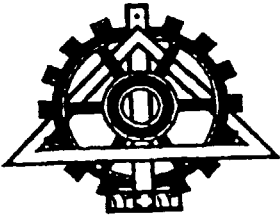


از انظار احسانت و ارادتت در حق من
توسعت و بزرگواری

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۷۲۲۱



۱۳۸۱ / ۲ / ۲۰

دانشگاه تهران

دانشکده فنی - گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی

گروه مهندسی مکانیک
دانشکده فنی دانشگاه تهران

۴۰۲۲۸

عنوان:

اثر شتابهای عرضی متفاوت و نیروهای ناشی از آنها بر عملکرد
خنک کاری یک لوله حرارتی با شیارهای مارپیچ

از این پایان نامه در تاریخ ۸۰/۱۲/۱۳ در مقابل هیئت داوران دفاع بعمل آمد و مورد
تصویب قرار گرفت.

امضاء



سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده

مدیر گروه آموزشی: دکتر منصور نیکخواه بهرامی

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر نصرالله تابنده

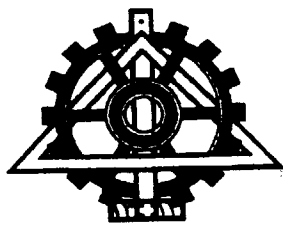
استاد راهنما: دکتر حسین شکوهمند

استاد مشاور: دکتر منصور نیکخواه بهرامی

استاد ناظر: آقای دکتر کهربائیان

۰۱۶۸۱۸

۴۰۲۲۸



دانشگاه تهران

دانشکده فنی - گروه مهندسی مکانیک

اثر شتابهای عرضی متفاوت و نیروهای ناشی از آنها بر عملکرد خنک کاری یک لوله حرارتی با شیارهای مارپیچ

نگارش: مازیار امین

استاد راهنما: دکتر حسین شکوهمند

استاد مشاور: دکتر منصور نیکخواه بهرامی

استاد ناظر: دکتر احمد کهربائیان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

اسفند ماه ۱۳۸۰

تقدیم به:

پدر و مادر و برادر گرامی ام .

ابتداءً، لازم میدانم تا بدینوسیله مراتب سپاس و قدردانی عمیق خود را از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر حسین شکوهمند، که در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، با نظارت و راهنماییهای دقیق، نحوه صحیح نگرش به مسائل علمی و پژوهشی را به من آموختند و همواره مشوق من بوده اند، ابراز نمایم.

همچنین از اساتید ارجمند، جناب آقای دکتر منصور نیکخواه بهرامی و جناب آقای دکتر احمد کهربائیان که مرا در جهت تکمیل و پربارتر کردن این پایان نامه ارشاد فرموده اند، تشکر مینمایم.

بدون شک، اگر نبود توجهات و راهنماییهای این گرانمایگان، انجام این پژوهش هرگز میسر نمیگردید، بطوریکه من همواره خود را مدیون این بزرگواران میدانم.

و

در انتها لازم میدانم که از کلیه اساتید گرامی ام، که در دوران تحصیل افتخار تلمذ در محضرشان را داشته ام و همچنین از آقای دکتر کامیار امین که همواره مرا تشویق و یاری نموده اند، سپاسگذاری نمایم.

مازیار امین

اثر شتابهای عرضی متفاوت و نیروهای ناشی از آنها، بر عملکرد خنک کاری یک لوله حرارتی با شیارهای مارپیچ (HGHP)

نگارش: مازیار امین

شماره دانشجویی: ۸۱۰۶۷۸۰۲۱

رشته تحصیلی و گرایش: مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی

گروه: مهندسی مکانیک

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ دفاع: ۸۰/۱۲/۱۳

استاد راهنما: دکتر حسین شکوهمند

چکیده:

