

مطالعه پدیده تعادل کم ثبات و Nucleation و کاربردهای این موارد

مهندس فرشید مردکاری^۱؛ دکتر سیروس آقا نجفی^۲
eng_far_mm@yahoo.com

چکیده

موضوع مورد بحث در ارتباط با پدیده شبه تعادل یا تعادل کم ثبات (Meta stable)، Nucleation و مایعات سوپرهیت (Superheat) و مایعات سوپرکولد (Supercold) که در اثر این پدیده بوجود می آیند و برخی از کاربردهای موارد ذکر شده می باشد. بطور کلی وضعیت شبه تعادل یا تعادل کم ثبات در سه حالت می تواند اتفاق بیفتد که عبارتند از: به هنگام عبور از فاز مایع به فاز بخار در اثر گرم شدن، هنگام گذر از فاز مایع به جامد در اثر سرد شدن و به هنگام حرکت بخار آب در داخل نازل های همگرا و واگرا و یا همگرا که قبل از بوجود آمدن فرآیند چگالش می تواند اتفاق بیفتد البته حالت های اول و دوم بسیار بیشتر از حالت سوم در طبیعت و صنایع مختلف دیده شده است و محصولات کاربردی حاصله از آن دو حالت زیاد می باشد البته انحرافات واغتشاشات که درباره آنها توضیح داده خواهد شد می تواند این وضعیت را به هم بزند و یا بطور کلی حتی این وضعیت را حذف کند و همچنین روابطی که بدست آمده نشان می دهد که درجه سوپرهیت مایع دارای یک مینیمم و یک ماکزیمم مقدار می باشد.

کلیدواژه:

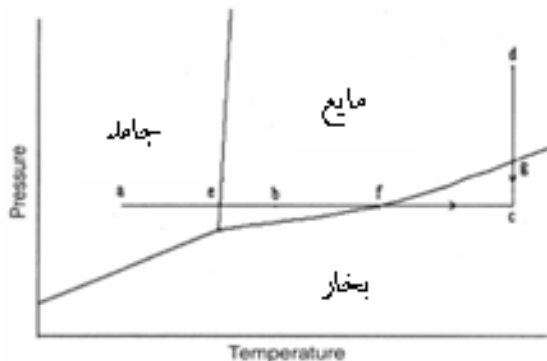
پدیده شبه تعادل - هسته زایی - سوپرهیت - سوپرکولد - درجه سوپرهیت

نمادها و علائم

P_v	فشار بخار تعادل	P	فشار
T_{S1}	درجه سوپرهیت	T	دما
P_0	فشار محیط	G	انرژی گیس
J	میزان هسته زایی	$\gamma(T)$	کشش سطحی

۱- مدرس آموزشکده فنی تبریز و آموزشکده آزادعالی سماء ممقان کیلومتر ۴۰ تبریز - آذرشهر

۲- دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی - گروه مکانیک



شکل (۱): منحنی فشار-دما

۱- مقدمه

دانشمندان و محققین علوم مکانیک و شیمی در طی سالیان متمادی بخصوص در نیمه دوم قرن بیستم با مطالعه بر روی تغییرات فازی و گذار از یک فاز به فاز دیگر بواسطه انتقال حرارت که اکثراً بواسطه فرآیندهای جوشش و چگالش که همراه با تولید حباب و تشکیل قطرات بوده، در فرآیندهای مختلف به وجود وضعیت شبه تعادل در هنگام تغییر فاز از مایع به بخار و تغییر فاز از مایع به جامد پی بردند.

پدیده ذکر شده هم در فیزیک سائز میکرو و هم ماکرو در فرآیندهای مختلفی دیده شده است و یک تلاش قابل توجهی در بدست آوردن ارتباط نتایج مطالعات صورت گرفته در این زمینه می باشد که البته بواسطه پیشرفتهایی که بوسیله تکنولوژیهای جدید در تجهیزات مختلف نظیر اشعه ایکس، ترمومتری Infrared با سرعت زیاد، فرآیند تشدید مغناطیس هسته (NMR)، پرتونگاری نوترون، انتقال حرارت از طریق میکرو تیبوها و ... تأییدی است بر نقش مهمی که این فرآیند در علم فیزیک سائزهای مختلف (از میکرو تا ماکرو) دارد.

همچنین برخی از دانشمندان با مطالعه بر روی فرآیندهای جوشش هسته‌ای و جوشش فیلمی دریافتند که وضعیت شبه تعادل و تشکیل مایع سوپرهیت همانطور که در شکل زیر نیز نشان داده شده است به هنگام تبدیل از وضعیت جوشش هسته‌ای پایدار به وضعیت جوشش فیلمی بوجود می‌آید که به آن نقطه شار گرمای اوج گفته می‌شود و بعد از عبور از این نقطه هر افزایش دما سبب کاهش شار گرما می‌شود. [۴]

محققین در فرآیندها و پدیده‌های مختلف طبیعی و غیر طبیعی از قبیل فرآیند پختن غذاهای غله‌ای به شیوه روزن رانی، فرآیند Triggling یا انفجار، فرآیند سیستم گرمایش حلقوی، درگردها یا ترنادوها، هنگام حرکت هواپیماها در مناطق سردسیر، حرکت بخار آب در داخل نازل همگرا و واگرا و ... توانستند حالت شبه تعادل را مشاهده کنند.

