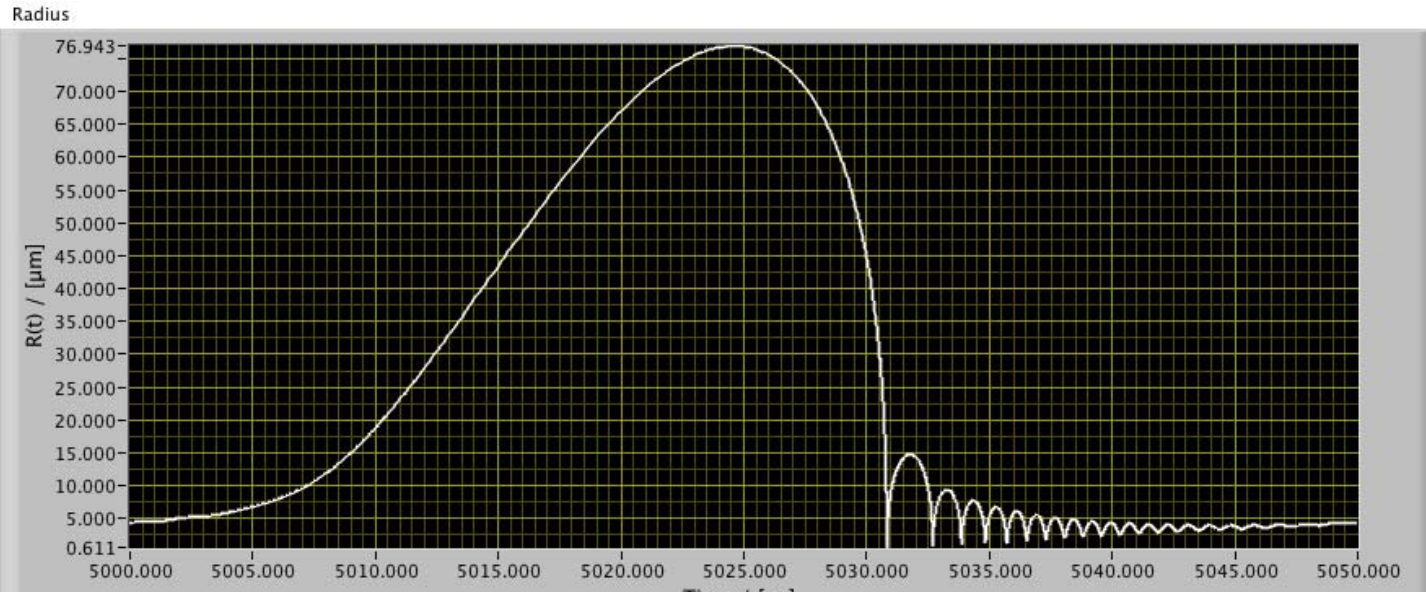


- pressioni acustiche molto alte (1.5 MPa a 20 kHz)
- liquidi con alta "tensile strength" e altamente degasati
- idrocarburi deuterati a bassa temperatura ( $\sim 0^\circ\text{C}$ )
- da bolla singola (SBSL) a cluster ( $\sim 15$ ) di bolle

NB: con  $\text{D}_2\text{O}$  e/o con laser NON funziona e la teoria spiega perché

Cavitation	Sonoluminescence
Gaseous	Multi-bubble
Stable	Single-bubble (or few bubbles)
Transient	Transient single bubble