یک لوله حرارتی با شیار مارپیچ از جنس مس و با سیال عامل اتانول که به موازات محور اصلی یک هواپیما جگای قرار دارد، برای خنک کاری مدارات بال آن، در هنگام دور زدن در هوا، در نظر گرفته شده است. این هواپیما در حین این حرکت، بطور همزمان، هم دارای حرکت دورانی (Yawing یا Revolving) حول محوری در فضا و هم دارای حرکت چرخشی (Rolling یا Rotating) حول محور اصلی خود خواهد بود. محدوده موئینگی، هم برای شیارها بصورت جداگانه، و هم برای کل لوله حرارتی، در حالت پایا، با استفاده از یک مدل ریاضی، محاسبه شده است. مشاهده میشود که حد موئینگی کاملاً به شتاب دورانی (a_r)، سرعت زاویه ای چرخش (ω_2) و زاویه بال هواپیما (Γ) وابسته میباشد و همچنین در مورد شیارها، حد موئینگی بستگی به زاویه شروع آنها در کندانسور (Φ_0) هم دارد. یک محدوده 1g تا 10g برای a_r و یک بازه $[0.2-2]\pi$ rad/sec برای ω_2 در نظر گرفته شده است. در ادامه مشاهده میشود که حد موئینگی کل لوله ($Q_{rot, cap}$) با افزایش مقدار a_r ابتدا کاهش و سپس افزایش خواهد یافت. لیکن اثر ω_2 بر $Q_{rot, cap}$ بصورت کاهنده خواهد بود. بعلاوه در مقایسه با کارهای انجام شده قبلی، خواهیم دید که دوران خالص بدون چرخش، باعث تخمین بیش از حد عملکرد HGHP خواهد شد. اگر چه در این مقاله حرکت کلی بصورت پایا در نظر گرفته شده است، ولی در حین چرخش، اثرات زوایای مختلف بال بر عملکرد HGHP بررسی گردیده است. این اثر بصورت کاهش حد موئینگی به ازای زوایای بزرگتر بال خواهد بود.

فصل اول

۱- مفاهیم اساسی

۱	
۲	
۲	(۱-۱) کشش سطحی و تر کنندگی
۶	(۲-۱) انرژی موئینگی و انرژی سطح آزاد
۱۱	(۳-۱) تبخیر و تقطیر در مرز مشترک مایع-بخار
۱۲	(۴-۱) تاثیر دما و آلاینده ها بر روی رفتار مرز مشترک

فصل دوم

۲- حد موئینگی

۱۷	
۱۷	(۱-۲) تعادل فشار موئینگی
۲۰	(۲-۲) فشار موئینگی در مرز مایع-بخار
۲۱	(۳-۲) افت فشار بخار
۲۲	(۱-۳-۲) مدل‌های دو بعدی جریان بخار
۲۷	(۲-۳-۲) تقریبی برای جریان یکبعدی فشار
۲۹	(۴-۲) افت فشار مایع ΔP_l
۳۲	(۵-۲) افت فشار در حین تغییر فاز
۳۴	(۶-۲) فشار هیدرو استاتیکی نرمال
۳۴	(۷-۲) فشار هیدرو استاتیکی محوری
۳۴	(۸-۲) توزیع فشار در لوله های حرارتی

فصل سوم

۳- حدود عملکردی دیگر در لوله های حرارتی

۳۷	
۳۷	(۱-۳) حد لزجی
۳۸	(۲-۳) حد صوتی
۴۰	(۱-۲-۳) مدل‌های صوتی دو بعدی
۴۱	(۲-۲-۳) مدل‌های صوتی یک بعدی
۴۳	(۳-۲-۳) انتقال از حد لزجی به صوتی

روزانه‌هاست در آنجا می‌آید
تعمیرات

۴۴

۳-۳ حد کشش

۴۶

۴-۳ حد جوشش

فصل چهار

۴- آشنائی بیشتر با لوله های حرارتی و انواع آن

۴۸

۲-۴ تاریخچه مختصری از لوله های حرارتی

۴۹

۲-۴ اصول عملکرد لوله های حرارتی

۵۰

۳-۴ انواع لوله های حرارتی و ترموسیفونها

۵۱

۱-۳-۴ ترموسیفون دو فازی از نوع بسته

۵۲

۲-۳-۴ لوله های حرارتی با عامل رانش موئینگی

۵۳

۳-۳-۴ لوله های حرارتی حلقوی

۵۳

۴-۳-۴ لوله های حرارتی از نوع تخت

۵۴

۵-۳-۴ لوله های حرارتی چرخان

۵۵

۶-۳-۴ لوله های حرارتی نوک حمله ای

۵۶

۷-۳-۴ لوله های حرارتی با گاز تزریقی

۵۶

۸-۳-۴ لوله های حرارتی از نوع حلقه موئینه

۵۷

۹-۳-۴ لوله های حرارتی تک شیاره

فصل پنجم:

