

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

**بررسی پارامترهای موثر در آوادرخش تک جابجایی
با استفاده از مدل هیدروشیمیایی**

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

مریم حسونند

استاد راهنما

دکتر سید ظفراله کلاتتری



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک خانم مریم حسنونند
تحت عنوان

**بررسی پارامترهای موثر بر آوادرخش تک جابجایی
با استفاده از مدل هیدروشیمیایی**

در تاریخ ۱۳۸۶/۱۱/۲۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| دکتر سید ظفراله کلانتری | ۱- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر کیوان آقا بابایی سامانی | ۲- استاد مشاور پایان نامه |
| دکتر محمد حسن علامت ساز | ۳- استاد داور پایان نامه |
| دکتر اکبر پروازیان | ۴- استاد مدعو |
| دکتر سید ظفراله کلانتری | سرپرست تحصیلات تکمیلی |

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

خداوند بزرگ را به خاطر همه نعمت‌هایی که به ما ارزانی داشته سپاگزارم. نعمت یادگیری و معرفت خویش را. از پدر و مادر عزیز و خانواده صبورم به خاطر حمایت‌های همیشگی‌شان تشکر می‌کنم.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر کلانتری که در انجام پایان‌نامه از راهنمایی‌ها و مساعدت‌هایشان بهره‌مند بودم سپاسگزارم همچنین از جناب آقای دکتر سامانی به خاطر رهنمودهای ارزنده‌شان. از جناب آقای دکتر پروازیان و آقای دکتر علامت‌ساز که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را به عهده داشتند کمال تشکر را دارم. از سایر اساتید گروه فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان که افتخار شاگردی آنها را داشتم بسیار سپاسگزارم. از تمامی دوستان خوبم خصوصاً خانم‌ها مهندس ناطقی نیا، مهندس خان‌محمدی، مهندس فتوکیان و خانم یگانه که روزگاری پر از خاطره را در کنارشان سپری کردم ممنونم.

مریم حسنونند

بهمن ۱۳۸۶

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
فهرست اشکال	ده
فهرست جداول	دوازده
چکیده	۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- پیش‌گفتار	۲
۲-۱- تاریخچه	۳
۳-۱- آوا درخش تک‌جابی	۴
۴-۱- کاربردها	۶

فصل دوم: بحث نظری دینامیک حباب

۱-۲- تعاریف	۸
۲-۲- معادله رایلی-پلست	۹
۳-۲- معادله حالت	۱۱
۴-۲- انتقال جرم	۱۳
۱-۴-۲- پخش یکسویه	۱۴
۵-۲- واکنش‌های شیمیایی	۱۷
۶-۲- موازنه انرژی	۱۸
۷-۲- ناپایداری سطحی	۲۰
۱-۷-۲- معادلات دینامیکی	۲۰
۲-۷-۲- ناپایداری پارامتری	۲۲
۳-۷-۲- ناپایداری پس‌جهش	۲۲
۴-۷-۲- ناپایداری رایلی-تیلور	۲۲
۸-۲- ساز و کارهای گسیل نور	۲۴
۱-۸-۲- نظریه‌های MBSL: تخلیه الکتریکی در مقابل نظریه‌های نقطه نورانی	۲۴
۲-۸-۲- نظریه‌های مرتبط با SBSL	۲۵
۳-۸-۲- تابش جسم سیاه و مقایسه آن با SBSL	۲۸
۴-۸-۲- مدل تابش ترمزی	۲۹

فصل سوم: شبیه‌سازی دینامیک حباب

۳۳	..... ۱-۳ مدل هیدروشیمیایی
۳۵	..... ۲-۳ روش عددی
۳۷	..... ۳-۳ نمودارهای فاز آوا درخش تک‌حبابی
۴۳	..... ۴-۳ وابستگی پارامتری شدت نور
۴۳	..... ۱-۴-۳ اثرات تغییر دمای مایع
۵۲	..... ۲-۴-۳ اثرات فشار هیدروستاتیکی
۵۴	..... ۳-۴-۳ اثرات دامنه فشار تحریکی
۵۵	..... ۴-۴-۳ اثرات مایع

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵۷	..... ۱-۴ نتیجه‌گیری
۵۸	..... ۲-۴ پیشنهادها
۶۰	..... منابع