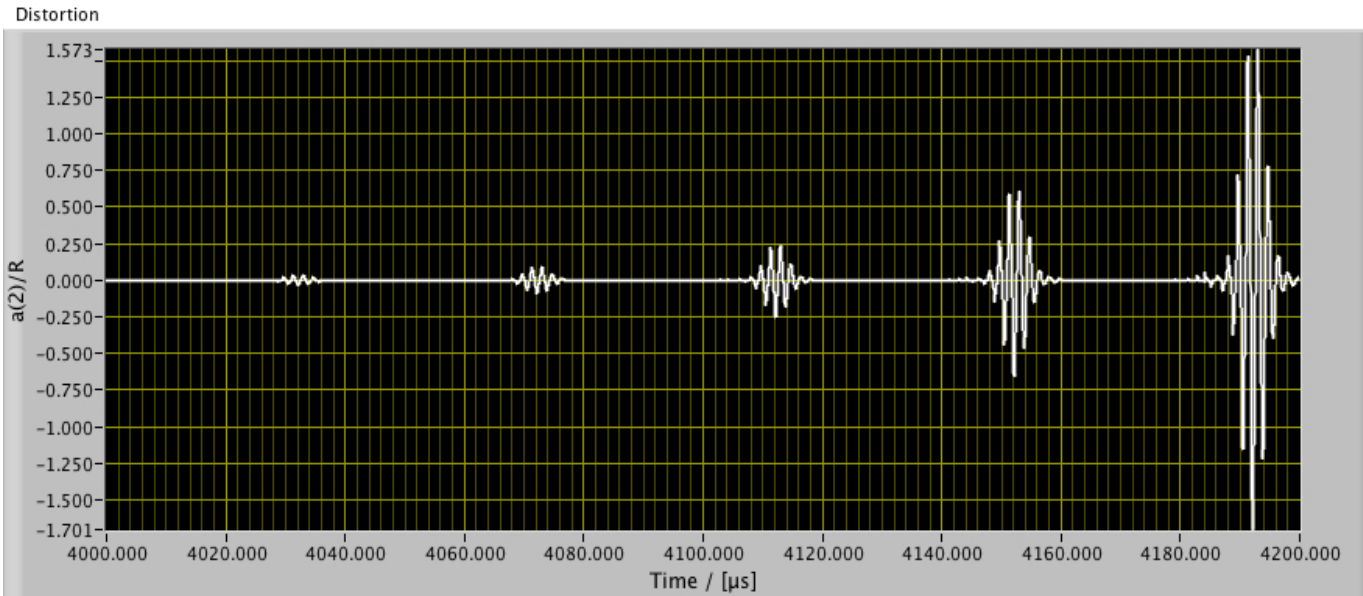
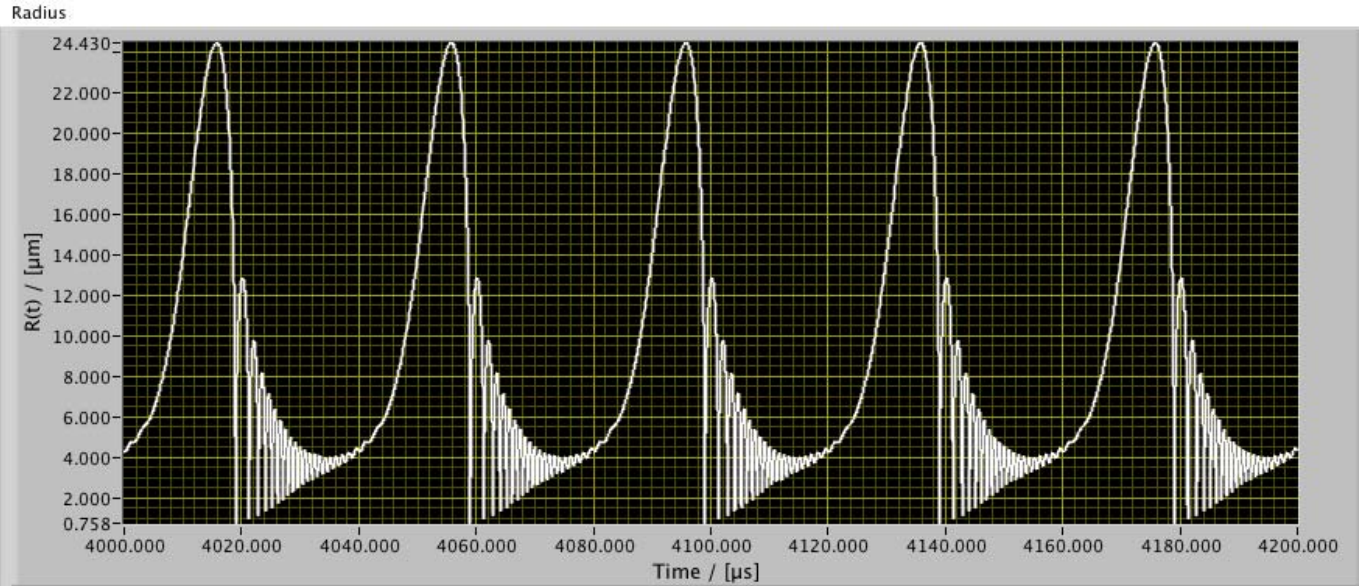
# Problema da aggirare: l'instabilità di forma