۲- حالت پایداری شبه تعادل همراه با سوپرهیت

بطور کلی هر مایع که در دمای بالاتر از نقطه جوش خودش تحت شرایطی بتواند بصورت مایع باقی بماند و به بخار تبدیل نشود به آن مایع سوپرهیت گفته می‌شود [۵] همانطور که در دیاگرام P-T (شکل ۱) برای یک مایع سوپرهیت و شرایط شبه تعادل در زیر رسم شده است، در دیاگرام P-T در ابتدا مایع در وضعیت‌های e و b می‌باشد و نقطه c وضعیت بخار خالص را نشان می‌دهد. اگر مایع

بطور آهسته گرم شود و دمایش افزایش یابد و در ضمن مایع مورد نظر عاری از هر گونه ناخالصی‌ها بوده و سطوح تماس با مایع هم صاف باشد مایع می‌تواند در اثر گرم شدن به نقطه c برسد بدون آنکه جوشش اتفاق بیفتد. در نقطه d مایع سوپرهیت بوده و شرایط شبه تعادل حکمفرما می‌باشد اگر در این شرایط اغتشاشاتی در سیستم وارد شود فوراً مایع شروع به جوشش نموده و حبابهای کروی تولید و مایع به بخار تبدیل می‌گردد و در نتیجه حالت g و سپس e را خواهیم داشت این اغتشاشات می‌تواند بوسیله زبری و یا حتی وارد کردن یک میله فلزی به داخل مایع و ... ایجاد گردد به این عوامل اغتشاش Nucleic گفته می‌شود و عامل جوشش را هسته مرکزی اغتشاش نامند مایعات تحت شرایطهای مختلف دارای درجات سوپرهیت متفاوت می‌باشند. [۱]

۳- درجه سوپرهیت

عبارتست از اختلاف درجه حرارت مایع بین یک درجه حرارت بالا و نقطه جوش مایع در فشار یکسان می باشد که در دیاگرام شکل بالا اختلاف f و c همان درجه سوپرهیت می‌باشد. [۵] در مورد دیاگرام P-V نیز که در زیر آمده است وضعیت بدین صورت است وقتی مایع منبسط می‌گردد در آنسوی نقطه B و در دمای ثابت فشار افزایش می‌یابد وقتی به نقطه D می‌رسیم حالت شبه تعادل شروع می‌شود و در طول خط BC سیستم در تعادل پایدار نمی‌باشد بلکه در وضعیت تعادل کم‌ثبات می‌باشد اگر فشار کم باشد مایعی که در آنسوی نقطه C قرار دارد نمی‌تواند سوپرهیت گردد. با توجه به منحنی P-V درمی‌یابیم وقتی آزمایش را در درجه حرارت‌های بالای نقطه جوش انجام دهیم دیگر شرایط تعادل کم‌ثبات بوجود نخواهد آمد بنابراین برای بوجود آمدن شرایط تعادل کم‌ثبات لازم است که دما، از دمای جوش مایع بالا باشد.

تحقیقات نشان داده است که وقتی $\left[\frac{\partial p}{\partial v} \right]_T < 0$ شرایط

در یک سطح جامد در زیر آمده است [۶]:

$$j = N^{\frac{2}{3}} \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) \sqrt{\frac{2\sigma_{lv}}{\pi n B f(\theta)}} \exp \left(-\frac{16\pi\sigma_{lv}^3 f(\theta)}{3kT(\eta P_{sat}(T) - P)^2} \right) \quad (1)$$

که در آن:

$$B = 1 - \frac{1}{3} \left(1 - \frac{P}{\eta P_{sat}(T)} \right) \approx \frac{2}{3}, \quad \eta = \exp \left(-\frac{\nu(P - P_{sat}(T))}{RT} \right) \quad (2)$$

$$f(\theta) = \frac{1}{4} (2 + 3\cos\theta - \cos^3\theta)$$

وجود یک سد انرژی برای متوقف کردن ایجاد هسته زایی بخاطر سطح مشترک مابین فازهای بخار و مایع می باشد. انرژی آزاد مورد نیاز برای تشکیل یک حباب بخار کروی به شعاع r در یک مایع بوسیله Gibbs با استفاده از ترمودینامیک کلاسیک بصورت زیر بدست می آید. [۵]

$$G = 4\pi r^2 \gamma(T) - (4\pi/3)r^3(p_v - p_o). \quad (3)$$

که در آن $\gamma(T)$ کشش سطحی (در سطح مشترک مایع و بخار) از مایع، T درجه حرارت و P_v فشار بخار تعادل مایع سوپرهیت می باشد و P_0 فشار محیط می باشد. اختلاف $P_v - P_0$ اغلب بصورت ΔP_0 مورد استفاده قرار می گیرد که این اختلاف فشار در واقع نشان دهنده درجه سوپرهیت مایع در دمای T نیز می باشد بنابراین اگر $P_v = P_0$ باشد دیگر حالت سوپرهیت اتفاق نمی افتد.