فهرست اشکال

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل ۱-۲-۱- نمایی از یک پیکربندی آوادرخش	۴
شکل ۱-۲-۲- افزایش دامنه فشار صوتی تا حد آستانه به گسیل نور می انجامد.	۵
شکل ۱-۳-۱- تابندگی ناشی از پدیده آوادرخش بر حسب طول موج	۶
شکل ۱-۲-۱- نمودار شعاع - زمان - فشار تحریکی برای مقادیر تجربی و محاسباتی	۱۵
شکل ۱-۲-۲- دیاگرام فاز آوادرخش آرگون	۲۳
شکل ۱-۲-۳- دینامیک حباب دینامیک دمای درون حباب SBSL	۲۷
شکل ۱-۲-۴- اندازه گیری پهنای پالس SBSL	۲۸
شکل ۱-۳-۱- دیاگرام فاز در صفحه (P_a, R_0)	۳۹
شکل ۱-۳-۲- دیاگرام فاز در صفحه $(P_{air} / P^*_0, P_a)$	۴۱
شکل ۱-۳-۳- دیاگرام فاز تجربی در فضای پارامتری (P_a, R_0)	۴۲
شکل ۱-۴-۳- نتایج تجربی ماکزیمم تعداد فوتونهای قابل دستیابی، N^{max} ، برای SBSL در دماهای مختلف سیال مرجع	۴۳
شکل ۱-۳-۵- ماکزیمم دامنه فشار اعمالی برای SBSL پایدار بر حسب تابعی از دمای آب	۴۴
شکل ۱-۳-۶- نمودار شعاع - زمان سه حباب SBSL آرگون در فشار جزئی گاز بی اثر در آب	
شکل ۱-۳-۷- تعداد کل مولکولهای درون یک حباب آرگون در آب بر حسب زمان در یک 3 torr و فرکانس 40 kHz و دامنه فشار تحریکی $P_a = 1/0.6\text{ atm}$ در سه دمای سیال	۴۵
شکل ۱-۳-۷- سیکل صوتی برای دماهای	۴۶
شکل ۱-۳-۸- تعداد مولکولهای آب درون یک حباب آرگون در آب بر حسب زمان در یک سیکل صوتی برای دماهای مختلف	۴۷
شکل ۱-۳-۹- نمودار دما - زمان برای سه حباب آرگون در آب در سه دمای محیطی در فرکانس $26/5\text{ kHz}$	۴۸
شکل ۱-۳-۱۰- نمودار شدت - زمان برای سه دمای مختلف	۵۰
شکل ۱-۳-۱۱- نمودار شدت های جزئی ناشی از حباب آرگون در آب $2/5^\circ\text{C}$ و فشار استاتیکی 1 atm و فرکانس $26/5\text{ kHz}$	۵۱
شکل ۱-۳-۱۲- نمودار شدت های جزئی ناشی از حباب آرگون در آب 20°C و فشار استاتیکی 1 atm و فرکانس $26/5\text{ kHz}$	۵۱
شکل ۱-۳-۱۳- نمودار شدت های جزئی ناشی از حباب آرگون در آب 33°C و فشار استاتیکی 1 atm و فرکانس $26/5\text{ kHz}$	۵۲
شکل ۱-۳-۱۴- نمودار شدت نور بر حسب زمان در فشارهای استاتیکی $1/25\text{ atm}$ و 1 atm و 0.75 atm در دمای 20°C و فرکانس $26/5\text{ kHz}$	۵۳
شکل ۱-۳-۱۵- نمودار شعاع حباب بر حسب زمان در فشارهای استاتیکی $1/25\text{ atm}$ و 1 atm و 0.75 atm در	

- ۵۳ دمای 20°C و فرکانس $26/5\text{ kHz}$
- ۵۴ شکل ۳-۱۶ نمودار فاز در فضای پارامتری (P_a, R_o) برای سه دمای 20°C ، $2/5^{\circ}\text{C}$ و 33°C
- ۵۵ شکل ۳-۱۷- نمودار شعاع- زمان حباب اسید سولفوریک و آب.....
- ۵۶ شکل ۳-۱۸- نمودار دما- زمان حباب اسید سولفوریک و آب.....
- شکل ۳-۱۹- تعداد مولکول‌های آرگون، بخار آب و اسید سولفوریک درون یک حباب آرگون
- ۵۶ در اسید سولفوریک $185\text{wt}\%$ در دمای 20°C و فرکانس $37/8\text{ kHz}$