"Afterbounce"  
instability

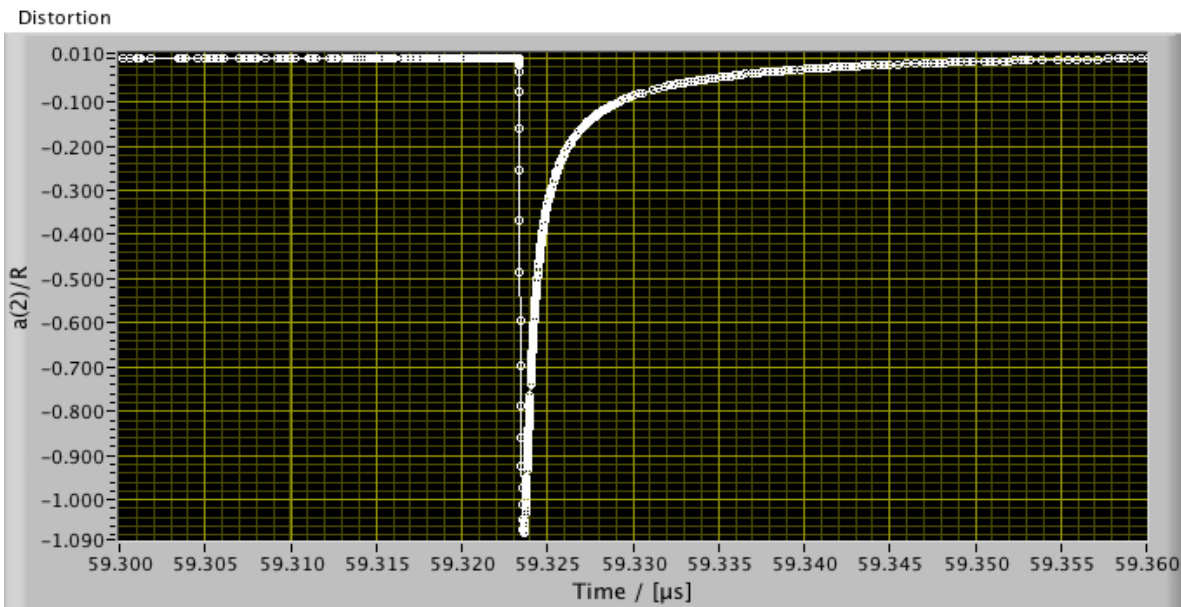
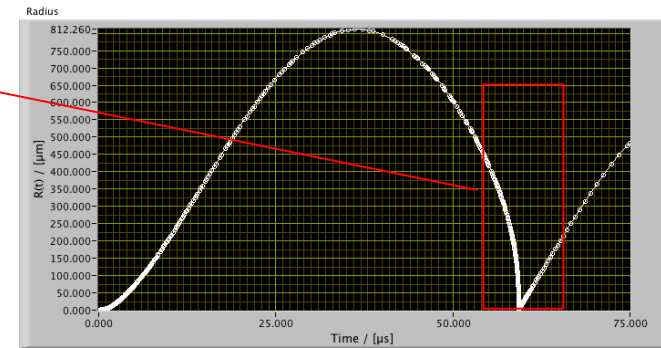
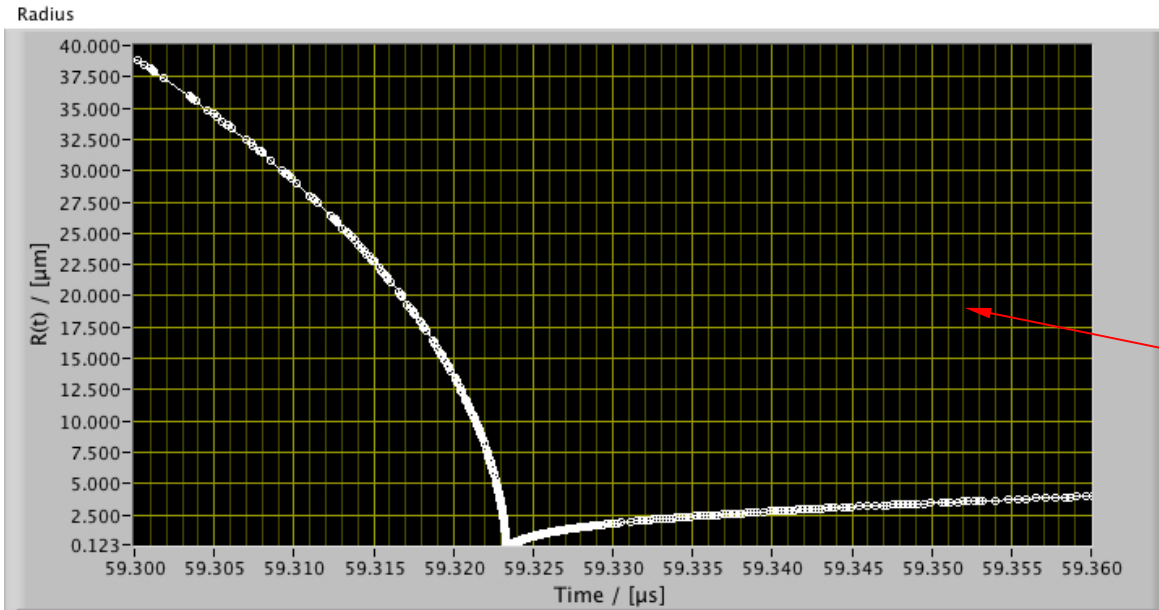