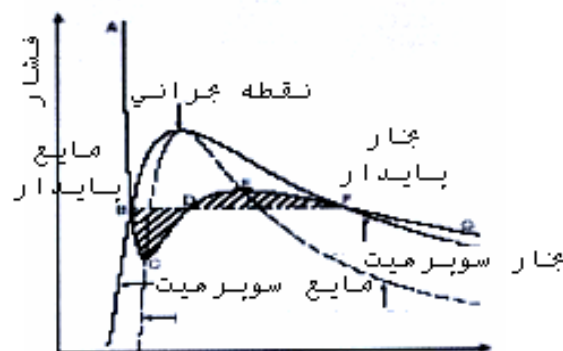
در ضمن علاوه بر فرمول وندروال، رابطه دیگری نیز در ارتباط با انرژی گیبس بدست آمده است که در زیر آمده است. [۶]:

$$\Delta G = \gamma.A + \Delta g.V \quad (4)$$

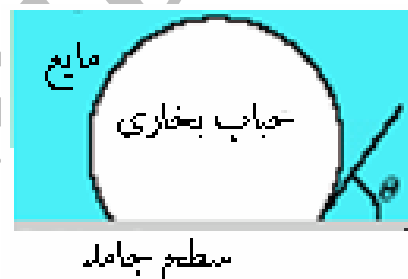
که در آن ΔG مقدار انرژی آزاد گیبس و γ کشش سطحی و A مساحت و V حجم حباب کروی است و Δg تفاوت انرژی آزاد گیبس مابین بخار و سطح جامد با فرض اینکه بخار یک گاز ایده آل است از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta g = -\rho_i . k_b . T . \ln \left(\frac{\rho}{\rho_i} \right) \quad (5)$$

با بررسی دو فرمول بالا به این نتیجه می رسیم که وقتی $P_v = P_0$ صفر است یعنی $P_v = P_0$ که همان معادل $\rho_e = \rho$ در رابطه دوم می باشد یعنی $\Delta g = 0$ پس $\Delta G = \gamma.A$ می شود.



شکل (۲): منحنی فشار-دما مشخص کننده مکان های شبه تعادل

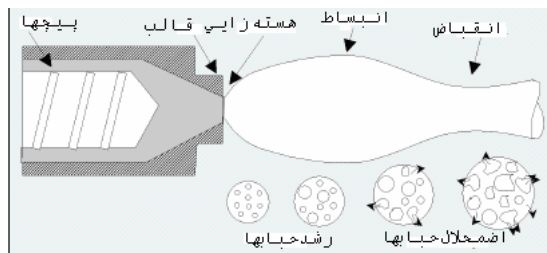


شکل (۳): نحوه استقرار یک هسته به هنگام تولید نسبت به سطح

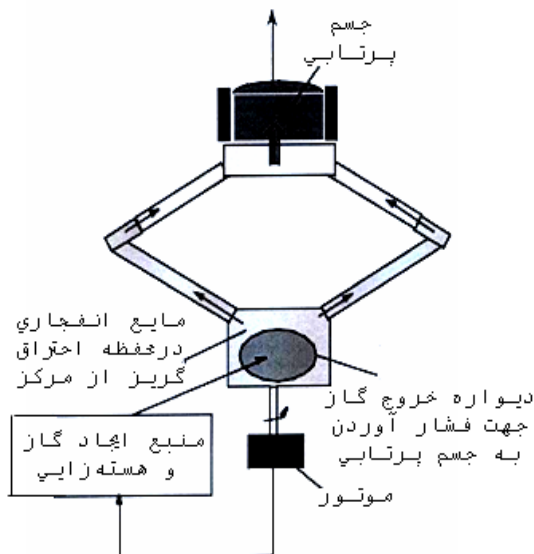
شبه تعادل در مایع می تواند حکمفرما باشد ولی وقتی $\left[\frac{\partial p}{\partial v} \right]_T > 0$ مایع در شرایط ناپایدار می باشد.

۴- هسته زایی (Nucleation)

هسته زایی فرآیندی است که بواسطه تشکیل هسته ها که منجر به تشکیل یک فاز جدید می شود می باشد و همانطور که قبلاً ذکر گردید انحرافات مختلفی می توانند این وضعیت را بوجود آورند بطور کلی دو نوع هسته زایی داریم: همگن (homogenous) و ناهمگن (heterogeneous). هسته زایی همگن بوسیله حرارت متمرکز و نوسانات دانسیته در فاز مایع شبه تعادل می باشد چیزی که دسته مولکولها را به طرف بخار شدن هدایت می کنند مانند حالت انرژی. این دسته مولکولها مجدداً توسعه می یابند تا بحالت بخار بحران یا همان جوشش هسته ای برسند. هسته زایی ناهمگن وقتی بوجود می آید که فاز مایع تماس پیدا کند با فازهای دیگر یا با بدنه خارجی، نظیر سطح حبابهای گازپائین فعالیت می تواند بوسیله فعالیت کششی سطحی مایع کاهش و یا حتی حذف گردد. رابطه میزان هسته زایی (J) با کشش سطحی σ در هسته زایی ناهمگن



شکل (۴): طرحواره فرآیند روزن رانی



شکل (۵): یک وسیله ذخیره سازی انرژی جهت استفاده در فرآیند انفجار

فرآیند روزن رانی که یک پدیده یا فرآیند نسبتاً پیچیده‌ای است که معمولاً در دمای بالا و در رطوبت کم اتفاق می‌افتد می‌باشد که همراه با انقباض و برجستگی در محصولات ایجاد شده است و متشکل از چندین فرآیند شامل دگرگونی ساختار بیوپلیمری، تغییر فاز، هسته زایی، انقباض همراه با برجستگی (Extradite Swell)، تولید حبابها که تقریباً بطور متعادلی در بوجود آوردن این پدیده شرکت دارند.