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- پارامترهای آرنیوس برای انواع برهمکنش، فرکانس های $k_{f,j}$ و $k_{b,j}$ بر حسب $\text{cm}^3 (\text{mol/s})$ برای برهمکنش های دو جسمی و $\text{cm}^6 (\text{mol/s})$ برای برهمکنش های سه جسمی	۱۸
جدول ۲-۲- تعداد درجات آزادی انتقالی و دورانی و دماهای نوسانی مخصوص هر نمونه از ذرات	۱۹
جدول ۱-۳- خصوصیات آب در دماهای مختلف	۳۵
جدول ۲-۳- خصوصیات اسیدسولفوریک ۸۵wt% در دماهای مختلف	۳۶
جدول ۳-۳- غلظت های نسبی در دماهای مختلف	۴۷
جدول ۴-۳- ماکزیمم دمای درون حباب بر حسب دمای سیال برای سه دمای محیطی	
در فرکانس $۲۶/۵ \text{ kHz}$	۴۸
جدول ۵-۳- ماکزیمم شدت نور بر حسب تابعی از دمای سیال برای سه دمای محیطی	
در فرکانس $۲۶/۵ \text{ kHz}$	۴۹

چکیده

آوادرخش تک جبابی گسیل نور به وسیله یک تک جباب گازی شناور در یک سیال است که به وسیله میدان فراصوتی به نوسان واداشته شده است. در این پایان نامه وابستگی پارامتری پدیده آوادرخش تک جبابی با استفاده از یک مدل هیدروشیمیایی محاسبه و گزارش شده است. در این مدل اثر واکنش های شیمیایی که درون جباب اتفاق می افتد و نفوذ بخار آب و اتم های دیگر به داخل و خارج جباب در نظر گرفته می شود. در آغاز با استفاده از معادله رایلی-پلست، معادله حالت گاز و مدل هیدروشیمیایی، دینامیک جباب شبیه سازی و به صورت عددی محاسبه شد. در ابتدا تاثیر دمای سیال محیطی بر آوادرخش تک جبابی بررسی شد. برای این منظور آوادرخش تک جبابی از جباب آرگون در آب در دماهای $33^{\circ}C$ ، 20 و $2/5$ مقایسه شدند. با کاهش دمای سیال، بیشینه شعاع جباب کاهش پیدا می کند و متعاقب آن دمای گاز درون جباب افزایش می یابد که دلایل آن مورد تحلیل قرار گرفته است. افزایش دمای درون جباب نیز باعث افزایش شدت نور حاصل از SBSL می شود. نتایج با بعضی نتایج آزمایشگاهی موجود و محاسبات دیگران نیز مقایسه شده است. در ادامه شدت های جزئی حاصل از SBSL که در سه کانال مختلف - باز ترکیب تابشی الکترون ها و یون ها، تابش ترمزی الکترون- یون و تابش ترمزی الکترون- اتم- محاسبه شده اند، با یکدیگر مقایسه و معلوم شد که شدت غالب شدت حاصل از باز ترکیب تابشی است. تاثیر فشار هیدروستاتیکی بر روی SBSL نیز نشان داد که با کاهش فشار هیدروستاتیکی ناپایداری جباب و شدت نور حاصل از آن کمتر شده و جباب هایی که در P_0 بالاتری قرار می گیرند، درخشان تر هستند. نمودارهای به دست آمده باید در شرایط تعادل پخشی محاسبه شوند. به این منظور برای یک دامنه فشار تحریکی خاص، شعاع اولیه معینی برای جباب پایدار وجود دارد که رابطه آنها در نمودارهایی معروف به نمودار فاز رسم شده اند. نتایج با نتایج تجربی موجود نیز مقایسه شدند. در پایان مقایسه ای بین SBSL آرگون در آب و SBSL آرگون در مخلوط آب و اسید سولفوریک $85wt\%$ صورت گرفته است و مشخص شد که جباب درون اسید درخشان تر از جباب موجود در آب است. همچنین بیشینه شعاع بهنجار شده جباب آب بیشتر از اسید سولفوریک است و زمان رسیدن به بیشینه شعاع و زمان فروریزش در اسید نسبت به آب با تاخیر اتفاق می افتد که در مورد دلایل آن بحث شده است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیش‌گفتار