# Problema da aggirare: l'instabilità di forma



Parametric  
instability

# Problema da aggirare: l'instabilità di forma



Rayleigh-Taylor  
instability



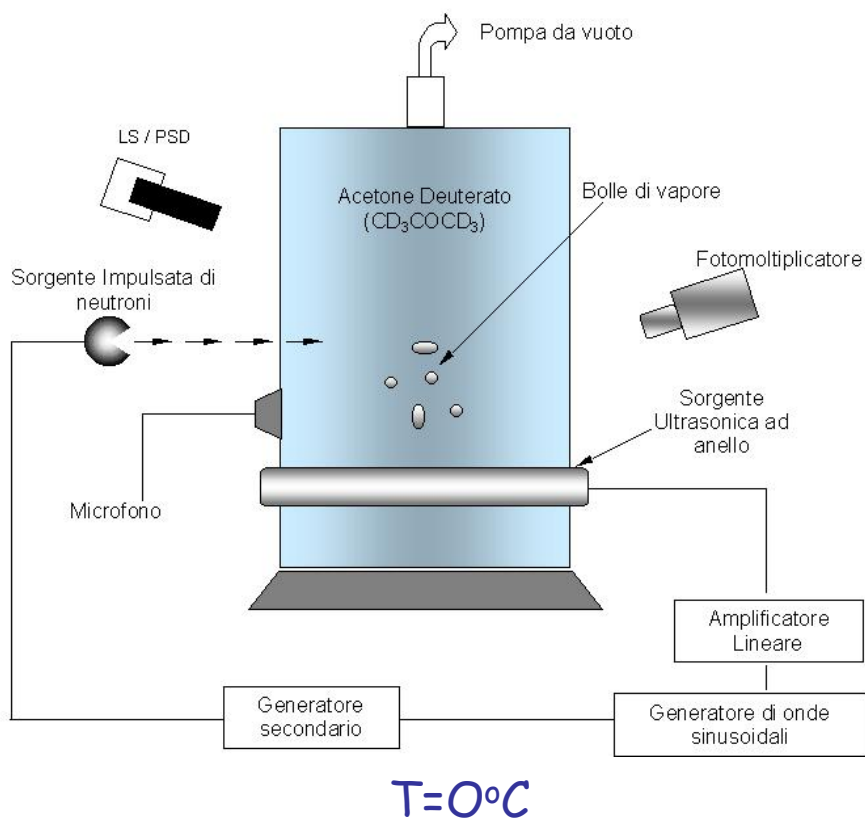
# Come realizzare l'*upscaling*?

Nel caso degli studi di sonoluminescenza si utilizzano o corni acustici o l'effetto Joule in un filo o scintille. In questo modo però si ottengono bolle dal raggio iniziale grande.

Per ottenere bolle dal raggio iniziale piccolo, capaci di crescere molto nel campo acustico, si usa radiazione ionizzante

due metodi studiati: con particelle alpha e con neutroni

# SETUP SPERIMENTALE di Talerkayan et al,



$D+D \rightarrow {}^3\text{He}+n$  ( $Q=4\text{MeV}$ )  
 $\rightarrow$  rivelazione di  $n$  di  $2.5\text{MeV}$   
 (scintillatore liquido con PSD) in  
**COINCIDENZA** con un impulso di  
 luce

$D+D \rightarrow {}^3\text{H}+p$  ( $Q=3.3\text{MeV}$ )  $\rightarrow$  presenza  
 di Trizio nel liquido ( $\beta^-$  endpoint  
 $18\text{keV}$ )

circa con la stessa probabilita'