Kokini و همکارانش (۱۹۹۲) تقریباً فازهای مختلفی را که در آن روزن رانی را شامل می شود شناسائی نمودند که آن پدیده ها بطور خلاصه در شکل ۴ در زیر نشان داده شده است:

که این مکانیزمها در پاراگراف قبل معرفی شدند و آن بدین صورت انجام می پذیرد که ابتدا نیروی برشی بالا همراه با فشار، درجه حرارت بالای داخل اکسترودر منجر به تغییر شکل آردهای غله ای به حالت ذوب و ویسکو الاستیک (ذوبی که حالت پلاستیک مانند دارد) می شود.

همچنین رابطه دیگری که با استفاده از دو رابطه بالا بدست می‌آید بصورت زیر است :

$$P_v - P_0 = \rho_i \cdot k_b \cdot T \cdot \ln\left(\frac{\rho}{\rho_i}\right) \quad (۶)$$

یعنی اگر بخواهیم درجه سوپرهیت بیشتر شود باید $P_v \gg P_0$ یا $\rho_v \gg \rho_0$ باشد .

۵- محدودیت سوپرهیت:

ممکن است پس از مرور کردن مباحث ذکر شده این سوال پیش آید که ماکزیمم درجه سوپرهیت که در یک مایع می‌تواند بدست آید چقدر است و یا چقدر درجه حرارت یک مایع می‌تواند افزایش یابد بدون اینکه جوشش اتفاق بیفتد. یک محدودیت بالای تئوریکی از سوپرهیت دمای بحرانی مایع است. زمانی که در درجه حرارت بالای نقطه جوش هستیم فاز مایع نمی‌تواند به مقدار زیادی بوجود آید اگر چه یک دمای ماکزیمم قابل دسترس وجود دارد برای یک مایع قبل از اینکه جوشش اتفاق بیفتد، که محدودیت سوپرهیت نام دارد. آن جالب است بدانیم که تا چه حد رسیدن به محدودیت بالای ترمودینامیکی امکان‌پذیر خواهد بود. محدودیت سوپرهیت می‌تواند برآورده گردد بوسیله تئوری پایداری ترمودینامیکی یا آنالیزهایی که بواسطه دینامیک سائز بحرانی حبابهای بخار می‌باشد، این محدودیت با استفاده از معادله وندروال به صورت زیر قابل محاسبه است [۵]:

$$T_{s1} = 27T_c/32. \quad (۷)$$

یک فرمول تجربی با ارزش دیگر که برای بیشتر مایعات Organic نیز در رابطه با بحث مذکور صادق است که در آن Pc فشار بحرانی و P فشار محیط می‌باشد عبارتست :

$$T_{s1} = T_c[0.11(P/P_c) + 0.89], \quad (۸)$$

۶- بعضی از فرآیندهایی شامل پایداری کم ثبات همراه با سوپرهیت

فرآیندهایی زیادی امروزه در صنایع مختلف در جهان وجود دارد که پدیده شبه تعادل در آنها دیده شده است که در زیر نمونه هایی از این موارد ذکر شده است :

الف: روزن رانی (Extrude Expansion) [۷]

یکی از مواردی که پدیده شبه تعادل و هسته زایی در آنها دیده شده است فرآیند پختن یا گرم شدن غذاهای غله‌ای از قبیل انواع نان، نانهای گندمی، جو، چس فیل (Popcorn)، برنج و ... تحت

گسیختگی یا انفجار و مایعات pretension انجام داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که ماکزیمم اندازه ممکن از pretension قبل از شروع کاپیتاسیون برای یک مایع به این منظور بطور مثال برای آب و جیوه می‌تواند بسیار بزرگ به ترتیب در حدود ۱۴۰۰ bar و ۱۷۰ bar باشد. در این وضعیت مواد در حالت شرایط شبه تعادل هستند در چنین حالتی که منجر به انفجار می‌گردد که همراه با فشارهای موضعی زیاد و درجه حرارت زیادی می‌باشد می‌تواند انرژی بسیار زیادی آزاد گردد که همراه با قابلیت تراکم بسیار بالا که حتی در حدود ۱۵ برابر بیشتر از TNT می‌تواند باشد.