آوادرخش تک‌حبابی^۱ (SBSL) [۲،۱] گسیل نور به وسیلهٔ یک تک‌حباب گازی شناور در یک سیال است که به وسیلهٔ میدان فراصوتی به نوسان واداشته شده است. در این فرآیند، حباب دستخوش چرخه‌های انبساط-انقباض متعدد می‌شود که در پاسخ به یک میدان صوتی اعمال شده در طول زمان می‌باشد. در نتیجهٔ هر فرو ریزش، یک فلاش نور توسط حباب گاز گسیل می‌شود [۳]. اگر چه هنوز نظریهٔ جامعی برای توضیح کامل این پدیده ارائه نشده است، اما برخی از آنها، مانند مدل هیدروشیمیایی انطباق بسیار خوبی را با نتایج تجربی دارد [۴]. در این مدل تمام واکنش‌های شیمیایی درون حباب به همراه نشت و ورود ذرات به حباب در نظر گرفته می‌شود و تاکنون کامل‌ترین مدل ارائه شده است. بر مبنای این مدل، در طول انقباض، فشار و دمای گاز درون حباب به شدت افزایش می‌یابد. در اثر تراکم شدید و نزدیک به بی‌درروی گاز درون حباب، الکترون‌های اتم‌های موجود در محیط جدا می‌شوند و در چنین دمای بالایی پلاسما به وجود می‌آید. این فرآیند در طول رمبش حباب اتفاق می‌افتد و نور از محیط پلاسمایی گسیل می‌شود.

برای یک حباب نوعی با شعاع معین پوترمن^۲ پیشنهاد کرد که اندازهٔ حباب با شعاع اولیهٔ آن در ابتدای آزمایش تعیین نمی‌شود بلکه با دامنهٔ فشار و فرکانس موج فراصوتی مشخص خواهد شد [۵].

۱- Single-Bubble Sonoluminescence

۲- Putterman

این بدان معنی است که شعاع حباب از یک مقدار اولیه تا مقداری که با پخش گاز به پایداری می‌رسد، تغییر می‌کند [۶]. حباب گیرافاده در تله صوتی وقتی تحت تأثیر میدان فراصوت خارجی قرار می‌گیرد در قسمت منفی دامنه فشار منبسط می‌شود. به علت کاهش فشار درون حباب مقداری از مولکول‌های سیال اطراف به داخل نفوذ می‌کند. بر عکس در موقع انقباض حباب مقداری از گازهای حبس شده درون آن به خارج از حباب، به درون مایع، نفوذ می‌کند. در این هنگام فشار درون حباب افزایش یافته است. شعاع حباب در شرایط پایدار با مساوی قرار دادن جریان ورودی در مرحله انبساط و جریان خروجی در مرحله انقباض به دست می‌آید. اما هیچ نظریه‌ای نمی‌تواند شعاع حباب را در شرایط پایدار پیشگویی کند. به عبارت دیگر شرایط "حفره‌سازی پایدار" ، که برای آوادرخش تک‌حبابی (SBSL) لازم است، هنوز به صورت نظری شناخته شده نیست.

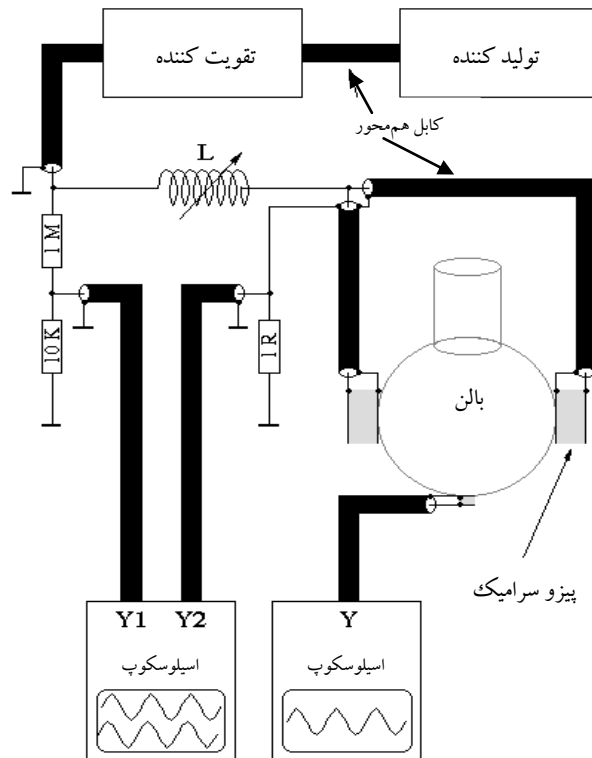
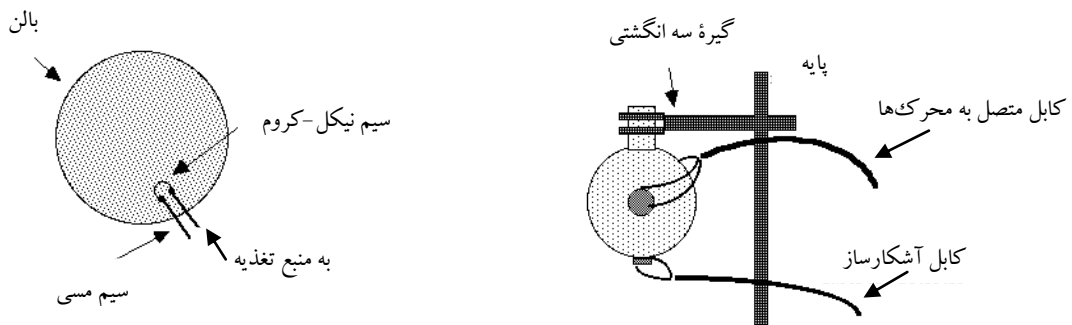
با وجود اینکه SBSL به صورت تجربی به سادگی قابل دستیابی است [۱،۲]، اما وجود مسایلی چون طول عمر کوتاه فلاش (100ps)، کوچک بودن حجم تابنده (10^{-13}cm^3) و حساسیت فوق‌العاده داده‌ها به شرایط آزمایشگاهی، به دست آوردن مجموعه اطلاعات کافی را برای بنا نهادن و معتبر ساختن مدل‌های نظری دشوار می‌سازد.