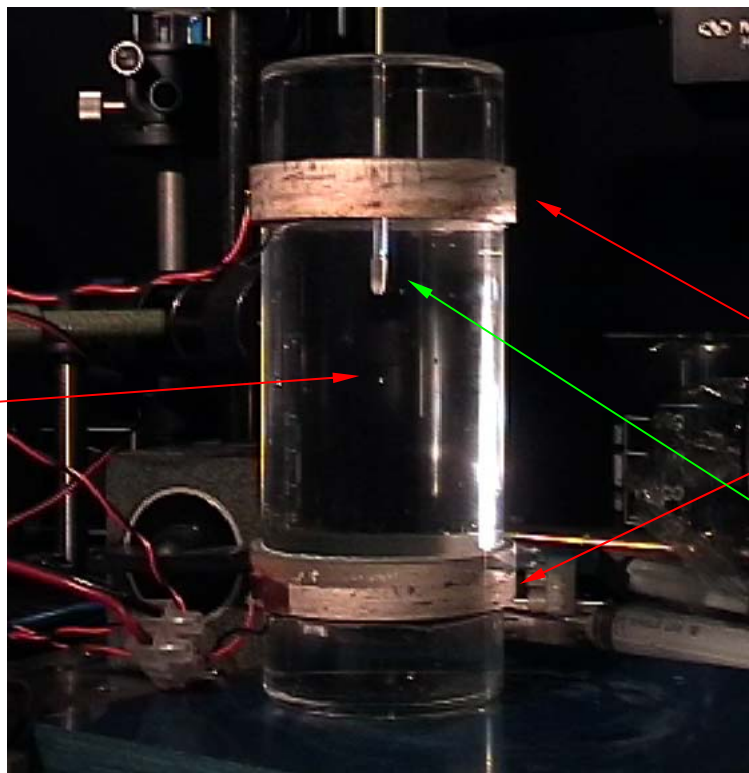
PNG=generatore di neutroni  
 impulsato  $\rightarrow 10^6\text{n/s}$ ; DT  $\rightarrow 14\text{MeV}$