۵- اثر شتابهای عرضی مختلف و نیروهای ناشی از آنها بر عملکرد خنک

۶۰

کاری لوله های حرارتی با شیارهای مارپیچ

۶۰

۱-۵ لوله های حرارتی چرخان و دوران کننده

۶۳

۲-۵ مزیت لوله های حرارتی با شیارهای مارپیچ

۶۳

۳-۵ مدل ریاضی

۷۶

۴-۵ نتایج و بحث

۸۰

مراجع و منابع

پیوست الف

فهرست علائم:

نمادها:

r_h	شعاع ماریچ، m	A	مساحت، m^2
r_l	شعاع هیدرولیکی مایع، $m \cdot [2wh/(2h+w)]=$	a	شتاب، m/s^2 ، سرعت صوت (m/s) ضرب تصحیح سرعت
r_v	شعاع بخار در لوله حرارتی، m	\bar{a}	طول بی بعد
\bar{R}_1	بردار موقعیت از (x_1, y_1, z_1) تا (x_2, y_2, z_2) ، m	\bar{A}	بردار شتاب در هر نقطه از شیار، m/s^2
\bar{R}_2	بردار موقعیت از (x_2, y_2, z_2) تا (x_3, y_3, z_3) ، m	A_w	مساحت سطح مقطع فنیله، $[\pi h(2r_v+h)]=$ ، m^2
s	پارامتر مشخص کننده طول مسیر ماریچ، طول، m	Bo	عدد باند
t_w	ضخامت دیواره لوله، m	C	ثابت هندسی
T	درجه حرارت، Kelvin	C_p, c	گرمای ویژه در فشار ثابت، J/(kg-K)
T_{ad}	درجه حرارت آدیاباتیک، K	D, d	قطر، m
t	زمان، Sec	D_o	قطر خارجی لوله، m
u^*	سرعت، m/s	D_v	قطر مجرای بخار، m
u	سرعت بی بعد، m/s	f	ضریب اصطکاک
v	سرعت، m/s	F	انرژی آزاد هلمهولتز، J
\dot{V}	دبی حجمی، m^3/s	$f_i Re_l$	ضریب فشار
V	حجم، m^3 ، سرعت m/s	g	ثابت جاذبه، $[9.81]=$ ، m/s^2
\bar{V}_l	بردار سرعت مایع، m/s	h	ارتفاع شیار، m
\bar{V}_l, max	سرعت مایع در ناحیه آدیاباتیک، m/s	H	طول
w	پهنای شیار، m	h_{fg}, h	گرمای نهان تبخیر، J/kg
W	کار، J	K	نفوذپذیری، $[2\epsilon r_l^2 / (f_i Re_l)]$ ، m^2
We	عدد وبر	k	ضریب هدایت حرارتی، W/(m.K)
x	مختصه طولی m، طول بی بعد، شدت اثباتنگی آلاینده	L_a	طول آدیاباتیک، m
y	مختصه طولی، m	L_c	طول کنداتور، m
z	مختصه طولی، m	L_e	طول اواپراتور، m
x_1, y_1, z_1	مولفه های اینرسی در مرکز دوران،	L_g	طول شیار، m
x_2, y_2, z_2	مولفه های غیر اینرسی در محل تقاطع محور اصلی هواپیما و محور بال آن	m	جرم، kg
x_3, y_3, z_3	مولفه های غیر اینرسی در مرکز مسیر ماریچ،	M	جرم مولی، kg/k.mol
x_4, y_4, z_4	مولفه های غیر اینرسی در مرکز شیار،	\dot{m}	دبی جرمی، kg/s
		Ma	عدد ماخ
		N	تعداد مولها، تعداد حجم معیارها
		N_g	تعداد شیارها،
		P	محیط تر شده (m)
		P	ذره ای از مایع درون شیار
α	زاویه ماریچ، rad، $[\tan^{-1} / (p/2\pi r_h)]=$	p	گام شیار، m
α	زاویه تر کنندگی (درجه)	P, p	فشار، N/m^2
β	ضریب تصحیح ممتم	Q	انتقال حرارت، W
γ	نسبت گرمای ویژه	q	شار حرارتی، W/m^2
δ	پهنای شیار، m	$Q_{g, cap}$	حد موئینگی هر شیار، W
λ	گرمای نهان تبخیر، J/Kg	$Q_{tot, cap}$	حد موئینگی کل لوله حرارتی، W
ψ	زاویه تمایل (درجه)	R	ثابت عمومی گازها، شعاع موئینگی، m
τ	تنش برشی، N/m^2	r	مختصه شعاعی، m
w/h	نسبت ابعاد شیار،	\bar{r}	بردار موقعیت از (x_2, y_2, z_2) تا شیار، m
ΔP	افت فشار، N/m^2	r_c	شعاع موئینگی، m
ϵ	پارامتر تخلخل، $[whN_g/A_w =]$	Re	عدد رینولدز