۱-۲- تاریخچه

هنگامی که حباب گازی ایجاد شده در یک سیال از خود نور ساطع می‌کند پدیده آوا درخش رخ داده که به طور تصادفی توسط مارینسکو و تریلات در ۱۹۳۳ کشف شد [۷]. آنها پی بردند که صفحه عکاسی که در آب (مایع) تحریک شده به وسیله امواج فرا صوتی قرار گرفته، تیره شده است. در ۱۹۳۴ فرنزل و شولتس توضیح دادند که تیرگی به خاطر گسیل نور از آب است [۷]. از آن به بعد آوادرخش (SL) هم به صورت تجربی و هم به صورت نظری مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [۷]. در ۱۹۸۸ فیلیپ گیتان برای اولین بار به صورت تجربی و اصولی SBSL را مشاهده کرد. وی شرایط لازم برای پایداری یک تک حباب نور گسیل را برای چندین ساعت فراهم کرد. مهمترین تغییری که گیتان اعمال کرد استفاده از آبی بود که تا اندازه‌ای گاز زدایی شده، به گونه‌ای که غلظت گازهای محلول در آن کمتر از نصف مقدار معمول باشد. نتیجه این شد که آستانه دامنه فشار برای حباب‌سازی آب افزایش یافت و بنابراین دامنه‌های فشار برای گسیل نور به اندازه کافی بزرگ می‌شوند. مسئله مهم دیگر آن که فرکانس صوتی تحریکی روی مقدار تشدید تنظیم شده بود که به تولید امواج ایستاده درون آب منجر می‌شود و حباب را، بر خلاف نیروی بالابر، درون آب شناور نگه می‌دارد [۸]. بعد از آن گروه‌های زیادی موفق به رؤیت SBSL شدند [۳].