o sorgente radioattiva (Nitrato di  
 Uranile) dissolta nel liquido



## La nostra versione

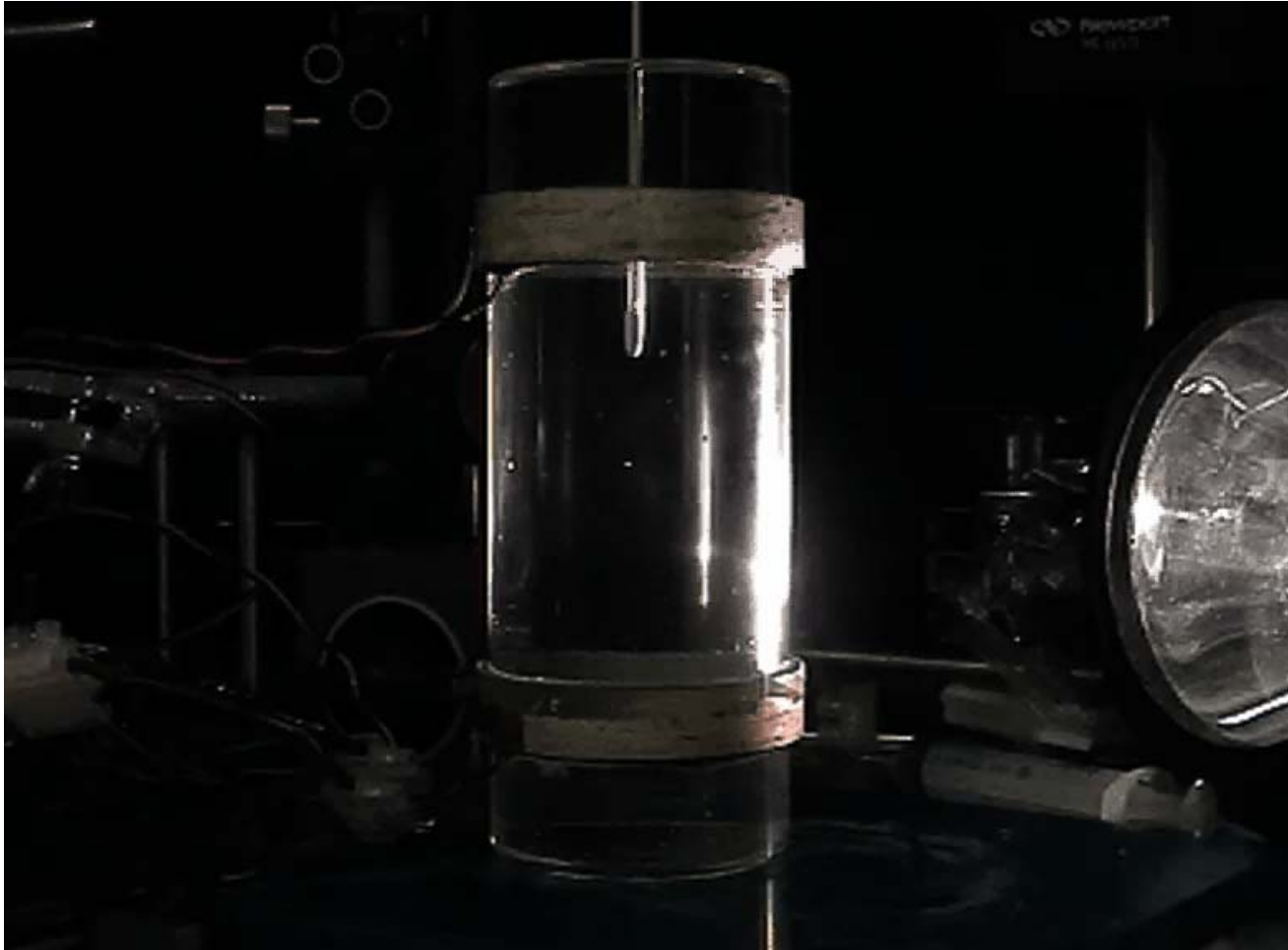
Bolla in  
levitazione  
acustica



Anelli piezoelettrici

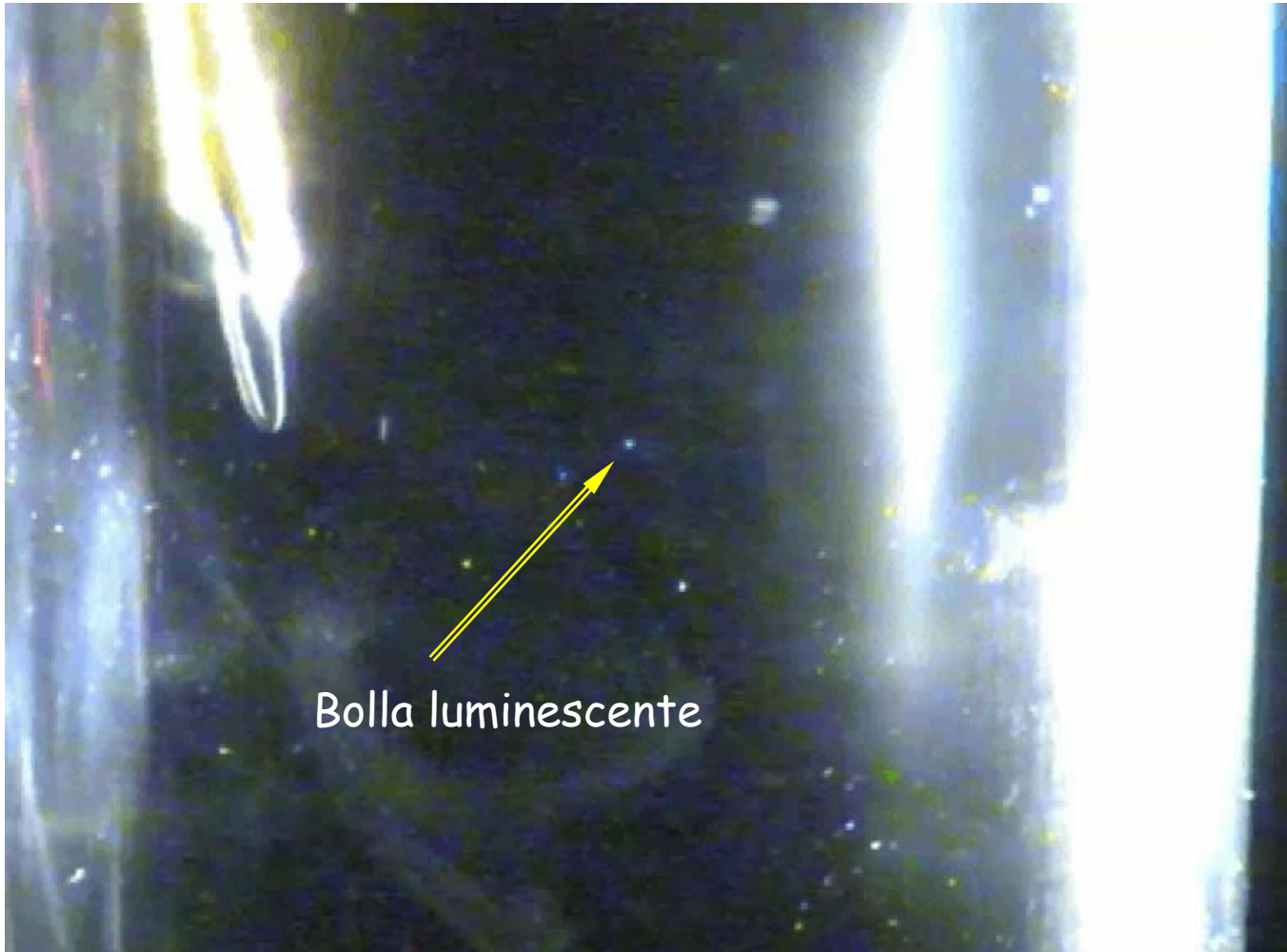
Idrofono ad ago

# Osservazione della cavitazione e della Sonoluminescenza



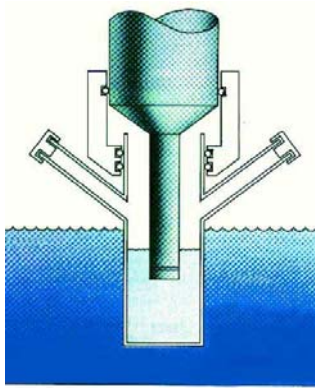
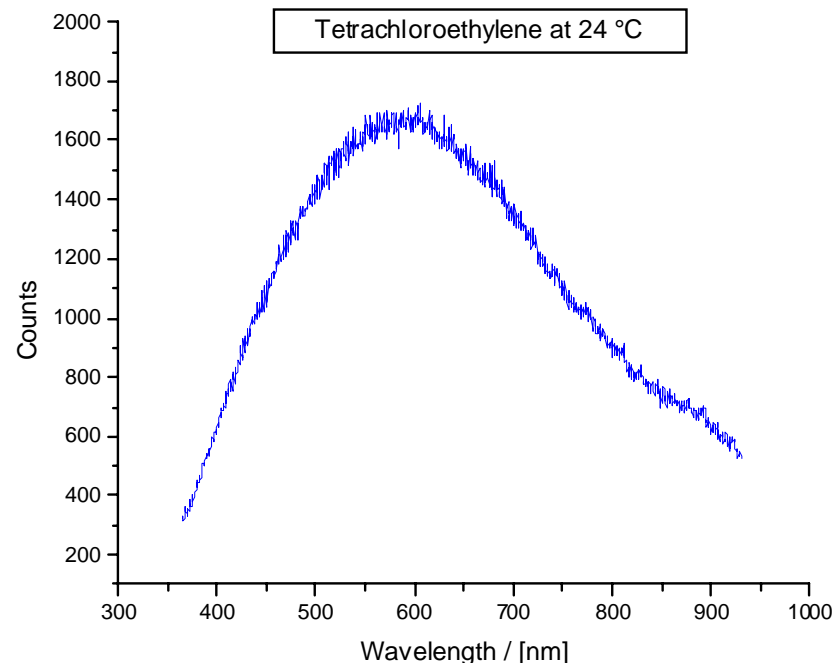
