

ЈЕДНОМЕХУРНА СОНОЛУМИНИСЦЕНЦИЈА

SINGLE-BUBBLE SONOLUMINESCENCE

Ariyan Wasi, *Факултет техничких наука, Нови Сад*

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – Предмет овог рада је сонолуминисценција, која се односи на феномен испољавања светлости из мехура, у екстремним условима, при његовом сабијању. Рад садржи теоријске основе за разумевање ове области као и резултати експеримента добијања светлости из мехура.

Кључне речи: сонолуминисценција, динамика мехура, кавитација, акустична левитација, плазма, електрично пражњење.

Abstract – The subject of this paper is sonoluminescence, which refers to the phenomenon of light emission from a bubble under extreme conditions during its compression. The paper contains theoretical foundations for understanding this field as well as the experimental results of obtaining light from a bubble.

Keywords: sonoluminescence, bubble dynamics, cavitation, acoustic levitation, plasma, electrical discharge.

1. УВОД

У лабораторијским условима сонолуминисценција се ствара наглим сабијањем једног мехура акустичним таласима, ово је такозвана једномехурна сонолуминисценција или ти ЈМСЛ (енг. "SBSL – single-bubble sonoluminescence"). До данас је предложено око 14 теорија које покушавају да објасне феномен сонолуминисценције. Међутим већину не подржавају експерименталне анализе. Данас постоје две теорије које изгледају најобечавајуће, а то су теорија плазме и теорија хладног гаса.

Теорија вруће плазме сугерише да је интензивно светло које се емитује током сонолуминисценције резултат формирања вруће плазме унутар колапсирајућег мехура.

Према теорији хладног гаса светлост коју емитује мехур приликом ЈМСЛ је резултат електричног пражњења између зида мехура и кондензата у мехуру.

Методологија вршења експеримента која је у овом раду примењена је једноставнија за изведбу него што је описано у већини других радова. Одрађено је на овај начин јер представља најлакши пут неком ком се тек сусреће овом облашћу.

НАПОМЕНА:

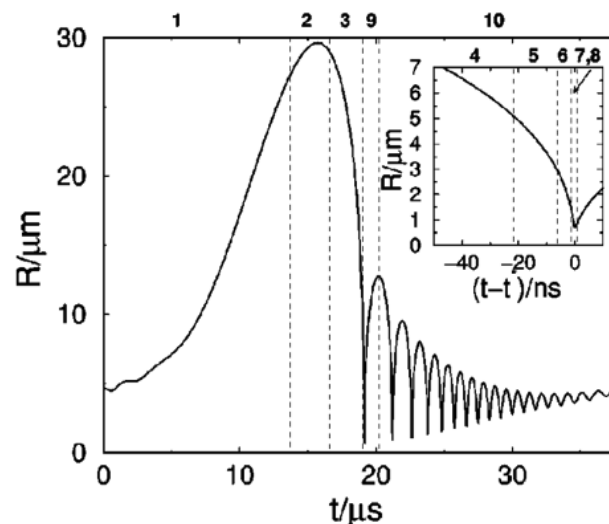
Овај рад произтекао је из мастер рада чији је ментор био др Слободан Ташин, ванр. проф.

2. САЖЕТАК РЕЛЕВАНТНЕ ТЕОРИЈЕ

У наставку је приказан сажетак најрелевантније теорије за разумевање основних концепта и теорија сонолуминисценције.

2.1. Циклус осциловања сонолуминисцирајућег мехура

На слици 1 је приказан уобичајен циклус осциловања једног сонолуминисцирајућег мехура.



Слика 1. Промена радијуса мехура током времена. [1]

Приказане тачке су:

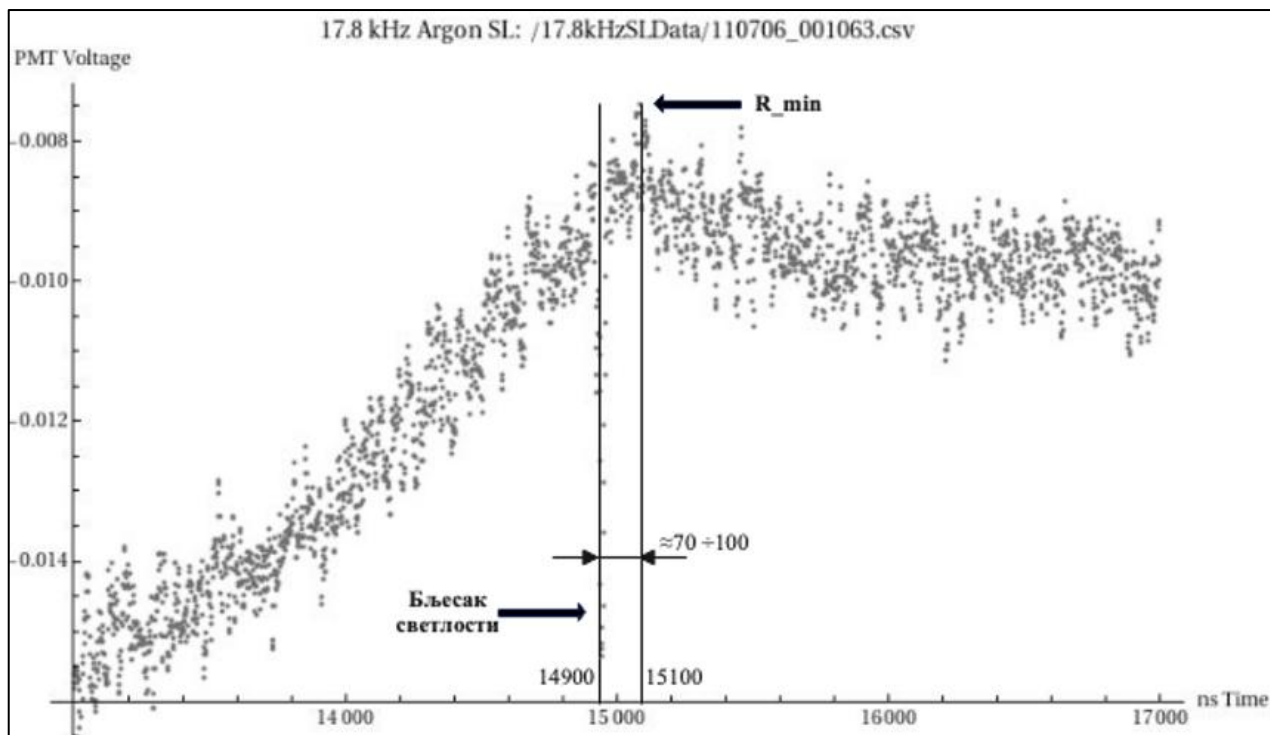
1. Експанзија.
2. Максимални радијус.
3. Рејлијев колапс.
4. Одвајање водене паре.
5. Термичко одвајање.
6. Почетак дисипативних реакција.
7. Почетак емисије светлости.
8. Максимална компресија.
9. Реекспанзија.
10. Накнадне осцилације.

2.2. Теорија вруће плазме

Теорија вруће плазме објашњава сонолуминисценцију као резултат формирања плазме унутар колапсирајућег мехура, где екстремне температуре и притисци јонизују гас. Ова теорија подржана је експериментима који показују да се бљесак светлости јавља у року од 1 ns од достизања минималног радијуса мехура, иако тачан механизам емисије фотона остаје предмет дискусије међу научницима [1].

2.3. Теорија хладног гаса

Теорија хладног гаса објашњава сонолуминисценцију кроз формирање метастабилног кондензата током експанзије мехура, који садржи одређену количину енергије у облику електронских побуђења. При колапсу мехура, електрично пражњење ослобађа ову енергију у виду фотона. Ова теорија је подржана NASA-иним истраживањем из 2018. године, које је показало да се бљесак светлости јавља око 100 ns пре достизања минималног радијуса мехура, што је у супротности са теоријом вруће плазме. Ово се може видети на приложеној слици 2. Овај механизам је аналоган процесу ослобађања латентне топлоте при кондензацији, али се дешава довољно брзо да произведе видљиву светлост.



Слика 2. Дијаграм осцилације мехура, увећан на тренутак сонолуминисценције мехура. [2]

3. ЕКСПЕРИМЕНТ

Основни разлог за вођење експеримента био је, пре свега, детаљан увид у феномен сонолуминисценције. Додатно, циљ експеримента био је и идентификација и тестирање иновативних и ефикаснијих метода које би омогућиле лакше извођење овог типа експеримента, са аспектом проширења доступности и применљивости сазнања о ЈМСЛ у широј научној заједници.