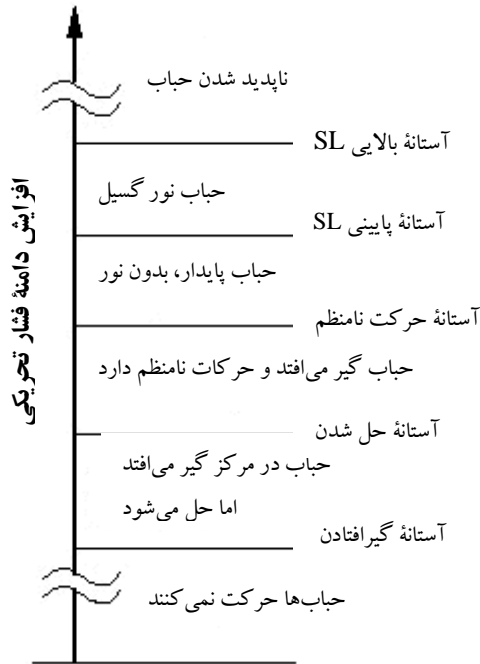
۳-۱- آوادرخش تک حبابی

شکل ۱-۱ یک پیکربندی نوعی برای تولید نور از حباب را نشان می‌دهد. به یک بالن آزمایشگاهی پر از آب مقطر میدان فرا صوتی اعمال می‌شود. این کار توسط مبدل های پیزوالکتریک که به بالن متصلند صورت می‌گیرد. فرکانس میدان تحریکی به گونه ای انتخاب می‌شود که یک موج ایستاده درون بالن ایجاد کند (از مرتبه cm). سپس یک پالس جریان به وسیله سیمی از جنس نیکل-کروم درون بالن جریان می‌یابد. در اثر این جریان آب نزدیک سیم به جوش می‌آید و حباب‌هایی داخل آن تولید می‌شود. این پدیده را حباب سازی می‌گویند. از آنجا که حتی آب گاز زدایی شده نیز حاوی مقداری هواست، حباب ها به سرعت از گاز غیر تراکم پذیر (هوا) پر می‌شوند. سپس میدان تحریکی حباب ها را در شکم فشار با هم ادغام می‌کند تا اینکه تنها یک تک حباب باقی بماند (SBSL).



شکل ۱-۱- نمایی از یک پیکربندی آوادرخش (توضیحات در متن)

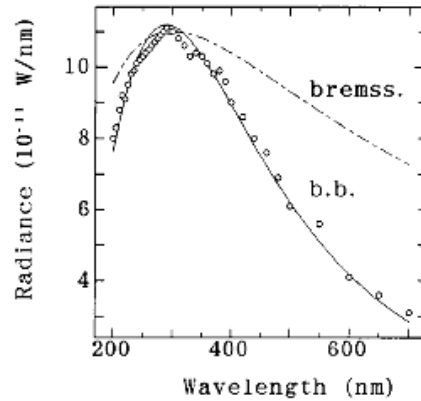
هر گاه دامنه موج فراصوتی نسبتاً کم باشد، تک حباب به صورت پایداری نوسان می کند (حباب سازی پایدار). در بالای آستانه دامنه موج فراصوتی، وقتی که تک حباب رمبیده می شود، حباب به صورت تناوبی از خود نور گسیل می کند [شکل ۱-۲].



شکل ۱-۲- افزایش دامنه فشار صوتی تا حد آستانه به گسیل نور می انجامد.

این وضعیت - همان طور که پیشتر گفته شد - "آوا درخش تک حبابی" نامیده می شود که گاهی نه تنها به گسیل نور بلکه به نوسانات پایدار حباب نیز گفته می شود. در شرایط SBSL گسیل نور در هر سیکل صوتی رخ می دهد. میزان انحراف از مقدار متوسط مدت زمان دو فلاش متوالی کمتر از $50ps$ گزارش شده است [۳]. همچنین بازه زمانی بین دو فلاش متوالی دقیقاً مشابه دوره تناوب موج فرا صوتی است [۹]. در زیر برخی از ویژگی های مهم SBSL که از نتایج تجربی به دست آمده اند به طور خلاصه ذکر می شود:

- ۱ - پهنای پالس کمتر از $50ps$ است.
- ۲ - میزان انحراف از مقدار متوسط مدت زمان دو فلاش متوالی کمتر از $50ps$ است.
- ۳ - طیف SBSL از یک حباب هوا دارای یک پهنای باند و با طیف جسم سیاه مطابق است (شکل ۱-۳) [۱۰]. دمای جسم سیاه، از مرتبه $10^5 - 10^4 K$ ، وابسته به شرایط فیزیکی آزمایشگاهی از جمله دمای محیط و دامنه موج فرا صوتی است. SBSL با چشم غیر مسلح دیده می شود و نور آن آبی رنگ است.



شکل ۱-۳- مقادیر تجربی (دایره های تو خالی) با طیف جسم سیاه مطابقت خوبی دارد در حالی که با نتایج مدل تابش گرمایی که یاسویی به کار گرفته است، انطباق خوبی نشان نمی دهد.

۴- شدت تابش با کاهش دمای سیال افزایش می یابد.

۵- افزودن حجم گاز نجیب به یک حباب نیتروژن در حدود ۱٪ به طور قابل توجهی شدت نور را زیاد می کند [۱۱]. مثلاً شدت نور از حبابی که شامل ۹۹٪ نیتروژن و ۱٪ آرگون است ۱۰۰ برابر بزرگتر از همان حباب با نیتروژن خالص است. گر چه شدت نور با افزایش مقدار گاز نجیب بیشتر از ۱٪ کاهش می یابد با این وجود هنوز هم شدت نور حاصل از یک حباب خالص آرگون بزرگتر از یک حباب خالص نیتروژن است.