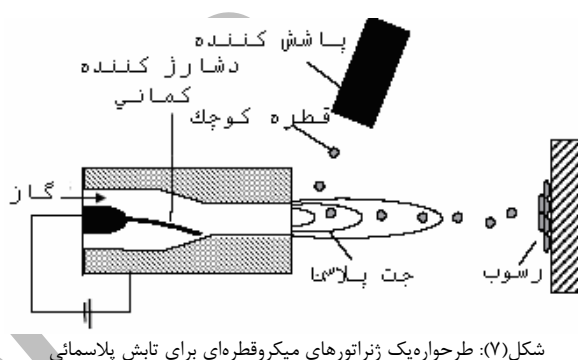
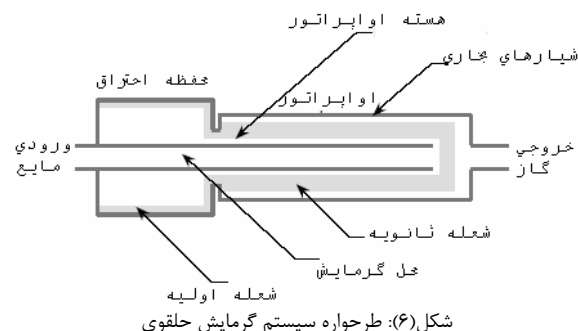
وضعیت نزدیک به حالت انفجاری همگن هنگامی است که بطور استاتیکی و ذاتاً دارای نوسانات بسیار شدیدی باشیم. وسایل ذخیره‌سازی انرژی در سیال با استفاده از چنین پدیده‌ای که همراه با شرایط تعادلی است می‌تواند با استفاده از سانتریفوژهای گریز از مرکز که نمونه‌ای از آن در شکل ۵ در زیر نشان داده شده است باشد.

د: فرآیند سیستم گرمایش حلقوی (LHP) [۱۰]

یکی دیگر از مواردی که می‌توان وضعیت پایداری کم‌ثبات همراه با مایع سوپر هیت را مشاهده نمود در سیستم گرمایش حلقوی می‌باشد. این سیستم همانطور که در شکل ۶ در زیر نشان داده شده است دارای یک اواپراتور می‌باشد که این اواپراتور دارای محفظه احتراق، هسته و شیرهای بخاری لوله پهن در وسط آن و یک سری فیتله‌هایی می‌باشد که در سرتاسر دیواره داخل و محفظه احتراق وجود دارد و مزیت این سیستم بخاطر نیاز داشتن به انرژی ورودی کم برای شروع به کار است و عامل کار کردن سیستم LHP وجود اختلاف فشار در سرتاسر فیتله و در نتیجه وجود گرادیان دما در اطراف آن می‌باشد. اساس کار آن بطور خلاصه به این صورت می‌باشد که گرما از طریق محفظه احتراق اعمال می‌شود به دیوارهای اواپراتور و بنابراین آن اجازه می‌دهد سیستم شروع به پمپ کردن کند و سپس در ادامه گرمایش، ایجاد بخار می‌شود که بخار از شیرهای بخاری خارج و در نتیجه مایع موجود در داخل لوله را گرم کند.

ه: فرآیند داخل بعضی از ژنراتورهای میکرو قطره‌ای (Micro droplet) [۱۱]

یکی دیگر از مواردی که پدیده شبه تعادل مشاهده شده است نوعی از ژنراتورهای میکرو قطره‌ای است که برای تابش پلاسمایی بکار می‌رود. این ژنراتورها در حقیقت سائز کوچکی از ژنراتورهای قطره‌ای می‌باشد که موارد استفاده زیادی

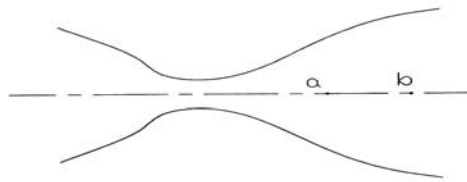


ب: فرآیند داخل موتورهای تزریق مستقیم گازوئیلی (GDI) [۸]

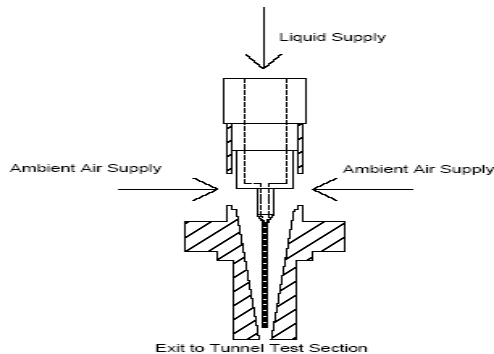
این موتورها که با یک تکنولوژی جدیدی همراه است فرآیند داخل آن بر مبنای پاشش بنزین و فرآیند تبخیر در کمترین زمان ممکن است. در این موتورها سوختی که تزریق خواهد شد می‌تواند قبل از تزریق بوسیله انتقال گرما از سرسیلندر و تزریق کننده (injector) گرم شود. بنزین گرم شده به آسانی می‌تواند به فشاربخاری که بالاتر از فشار سیلندر است برسد در هنگامی که فرآیند تزریق سوخت انجام می‌پذیرد و در این حالت شرایط شبه تعادل حکمفرما است و سوخت به صورت سوپر هیت است، اگر این سوخت سوپر هیت با فشار کمی که در قسمت سیلندر موتور می‌باشد مواجه شود قسمتی از سوخت سریعاً به واسطه جوشش ناگهانی تبخیر می‌شود.