У већини радова описан је приступ у којем се користе два пиезоелектрична елемента за левитирање мехура. Ова метода захтева изузетну прецизност при постављању елемената, који морају бити тачно поравнати на истој оси у простору. У овом раду је коришћен једноставнији метод који укључује употребу само једног пиезо елемента за генерисање звучног сигнала. Други талас, неопходан за формирање стајаћег таласа, у овом случају настаје као резултат рефлексије првог таласа од границе течност/ваздух.

3.1. Опрема и поставка

Основна шема коришћена у експерименту приказана је на слици 3.

Основна компонента целог експеримента представља пиезоелектрични претварач, коришћена су два таква уређаја. Један је био залепљен на доњој страни сферне стаклене посуде, док је други био сломљен на пола и постављен на бочну страну посуде. Доњи елемент је коришћен као генератор сигнала, док је други служио као микрофон за снимање одзива осцилација посуде.

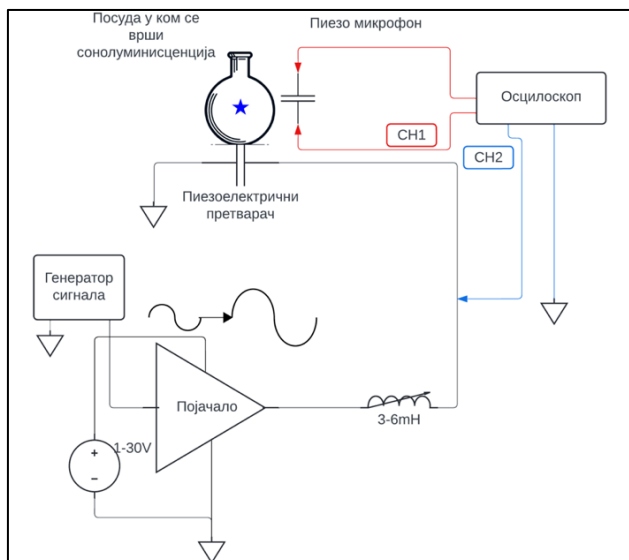
Пиезо са понаша као кондензатор за одређеним капацитетом C . Да би тада створили резонантно LC коло, у сврху стварања стајаћег таласа за заобљивање мехура у посуду, потребан нам је индуктор. Мерењем

капацитивности пиезоелектричног елемента, добијена је вредност од приближно 9 nF. Уколико узмемо у обзир да циљамо фреквенцију од 28 kHz, можемо искористити једначину 1 да израчунамо потребну индуктивност калема.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1)$$

Додатни, потребни елементи су били напајање, појачало, осцилоскоп и генератор синусоидног сигнала.

Важно је напоменути да посуда треба да се држи на сталку држачем који неће превише стегнути посуду. Већ треба да је могуће само да се посуда "обеси на држач". Разлог јесте то што је непожељно да се акустични таласи преносе на сталак. Такође, важно је користити лепак који добро проводи акустичне таласе при лепљењу пиезо елемената. У ови сврху је искоришћен двокомпонентни лепак на бази смоле.



Слика 3. Дијаграм експерименталне поставке.

У наставку су наведени кораци за постизање сонолуминисцирајућег мехура. Иако није обавезно стриктно следити ове кораке, они представљају ефикасан процес на који се извођач експеримента може ослонити приликом спровођења експеримента.

1. Поставити посуду на сталак са опуштеним хватом. Осцилоскоп подесити тако да приказује 1 V по подеоку. На генератору подесити синусоидни талас на фреквенцији блиској циљаној фреквенцији. Појачало поставити на половину максималне снаге.
2. Док посматрате осцилоскоп, пролазите кроз различите фреквенције на генератору сигнала све док не пронађете ону фреквенцију која максимално испуни екран осцилоскопа.
3. Подесите индуктивност калема тако што ћете померати феритно језгро, циљајући највећу могућу амплитуду сигнала. Уколико амплитуда премаши опсег осцилоскопа, смањите јачину појачала.
4. Полако стискајте посуду и посматрајте реакцију на осцилоскопу, која ће се приказати као промена амплитуде сигнала. Ако не уочите значајну промену, покушајте са другом фреквенцијом.
5. Међутим, ако се при стискању суда сигнал знатно мења, подесите појачало тако да амплитуда буде око 3 V.
6. Убацити мехур користећи шприц или пипету. Ако мехур не жели да се формира у води, подигните шприц. Након убацивања мехура пажљиво пратите његово понашање:
 - Ако мехур нестане одмах, то указује на то да је појачало превише појачано.