نمادهای یونانی:

محوری

Γ	زاویه بال نسبت به افق، rad
θ	مختصه زاویه ای (درجه)
θ	rad. [s/R ₂]
μ	لزجت مطلق، kg/(m.s) ، پتانسیل شیمیایی (J/K.g)
ρ	بردار موقعیت از (x ₃ ,y ₃ ,z ₃) تا مسیر ماریج، m
σ	کشش سطحی، N/m
Φ	پارامتر زاویه ماریج از دید سطح مقطع، rad
Φ_0	زاویه شروع ماریج، rad
ω	سرعت زاویه ای، rad/s

زیر نویس:

a	آدیپاتیک
ad	آدیپاتیک
bf	نیروهای حجمی
bottom	پایین
c	کنداآسور
cap	مونینگی
cr	بحرانی
e	اوپراتور
eff	موثر
f	سیال، اصطکاک
g	جاذبه، شیار، گاز
h	هیدرولیکی
l	فاز مایع
ll	فاز بخار
i	ایترسی
INT	مرز مشترک
j	شماره حجم کنترل
L,l	مایع
m	مونینگ ی
max	ماکزیمم
N	آخرین حجم کنترل
o	اولین حجم کنترل
p	فشار ثابت
r	شعاعی
res	برآیند
s	جامد، صوتی
sat	اشباع
T	دما ثابت
t	مماسی
top	بالا
tot	کل
v	بخار
w	فنیله، دیوار
z	مختصه طولی
-	شعاعی

مقدمه:

کنترل حرارت یکی از مباحث بسیار مهم در تضمین عملکرد عادی مدارات الکترونیکی پیشرفته میباشد. به منظور نگهداشتن درجه حرارت، در حد مطلوب عملکرد این تجهیزات الکترونیکی، باید به نحوی حرارت تولیدی در آنها را خارج کرد. اهمیت دفع این حرارت در مواردی که این تجهیزات در هواپیماها یا فضاپیماها مورد استفاده قرار میگیرند، بسیار بیشتر است. در نظر گرفتن میدان شتاب بر عملکرد لوله های حرارتی ای که در چنین شرایطی مورد استفاده قرار میگیرند و همچنین آگاهی از قابلیت لوله حرارتی برای منتقل کردن حرارت دریافتی از تجهیزات الکترونیکی، برای طراحان این تجهیزات بسیار ارزشمند میباشد. چون این شتابها علاوه بر اینکه میتوانند بصورت خطی باشند، میتوانند بصورت عرضی (بصورت شتابهای گریز از مرکز) هم اعمال گردند، استفاده از یک لوله حرارتی با شیارهای مارپیچ، بجای استفاده از لوله های حرارتی متداولیکه با شیارهای مستقیم هستند، توصیه میگردد (توماس، کلاوسینگ و یرکس^۱، ۱۹۹۸). این شتابها ممکن است تا مقادیر بزرگی چون 10 g در هنگام مانور یا عملیات جنگی افزایش یابند.

یک مدل ریاضی، در سال ۱۹۹۸، توسط توماس، کلاوسینگ و یرکس، در حالت پایا، به منظور بررسی حد موئینگی یک لوله حرارتی با شیارهای مارپیچ^۲ از جنس مس و با سیال عامل اتانول ارائه گردید. در این بررسی مشخص شد که زمانیکه یک هواپیما در حال دور زدن^۳ میباشد، حد موئینگی HGHP، بصورت چشمگیری با افزایش شتاب دورانی (a_r) افزایش خواهد یافت.

در بررسی کنونی، یک HGHP مشابه موردیکه توسط توماس و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت، با طول گام شیار بهینه (بهینه شده برای زمانیکه هواپیما فقط دور میزند)، در نظر گرفته شده است. در این بررسی، خنک کاری، برای تجهیزات الکترونیکی ایکه نسبت به مرکز دوران دورتر هستند و برای بحرکت در آوردن اهرم شهرها و فلپ های بال استفاده میگردند، در نظر گرفته شده اند.