ج: فرآیند انفجار (Trigging) [۹]

یکی دیگر از مواردی که شرایط شبه تعادل مشاهده شده است شرایط مربوط به انفجار همراه با فرآیند تبخیر (Trigging) یا pretension با استفاده از مایعات pretensioner نظیر اکتان، اتانل و... می‌باشد. این پدیده یا این نوع انفجار در یک فشار منفی صورت می‌گیرد مایعات ذکر شده به محض رسیدن به یک وضعیت مناسبی از ناپایداری منجر شده و انرژی ذخیره شده‌شان آزاد می‌شود دانشمندان بر روی این پدیده و همچنین تعیین سرحدهای



شکل (۸): طرحواره یک نازل همگرا و واگرا



شکل (۹): طرحواره یک نازل همگرا برای تولید پدیده شبه تعادل همراه با بخار فراسرد و کاربردهای آن

۸- حالت پایداری کم ثبات همراه با سوپرکولد

آزمایشات نشان داده است که اگر آب را در داخل یک ظرف صیقلی بزرگ خنک کنیم آب به صفر درجه سانتیگراد می‌رسد ولی هنوز در داخل یخ تشکیل شده آب وجود دارد اگر به این ظرف با انگشتان ضربه بسیار کوچکی بزنیم (این ضربه حکم هسته‌زایی را دارد) آب سریعاً یخ بسته و بلورهای یخ در سرتاسر محیط مورد نظر تشکیل می‌شود به این حالت در ترمودینامیک مایع سوپرکولد گفته می‌شود.

۹- بعضی از فرآیندهایی شامل حالت پایداری کم ثبات همراه با سوپرکولد

فرآیندهایی امروزه در در جهان وجود دارد که پدیده شبه تعادل همراه با مایع سوپرکولد در آنها دیده شده است که در زیر نمونه‌هایی از این موارد ذکر شده است :

الف: حرکت هواپیماها در مناطق سردسیر [۱۴]:

از مواردی که پدیده شبه تعادل همراه با مایع سوپرکولد دیده شده است هنگامی است که هواپیما و یا هر نوع وسیله پرنده دیگری در حال پرواز در قسمت نسبتاً سردسیری و از میان ابرها می‌باشد و دمای محیط بین 0°C تا -10°C است. در این هنگام قطرات آب بخصوص در برخورد با بالهای هوا به سرعت یخ زده و قطراتی نیز در

امروزه دارند که برخی استفاده‌های مهم این دستگاهها از قبیل پرینترهای جوهرافشان، دستگاههای رنگ افشان، دستگاههای writing-direct، دستگاههای تزریق سوخت، صنایع بسته‌بندی، دستگاههای تابش پلاسمایی و غیره می‌باشد.

اما در ارتباط با بحث پایداری کم ثبات ژنراتورهای میکرو قطره‌ای می‌باشد که برای تابش پلاسمایی با استفاده از ذرات بسیار ریز سرامیک صورت می‌گیرد که طرحواره آن در شکل ۷ در زیر نشان داده شده است که در هنگام پاشش ذرات سرامیک تحت یک فرایند رو به بالا صورت می‌گیرد پدیده شبه تعادل و همچنین تراکم شدیدی از نقصهای نقطه‌ای در آن بعضاً دیده شده است.

۷- بعضی از کاربردهای مایعات سوپرکول

مایعات سوپرکول امروزه استفاده‌های گوناگونی در علوم مختلف دارد که در زیر نمونه‌های از این موارد آمده است :

الف: تابش ذرات نوترون [۱۲]

استفاده از مایعات سوپرکول به منظور تابش ذرات نوترون اولین بار توسط دانشمندی بنام Glaser صورت

گرفت ،اساس کار وی استفاده از یک محفظه‌ای که اتاقک حباب بعداً نامگذاری شده بود وی با عبور دادن ذرات انرژی از داخل این محفظه و با کاهش فشار داخل محفظه و با استفاده از مایعاتی نظیر R-12 ($\text{C}_2\text{CL}_2\text{F}_4$) و با گرم کردن محفظه و در نتیجه تبخیر مایع مذکور و ایجاد حباب‌ها توانست به این موفقیت نائل آید در ضمن لازم بذکر است که هنگامی که مایع در حالت تبدیل به بخار میباشد نیاز است که فشار محفظه ثابت نگه داشته شود.

ب: تابش ذرات گاما و یونهای سنگین [۱۲]

محققین در ادامه راه دانشمندانی که موفق به تابش ذرات نوترون با استفاده از مایعات سوپرکول شدند با استفاده از روشهای مشابه و مایعات سوپرکول توانستند اشعاعات گاما را نیز بتابانند. بدین منظور با استفاده از مایع R-114 ($\text{C}_2\text{CL}_2\text{F}_4$) با درجه حرارت اولیه 50°C درجه سانتیگراد دما و ادامه گرمایش تا 70°C درجه سانتیگراد و تبدیل مایع به بخار و فرآیند هسته‌زایی این کار میسر شد.

ج: استفاده از مایعات سوپرکول در داخل میکروتیوب ها [۱۳]

یکی دیگر از موارد استفاده مایعات سوپرکول در داخل میکروتیوب ها در دستگاههای مختلف از جمله مبادله کنه‌های فشرده گرما از نوع بدون استفاده از سطوح انبساط یافته می‌باشد. این میکروتیوب ها که قطر آنها عموماً از ۰.۶ تا ۳ میلیمتر می‌باشد در این پروسه ضریب انتقال حرارت با افزایش کیفیت بخار و سوپرکول شدن نزدیک دیواره کاهش می یابد .

مسافتهای طولانی نظیر ابرها و حتی ستارگان و سیارات و حتی از به عنوان یک اسپکترومتر، تاج نگار و یا قطب سنج از NICMOS استفاده کرد.