۶- طیف SBSL قویاً وابسته به نوع گاز درون حباب است: زنون یک قله طیفی در حدود ۳۰۰ nm دارد، در صورتی که طیف هلیم به سمت ماوراء بنفش یک قطع شدگی دارد.

۷- با افزایش دامنه موج فراصوتی شدت نور زیاد می شود. البته بالای یک آستانه معین دامنه، هیچ حباب پایداری وجود ندارد و SBSL مشاهده نمی شود.

۴-۱- کاربردها

جستجوهای نظری و آزمایشگاهی در زمینه آوادرخش تک حبابی هنوز ادامه دارد. اصولاً از کشف این پدیده به صورت مدون بیشتر از چند سال نمی گذرد و SBSL هنوز کاربرد تجاری پیدا نکرده است. هر چند می توان برخی از موارد کاربرد SBSL را اشاره کرد. مثلاً به عنوان یک منبع پالس های نور پیکوثانیه ای یا به عنوان یک ساعت، چون خصلت تناوبی SBSL عالی است. از طرف دیگر از دما و فشار بالای درون حباب می توان بهره برد. مثلاً از آوادرخش چند حبابی^۱ (MBSL) در واکنش های شیمیایی استفاده شده است [۱۲]، که به سونوشیمی معروف است. در این مورد شدت ها مهم نیستند، بلکه دما و فشار بالا اهمیت دارند. خصوصاً مدت زمان کوتاه دما و فشار بالا می تواند بسیار

مفید باشد. آهنک سرد شدن درون حباب بسیار بزرگتر از آهنکی است که از یک ابزار شیمیایی معمولی به دست آید. نوسانات حباب برای تولید آهن آمورف مفید است [۱]. ترکیبات آهن درون حباب به اتم هایش تجزیه می‌شوند و در پی آن آهن آمورف در نتیجه آهنک بالای سرد شدن تشکیل می‌شوند (اتم های آهن نمی‌توانند متبلور شوند). جذاب ترین کاربردها، در حال حاضر، همجوشی هسته ای است که در آزمایشگاه ملی لاورنس لیورمور [۱۳] انجام شده است. آنها ادعا می‌کنند که دما و فشار بالای درون حباب می‌تواند نوعی همجوشی هسته ای داخل حباب به وجود آورد: امواج صوتی اعمال شده بر مایعی که در بالن قرار داده شده بود، حباب‌هایی به وجود می‌آورد که قبل از اینکه از بین بروند، منبسط می‌شوند. در این آزمایش تریتوم با یک انرژی مشخصه - در حدود ۲/۵ MeV - مشاهده شد. جزئیات این بررسی‌ها در فصل چهارم خواهد آمد.

پایان نامه حاضر شامل چهار فصل است. فصل دوم مروری بر دینامیک حباب و معادلات حاکم بر نوسانات SBSL دارد. در این فصل معادله رایلی-پلست، که اصلی ترین معادله حاکم بر حباب است، و معادله حالت گاز، که تحول گاز درون حباب را در هر لحظه نشان می‌دهد، و نیز چگونگی واکنش‌های شیمیایی، انتقال جرم، ناپایداری‌های سطحی، مکانیزم‌های گسیل نور و روش عددی به کار رفته بحث خواهد شد. در فصل سوم به بررسی شبیه سازی انجام گرفته در زمینه دینامیک حباب و مدل هیدروشیمیایی خواهیم پرداخت. این فصل همچنین نتایج به دست آمده را در بر می‌گیرد که شامل بررسی تأثیر عوامل مختلف بر شدت نور به دست آمده از آوا درخش تک حبابی است. در این بخش تأثیر دامنه فشار صوتی، نوع مایع، دمای سیال محیطی، که پارامترهایی قابل تنظیم هستند، بر شدت نور و سایر کمیت‌ها بررسی شده است. با توجه به نتایج آزمایشگاهی موجود، فرکانس میدان صوتی و غلظت گاز حل شده در سیال را نیز تغییر داده ایم. همچنین تأثیر فرکانس میدان صوتی و غلظت گاز حل شده در سیال را بر این پدیده بررسی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرده ایم.