نیاز به این بررسی از این جهت است که در حالت عادی، هیچ هواپیمائی نمیتواند بدون چرخش^۴ حول محور اصلی خود، پایداری لازم را در حین دوران داشته باشد. بنابراین، بررسی اثرات ناشی از حرکت چرخشی و نیروهای ناشی از آن بر مایع درون شیارهای مستطیلی (HGHP)، حائز اهمیت خواهد بود. این شتاب چرخشی، همراه با شتاب دورانی هواپیما حول محوری در فضا و همچنین نیروی جاذبه زمین، مقادیر و برآیند جدیدی از نیروهای وارد شده به مایع درون شیار را نتیجه خواهد داد. لذا، تحت این شتابهای عرضی، حد موئینگی متفاوتی نسبت به مقدار اولیه، قابل انتظار است. سرانجام یک مدل ریاضی که مستلزم استفاده از روش تکراری خواهد بود، ارائه میگردد.

^۱ Thomas, Klasing and Yerkes

^۲ Helically Grooved Heat Pipe (HGHP)

^۳ Yawing

^۴ Rolling

۱- مفاهیم اساسی

۱-۱) کشش سطحی و ترکندگی

برای مطالعه عملکرد یک لوله حرارتی، ابتدا لازم است که رفتار مواد را در مرزهای آنها مورد مطالعه قرار دهیم. مخصوصاً مرزهای مایع و بخار. رفتار مواد در اینگونه مرزها اساساً با کشش سطحی، قابلیت ترکندگی و زاویه تماس بیان میگردد، در مرز مشترک یا نزدیک به آن فشار نامتعادل میگردد که همین امر فشار موئینگی مورد نیاز برای عملکرد لوله حرارتی را ایجاد مینماید. مرزهای مشترک بین مایع، بخار و جامد بصورت خطوط واضح و مشخصی هستند و مرز بین فاز مایع و بخار بصورت هلالی میباشد. به هر حال همانطوریکه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، ناحیه بسیار کوچکی که چگالی مایع و بخار در آن تدریجاً تغییر مینماید، این مرز هلالی شکل را احاطه کرده است. در این مقیاس طولی، نیروهای کوتاه برد دافعه بین مولکولی با زیاد شدن فاصله بین مولکولها نسبت به نیروهای الکترواستاتیک، القایی و جاذبه تغییرات بیشتری خواهد داشت (آدامسون، ۱۹۹۰).^۱