۱۱- حالت پایداری کم ثبات و بخارفراسرد (Subcold vapor)

فرض کنید یک نازل همگرا و واگرا داریم اگر بخار آب در داخل این نازل حرکت کند آنچه انتظار می رود اینست که در قسمت واگرا و مثلاً در در مقطع a (شکل ۸) چگالش رخ دهد. اما آزمایشات نشان داده است که در مقطع a چگالش رخ نداده بلکه این چگالش در نزدیک مقطع b رخ می دهد [۲].

در مقطع b وقتی اولین قطره چگالش می یابد سریعاً تمام مقطع شروع به چگالش می کند که به این حالت شوک چگالش یا Condition Shock گویند بنابراین در این حالت وجود اولین قطره چگالش یافته حکم Nuclei را خواهد داشت که موجب می گردد تمام مقطع سریعاً چگالش کند. البته همانطور که قبلاً ذکر شد اغتشاشات می تواند باعث از بین رفتن وضعیت هسته زایی و یا زودتر بوجود آمدن آن گردد که در این مورد هم اغتشاشاتی از قبیل زبری مابین قسمتهای a و b و همچنین تزریق قطره از طریق دیواره سیال به بخار موجود در قسمت a و b می تواند سبب رخ دادن سریعتر چگالش گردد که اغتشاشات ذکر شده حکم nuclei را دارند این حالت بخارفراسرد نیز نامیده می شود.

۱۲- فرآیند شامل پدیده شبه تعادل همراه با بخارفراسرد و کاربردهای آن

یکی از مواردی که در آن پدیده شبه تعادل مشابه با وضعیتی که در قسمت ۳ بیان شد مشاهده شد متدی بود که در آن از نازل های همگرا و واگرا یا نازل های همگرا برای ایجاد و برش قطرات مایع استفاده شد.

در این متد با استفاده از یک نازل همگرا ۶ درجه، با مساحت گلوگاه در حدود ۴.۴۵ مترمربع و با یک سوزن در خروجی نازل با قطر ۰.۴mm (۰.۰۱۵۶ in) و بود و قسمت داخلی نازل از ماده پلاستیکی بوده و در انتها یک پی پت ۵۰ ml و قسمت خارجی نازل از اپوکسی رزین شده ساخته شده است که در شکل ۹ بصورت شماتیک نشان داده شده است :

در این فرآیند مایع الکل از درون نازل جریان می یابد و سپس با عبور از سوزن به طرف تونل تست هدایت می شود و جریان هوا با سرعت نزدیک به سرعت صوت در قسمت بالای تونل تست عمود بر

این حالت تشکیل می شود که به آنها قطرات سوپرکولد گفته می شود و سایز این قطرات از رنج ۳۰ تا ۴۰۰mm می تواند باشد که کوچکتر از سایر قطرات باران بوده و بزرگتر از سایز قطرات ابری می باشد. مطالعات نشان داده است که یخ بستن قطرات باران و یا ابری در هوا نتیجه تغییرات که بواسطه افت انرژی است یا وقتی که هواپیما در شرایط جوی مذکور از باند بلند می شود. به دلیل اینکه تغییرات درجه حرارت اتمسفر وابسته به پارامتر ارتفاع می باشند شرایط یخ بستن فقط در یک لایه نسبت نازکی بوجود می آید.

ب: حرکت کشتی ها و زیردریایها در آبهای سرد و نزدیک قطبها [۱۴]:

حالت مشابه با حالت قبلی که می تواند اتفاق بیفتد بواسطه حرکت زیر دریایی ها یا کشتی ها در آبهای سرد و قطبها می تواند اتفاق بیفتد که در این حالت به هنگام عبور کشتی ها بخصوص از میان یخها می تواند منجر به تشکیل پدیده شبه تعادل گردد.

ج: گردبادها و ترنادوها [۱۴]:

یکی دیگر از حالت هایی که محققین نشانه ای از پدیده شبه تعادل را در آن مشاهده کرده اند در گردبادها یا ترنادوها می باشد بطوریکه یکی از محققین گردبادها را به بندرگاه مایعات سوپرکولد تشبیه کرده است.

۱۰- کاربردهای مایعات سوپرکولد

مایعات سوپرکولد و یا همان Cryogen ها نیز همچون مایعات سوپریت امروزه استفاده های گوناگونی در علوم مختلف دارد که در زیر نمونه هایی از این موارد آمده است :

الف: سرد کردن تجهیزات آزمایشگاهی [۱۴]

یکی از کاربردهای مایعات سوپرکولد یا همان Cryogen ها استفاده از آنها برای سرد کردن در بعضی از تجهیزات در آزمایشگاه می باشد مدل های شتاب دهنده مافوق هادی و مغناطیسیهای experimental-area کاربرد نخواهند داشت مگر اینکه توسط مایعات سوپرکولد همچون مایع هلیوم تا درجه حرارتهای برودتی سرد گردند.

ب: سرد کردن دستگاههای عکسبرداری Nicomos [۱۵]

یکی دیگر از این موارد کاربرد مایعات سوپرکولد در دستگاهها و سیستمهای سردکننده ای است که برای سرد کردن دستگاههای عکسبرداری Near-Infrared Camera and Multi-object spectrometer و یا همان NICMOS ها بکار می رود. NICMOS دستگاهی است که شامل سه دوربین فیلمبرداری می باشد که از موضوعات بسیار عریض می توانند عکسبرداری کنند همچنین از

این حالت تداوم داشته باشد .