فصل دوم

بحث نظری دینامیک حباب

در این فصل ابتدا به صورت مختصر به تعریف برخی کمیت‌های مرتبط با پدیدهٔ آوا درخش می‌پردازیم و بعد از آن معادلات حاکم بر مجموعهٔ سیال و حباب را شرح خواهیم داد. در پایان نیز ساز و کارهای گسیل نور توضیح داده شده است.

۲-۱- تعاریف

لزجت^۱

سیال ماده‌ای است که تحت اثر یک تنش برشی - هر چند هم که کوچک باشد - بی‌وقفه تغییر شکل می‌دهد. تنش برشی، مؤلفهٔ مماسی نیروی وارد به سطح است. نسبت نیروی برشی به مساحت، تنش برشی متوسط نامیده می‌شود. حد نسبت مزبور، هنگامی که سطح به سمت نقطه میل کند، تنش برشی در آن نقطه است. گرادیان سرعت را می‌توان آهنگ حرکت یک لایهٔ سیال نسبت به لایهٔ مجاور آن دانست. بنابراین به فرم دیفرانسیلی داریم [۱۴]:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (۱-۲)$$

که در آن μ لزجت، u سرعت سیال و τ تنش برشی است.

۱- Viscosity

معادله فوق رابطه تنش برشی و آهنگ تغییر شکل زاویه‌ای برای جریان یک بعدی سیال است. این معادله به نام قانون لزجت نیوتن معروف است. μ را لزجت می‌نامند. اگر μ مقداری ثابت باشد، سیال را نیوتنی و در غیر اینصورت غیر نیوتنی می‌گویند. در مطالعه جریان سیال لازم است که در بین تمام خواص سیال بیش از همه به لزجت توجه کنیم. لزجت خاصیتی است که سیال به واسطه آن در مقابل تنش برشی مقاومت می‌کند. با افزایش دما، لزجت گازها افزایش اما لزجت مایعات کاهش می‌یابد. در مایعات فاصله مولکول‌ها بسیار نزدیک‌تر از گازهاست. لذا نیروی جاذبه مولکولی در مایعات بسیار بیشتر از گازهاست. عامل اصلی لزجت مایعات نیروی جاذبه مولکولی است. حال از آنجا که با افزایش دما نیروی جاذبه مولکولی کاهش می‌یابد، لزجت مایعات نیز کاهش می‌یابد. اما در گازها جاذبه مولکولی بسیار کم است. مقاومت گازها به تنش برشی عمدتاً ناشی از تبادل تکانه مولکولی است. در فشارهای معمولی، لزجت سیال مستقل از فشار است و فقط به دما بستگی دارد.

حفره‌سازی^۱

در تأسیسات آبی در بسیاری موارد ممکن است، در محل‌های خاصی فشارهای بسیار کمی ایجاد شود. اگر فشار به فشار بخار مایع برسد و یا از آن کمتر شود، مایع به بخار تبدیل می‌شود. حباب‌های بخار تشکیل شده، به سرعت منبسط می‌شوند. این پدیده حفره‌سازی نامیده می‌شود [۱۴]. معمولاً حباب‌های بخار از نقطه تشکیل خود، جابه‌جا شده و با جریان مایع به ناحیه‌ای برده می‌شوند که فشار آن از فشار بخار بیشتر است. در این ناحیه حباب‌ها می‌ترکند.

کشش سطحی

در سطح مشترک یک مایع و یک گاز، یا دو مایع غیر محلول، به نظر می‌رسد که فیلم یا لایه مخصوصی تشکیل می‌شود که ظاهراً ناشی از نیروی جاذبه بین مولکول‌هایی است که روی سطح قرار دارند. مثال این پدیده شناور شدن سوزن روی آب است. به این اثر کمیتی نسبت می‌دهیم که کشش سطحی، σ ، گفته می‌شود و واحد آن در دستگاه SI نیوتن بر متر است.

۲-۲- معادله رایلی - پلست

به استثنای یک بازه زمانی در حدود $200ms$ ، هنگامی که حباب نزدیک شعاع کمینه‌اش، R_{min} ، است، سرعت دیواره آن، $\dot{R}(t)$ ، کمتر از 0.1 سرعت اولیه صوت در گاز می‌باشد و کمتر از 0.25 سرعت صوت در آب است [۹]. بنابراین در $99/5\%$ سیکل صوتی هیدرودینامیک، عدد ماخ پایین را برای توصیف