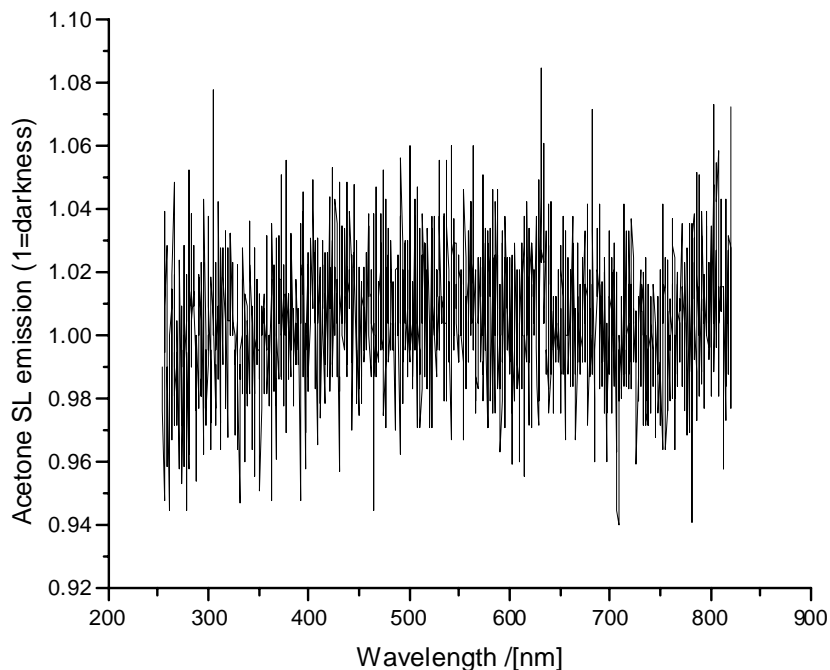
Cavitazione  
stabile in  $H_2O$   
saturata con  
aria

# Osservazione della cavitazione e della Sonoluminescenza

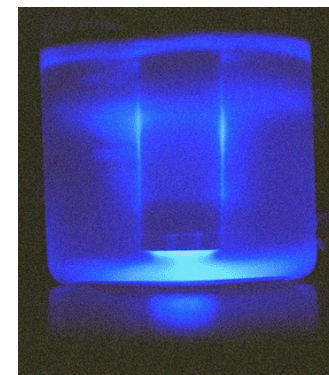


Bolla stabile e  
luminescente:  
 $H_2O$  degasata

# Esperimenti con acetone e altri solventi organici: condizione multibubble



Dati acquisiti con uno spettrometro CCD, usando un sonotrodo esponenziale in titanio