- Ако мехур одједном одлети у страну, то може значити да фреквенција није адекватна.
- Ако се мехур одржава у центру или у близини, поставке су вероватно адекватне.

7. Полако појачавајте појачало док мехур не нестане. Када мехур нестане, забележите амплитуду на осцилоскопу. Затим убаците нови мехур и поново полако појачавајте појачало, али овај пут до 0,5 V испод амплитуде при којој је претходни мехур нестao.
8. На крају, искључите све непотребне уређаје и изворе светлости у просторији, укључујући осцилоскоп који више неће бити потребан. Покријте све што не можете угасити материјалом који не пропушта светлост, попут картона. Затим, посматрајте посуду. Након што се очи прилагоде тами, ако је све правилно подешено, у посуду би требало да уочите светлећу тачку.

3.2. Резултати, обсервације и препоруке

Након бројних покушаја, успешно је забележен сонолуминисцирајући мехур. На слици 4 је могуће видети светлост из једног таквог мехура.



Слика 4. Сонолуминисцирајући мехур сликан дугом експозицијом од 3 минута.

Приказана светлост је добијена у посуду од 500 ml на фреквенцији од 28,2 KHz, пиезо елемент је вукао око 4,46 W и амплитуда сигнала је била око 10 V.

Обично, сваки мехур је стабилно сијао током времена. Међутим, у неколико покушаја добијен је мехур који је “блицао” константном фреквенцијом. Откривено је да је узрок ове појаве била нестабилност акустичних таласа у посуду због загревања појачала. Хлађењем појачала ваздухом током сонолуминисценције, уочена је промена фреквенције блицања. Затим, након гашења опреме и њеног потпуног хлађења, следећи мехур је поново сијао стабилним светлом.

Ако бисмо поново вршили овај експеримент, већину корака бисмо поновили индентично. Једино што није највероватније потребан скуп генератор сигнала, јер експеримент захтева само основни синусоидни талас на уобичајеним фреквенцијама. Такав талас може се генерисати помоћу обичног "Arduino" контролера. Важно је напоменути да Arduino не генерише прави аналогни сигнал, пошто нема DAC, већ би морао користити модификовани PWM сигнал.

3. ЗАКЉУЧАК

Крајем двадесетог века консензус што се тиче тачног разлога појаве светлости је био да је оно резултат стварања плазме унутар мехура при њеном минималном радијусу. Након чега, су већина радова почетком двадесет и првог века били осврнути на проналажење тачног механизма генерисања фотона унутар плазме.

Међутим, став аутора овога рада јесте да цела слика још увек није у потпуности комплетна. Иако је добра позната динамика сонолуминисцирајућег мехура, тренутан одговор већине одакле светлост при сонолуминисценцији произилази није задовољавајућа. Постоји могућност да плазма, која се свакако ствара, није извор светлости. Такође постоји шанса да теорија хладног гаса објашњава светлост. Свакако су потребна додатна мерења.

Почетна намера аутора била да се истражи и утицај температуре воде на феномен сонолуминисценције као и тренутак када се сонолуминисценција јавља у односу на тренутни радијус осцилирајућег парно-гасног мехура. Међутим, брзо се показало да је за таква мерења, посебно ово друго, потребна веома специфична и скупа опрема.

Сонолуминисценција, иако детаљно проучавана, и даље поставља низ питања о механизмима који су у основи овог процеса. Циљ рада био је идентификација и тестирање нових метода које би олакшале извођење оваквих експеримената и прошириле доступност и применљивост знања о ЈМСЛ у широј научној заједници.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. Lohse, Single-Bubble Sonoluminescence, Twente: Review of Modern Physics, 2002.
- [2] T. Brennan и F. Gustave, The Timing of sonoluminescence, NASA Glann Research Center: NASA, 2018.
- [3] T. Matula, Inertial cavitation and single-bubble sonoluminescence, Seattle: The Royal Society TeX Paper, 1999.

Кратка биографија:



Ariyan Wasi (Аријан Васи) рођен је у Аархусу 1999, год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Енергетике и процесне технике – Гасна и нафтна техника одбранио је 2024. год. Контакт: ariyanwasi628@gmail.com