۱۴- منابع و مأخذ (References)

- [1] W.C.Reynoldes and H.C. Perkins , "Engineering thermodynamics", 2nded McGraw- Hill Book Co , New York ,1977
- [2] E.Sonntag and G.J. Van Vailen , "Introduction to thermodynamics", Classical and Statistical , 2nded, New York ,1982
- [3] O.A. Hougen, K.M. Watson ,and Ragatz , "Chemical Process Principles, thermodynamics" , 2nded , New York ,1959
- [4] M. Najate Ozishik -"Heat Transfe" 2nded,1990
- [5] (Training center/center deformation)- "Introduction to Thermodynamic"
- [6] " Pictures and diagrams about Nucleation dynamics and Superheat state".
- [7] C.I.Moraru and J.L.Cocini. "Nucleation and expansion During Extrusion and Microwave heating of Cereal Foods"
- [8] Baifang Zuo,A.M.gomes and C.J.Rutland. "Studies of Superheated Fuel Spray Structures and Vaporization in GDI engines"
- [9] Rusi P. Taleyarkhan, Colin D.west and Jaeseon Cho -" Nano-to-Macro Scale Triggig of Meta stable Fluids"
- [10] Jane Baumann & Brent Cullimore "A Methodology for Enveloping Reliable State -up of LHPS"
- [11] Fan-Gang Tseng National Tsing Hna University. "Microdroplet Generators"
- [12] S.C.Roy "Use of Superheated Liquid in neutron detection"
- [13] Tzu-Hasing Yen, Nubuhido Kasagi "Forced Convective Boiling Heat transfer in Micro tubes at low Mass and heat Fluxes"
- [14] Byron M.Keel , Charles E.Stancil, EcKert,Susan M.Brown "Aviation Weather Information Requirements"
- [15] T.Simon "Use cryogenes for cooling Lab equipment"s

جریان مایع می دمد که این جریان هوا هم قطرات مایع تولیدی را برش داده و هم آنها را به داخل تونل تست هدایت کند

وجود سرعتهای ناچیز در نوک سوزن سبب تولید قطراتی به قطر 0.1mm می گردد که تعداد قطرات تولیدی می تواند در عدد ماخ ۰.۸۵ در نقطه ای که آنها وارد قسمت تونل تست می شود. زمانیکه قطره از قسمت خروجی نازل عبور نموده و سپس از داخل سوزن وارد تونل می شود در اثر جریان پائین دست پس از شوک در داخل شیپوره، نقطه جوش موضعی پائین می آید که متعاقب آن فشار موضعی کاهش می یابد. بنابراین پائین آمدن نقطه جوش موضعی مهمترین عامل سوپرهیت شدن و پدید آمدن شرایط شبه تعادل در این متد می باشد و موارد استفاده هایی که از این متد پیش بینی شده است استفاده از آن برای تنظیم فشار هوای داخل سفینه ها و هواپیماها می باشد.

۱۳- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و تحقیقاتی که تاکنون در مورد پدیده شبه تعادل و موارد ناشی از آن صورت گرفته است می توان نتایجی که ذیلاً می آید را برداشت نمود :

۱- فرآیندهایی که در آن پدیده شبه تعادل منجر به وضعیت شرایط سوپرهیت یا سوپرکولد شده، چه در طبیعت و چه در صنایع مختلف دیده شده است یا می تواند اتفاق بیفتد بسیار زیادتر از حالتی از این پدیده است که منجر به وضعیت بخار فراسرد شده است که تاکنون این وضعیت فقط در هنگام عبور بخار از نازل های همگرا یا همگرا و واگرا دیده شده است.

۲- برای اینکه شرایط سوپرهیت در یک مایع بوجود نیاید باید $P_v = P_0$ یعنی فشاربخار مایع با فشار در خروج برابر باشد یا $\rho_e = \rho$ یعنی چگالی مایع برابر با چگالی خروجی برابر باشد.

۳- در بعضی موارد و صنایع لازم است که شرایطی تعبیه گردد تا از بوجود آمدن شرایط سوپرهیت یا سوپرکولد عمدتاً به خاطر صرفه جوئی در زمان جلوگیری شود و در بعضی موارد هم بخاطر موارد کاربردی این موارد لازم است شرایطی تعبیه گردد که

Study of Nucleation and Meta stable phenomena's and Applications

Farshid mardkhri; Dr. sirous aghanajafi
eng_far_mm@yahoo.com

Abstract

The subject we discussion about are Nucleation and Meta stable phenomena's , superheat liquids , supercold liquids and meanwhile applications of this liquids. all in all Meta stable situation can occur in three condition: First while changing liquid phase to gas phase by heating , Second changing liquid phase to solid phase by cooling , Third while moving water stream in subsonic nozzles or supersonic nozzles before condensation process occur. Of curse first and second conditions more than third condition view in nature and various industrials and productions of engender in first and second conditions are more than third condition. Of curse skews and turbulences that explain about them can disassemble this conditions. Meanwhile getting relations show that superheat degree have maximum and minimum amount .

Key words:

Meta stable – Nucleation – superheat – supercold - superheat degree