# Risultati di Taleyarkan et al.,

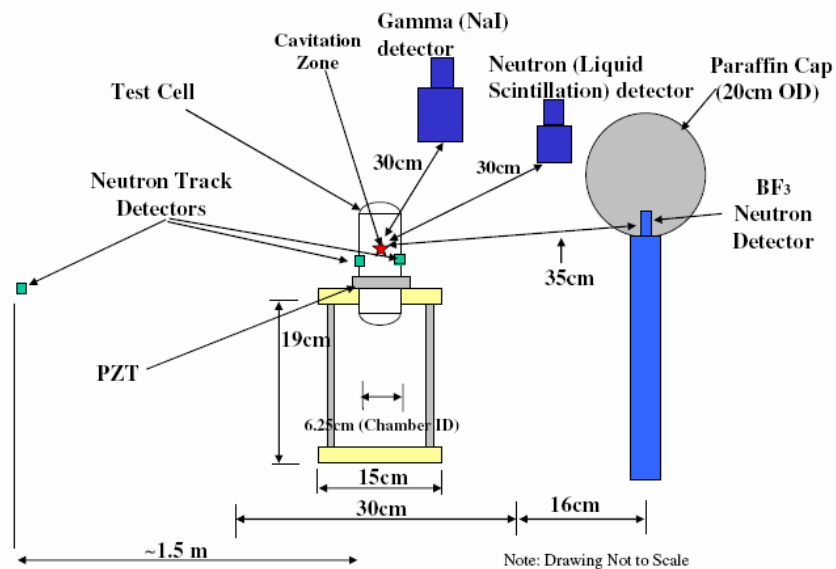


FIG. 1 (color online). Schematic representation of experimental setup.

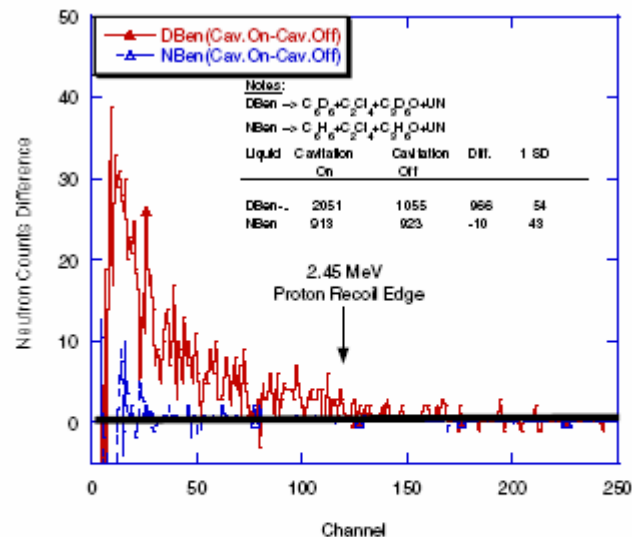


FIG. 4 (color online). Change in counts from pulse height spectra for  $C_6D_6-C_2Cl_4-C_3D_6O-UN$  and  $C_6H_6-C_2Cl_4-C_3H_6O$ -mixtures with self (alpha recoil nucleation) and LS detector (data taken over 300 seconds).

Sorgente di Nitrato di Uranile dissolta nel liquido (7g)

Nuova miscela ternaria: acetone, trielina, benzene.

Rivelatore a scintillazione liquida: segnale di  $17\sigma$  diverso da zero!

# Obiettivi di SAFE



Realizzare in prima battuta un setup analogo a quello di Taleyarkan con sorgente di Uranio, al fine di verificare la presenza dell'effetto

+

investigare lo spazio dei parametri in cui l'effetto si osserva (liquidi, forma della cavita' risonante, metodi di cavitazione, metodi di raggiungimento delle alte pressioni)

Siamo in una fase di acquisti e test preliminari:

- parte elettromeccanica pronta per ~ Aprile
- rivelatore ~ Aprile-Maggio (ora in fase di upgrade presso la ditta negli USA)

## Finanziamenti

Esperimento approvato nel 2006 in corso d'anno.

Finanziamenti 2006: Cagliari + Torino (DTZ)

Finanziato anche nel 2007: Cagliari, Milano e Torino (DTZ)



# Partecipanti

## CAGLIARI

- ❑ Walter Bonivento (RIC INFN) → RESPONSABILE NAZIONALE
- ❑ Guido Pegna (P.A.)

## MILANO (Gruppo LASA)

- ❑ Grazia Gambarini (P.A.), Flavia Groppi (esperto qualificato LASA, Responsabile Locale), Mauro Bonardi (P.A., Coordinatore Gruppo V)

## TORINO(DTZ)

- ❑ Giuliana Benedetto (I RIC IEN, Responsabile locale), Daniele Madonna Ripa (A.R. IEN), Adriano Troia (A.R. IEN)