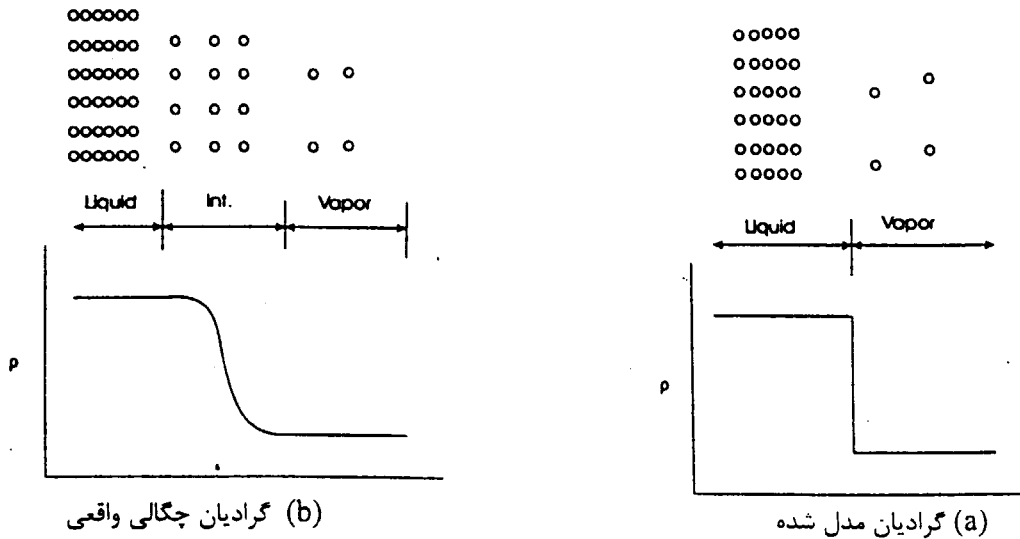
در نتیجه، افزایش فاصله بین مولکولی که ناشی از این گرادیان چگالی است، نیروهای دافعه را کاهش میدهد اما نیروهای جاذبه را که در فواصل بیشتر عمل میکنند به مقدار کمی کاهش میدهد. همانطوریکه در شکل ۱-۱ (a) نشان داده شده است، عمود بر مرز این عدم تعادل در نیروها تمایل به کشش مولکولهای بخار بطرف مرز مایع دارند. موازی با سطح، نیروها با هم در تعادلند، اما کاهش نسبی زیاد در نیروهای دافعه و کاهش کم در نیروهای دور برد جاذبه پدیده ای را در مرز ایجاد مینماید موسوم به کشش خالص، همانطوریکه در شکل ۱-۲ (b) نشان داده شده است این کشش بطور مساوی در تمام جهات اعمال میگردد. این کشش در مرز که علت آن انرژی ذخیره شده در مولکولهای نزدیک سطح میباشد به کشش سطحی σ موسوم است. کشش سطحی از خواص سیال و وابسته به دماست و دارای واحد نیرو بر واحد طول است. با انجام یک تحلیل ترمودینامیکی در مرز مشترک بین فازهای مایع و بخار و ناحیه مجاور به این مرز میتوان تحلیلی راجع به کشش سطحی و اختلاف فشار که ناشی از انحنای سطح میباشد انجام داد (کاری، ۱۹۹۲).^۲ همانطوریکه در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، مرز مایع-بخار را میتوان با دو شعاع انحنای جداگانه r_1 و r_2 که بصورت عمود بر هم قرار گرفته اند مشخص نمود. با تعریف یک حجم کنترل که شامل مرز مایع-بخار و ناحیه مجاور این مرز میباشد، در میابیم که لازمه هر گونه حرکت در مرز اینست که کار بر روی سیستم یا توسط آن انجام پذیرد. نتیجه این کار تغییر در انرژی سطح آزاد، dF در مرز میباشد و ممکنست در پی آن تغییر در آنتروپی سطح، پتانسیل شیمیایی، و/یا کار مرزی اتفاق بیافتد. اعمال قانون اول ترمودینامیک به این سیستم رابطه ای برای تغییر در انرژی آزاد هلمهولتز بدست میدهد:

^۱ Adamson 1990

^۲ Carey, 1992

$$dF = -SdT + \mu dN + \sum \delta W \quad (2-1)$$

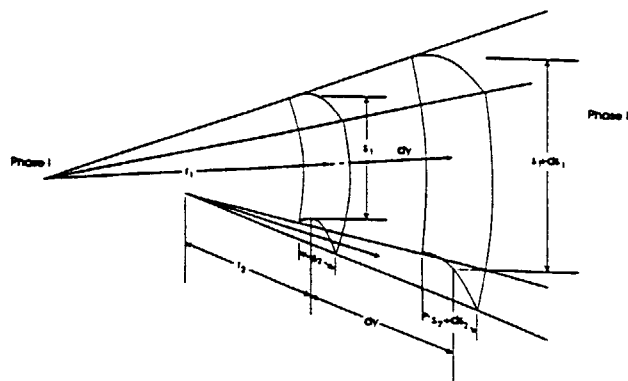
چون مطابق شکل ۱-۱ در این سیستم در واقع سه ناحیه وجود دارد (ناحیه مرزی، ناحیه ای با نام فاز I و ناحیه ای با نام فاز II)، در واقع کل تغییر در انرژی سطح آزاد مجموع تغییرات در آنتروپی سطح، پتانسیل شیمیایی، و کار مرزی برای هر سه ناحیه است (کاری، ۱۹۹۲)



شکل ۱-۱) تغییرات چگالی در مرز مشترک مایع-بخار



شکل ۲-۱) عدم تعادل نیرو در مرز مایع-بخار



شکل ۳-۱) تحلیل ترمودینامیکی مرز مشترک مایع-بخار (کاری، ۱۹۹۲)

با توجه به اینکه جمله مربوط به کار در مرز، PdV ، برابر است با کار مربوط به کشیدگی سطح مایع، $\sigma_{lv}dA$ خواهیم داشت:

$$dF = -S_{INT}dT + \mu dN_{INT} + \sigma dA_{INT} - S_I dT + \mu dN_I - (PdV)_I - S_{II}dT + \mu dN_{II} - (PdV)_{II} \quad (2-1)$$

اگر فرض کنیم که دما ثابت باشد (این فرض در حین تبخیر و تقطیر فرض درستی است) و تعداد کل مولها و حجم کل تغییر نکند:

$$dT = 0, \quad dN_T = dN_{INT} + dN_I + dN_{II} = 0, \quad dV = dV_I + dV_{II} = 0 \quad (3-1)$$

معادله (2-1) بصورت زیر در میآید:

$$P_I - P_{II} = \sigma \frac{dA_{INT}}{dV_I} \quad (4-1)$$

از شکل ۱-۳ مشخص است که با حرکت ناحیه مرزی به سمت راست (بطور مثال با دور شدن از فاز I و نزدیک شدن به فاز II)، مساحت مرز، dA_{INT} ، و حجم فاز I، dV_I ، هر دو تغییر میکنند. این تغییرات را میتوان بترتیب بصورت زیر بیان نمود:

$$dA_{INT} = s_2 ds_1 + s_1 ds_2 \quad (5-1)$$

$$dV_I = s_1 s_2 dy \quad (6-1)$$

با استفاده از خواص مثلثهای متشابه، تغییر طول دو وجه ناحیه مرزی را میتوان به مقداری که مرز مشترک حرکت کرده است بصورت زیر ارتباط داد (کاری، ۱۹۹۲):

$$ds_2 = s_2 \frac{dy}{r_2} \quad \text{و} \quad ds_1 = \frac{s_1 dy}{r_1} \quad (7-1)$$

با ترکیب این دو معادله با معادلات (5-1) و (6-1) و جایگذاری در معادله (4-1) میتوان اختلاف فشار

بین دو فاز را بصورت زیر بیان نمود:

$$P_1 - P_{II} = \sigma \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (8-1)$$

این معادله به معادله لاپلاس یا لاپلاس-یونگ^۱ معروف است و اختلاف فشار موئینگی ایجاد شده در مرز جدا کننده مایع-بخار را به دو شعاع انحناء اصلی ارتباط میدهد (کاری، ۱۹۹۲).
یک لوله استوانه ای که مطابق شکل ۱-۴ در داخل ظرف محتوی مایع قرار دارد، نحوه عملکرد فشارهای موئینگی را نشان میدهد. در حالت ساکن بودن مرز، فشار موئینگی که بر روی سطح مرز مشترک عمل میکند، بایستی با مجموع نیروهایی که حول محیط مرز مشترک عمل میکنند برابر باشند، یا:

$$\Delta P \pi r^2 = (2\pi r) \sigma \cos \theta \quad (9-1)$$

با ساده کردن این رابطه خواهیم داشت:

$$P_v - P_l = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (10-1)$$

در رابطه (۱۰-۱) θ زاویه بین نواحی جامد و بخار میباشد. این زاویه را زاویه تماس گویند و با استفاده از فاز مایع میتوان آنرا از ناحیه جامد تا ناحیه بخار اندازه گیری نمود. مقدار این زاویه بسیار مهم میباشد.

رفتار مایعاتی که در تماس با جامدات قرار دارند، بستگی به عوامل بسیاری از جمله نوع سطح جامد دارد. بعنوان مثال هنگامیکه یک قطره آب با یک سطح فلزی مانند بدنه اتومبیل تماس پیدا می کند، بسته به نوع سطح رفتار متفاوتی خواهد داشت. اگر سطح جامد چرب باشد، قطره مذکور سطح را تر نمی کند و زاویه تماس بزرگی را بوجود آورده و بصورت یک قطره یا قطرات منفرد در میاید. اما اگر سطح چرب نباشد، زاویه تماس کوچک است و مایع با پخش شدن بر روی سطح یک لایه نازک تشکیل میدهد. عموماً این تغییر رفتار در مرز جامد-مایع را تر کنندگی مایع گویند. تر کنندگی مایع نه فقط تابعی از خواص ترموفیزیکی مایع است، بلکه تابعی از خواص فیزیکی جامد شامل زبری، دما و تمیزی سطح و همچنین عواملی مانند وجود لایه های اکسید میباشد.

خاصیت تر کنندگی یک مایعات را میتوان با اندازه گیری زاویه تماس محاسبه نمود. این خاصیت بسته به اینکه مایع بر روی سطح حرکت کند یا روی سطح در خود فرو رود متفاوت است. این تفاوت پدیده ای را ایجاد مینماید موسوم به پس ماند زاویه تماس^۲. این پس ماند ممکنست توسط آلودگی

^۱ Laplace-Young

^۲ contact angle hysteresis