

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه لرستان

تحصیلات تکمیلی

دانشکده علوم - گروه شیمی

پایان نامه :

جهت اخذ کارشناسی ارشد شیمی

گرایش شیمی فیزیک

موضوع :

پیش بینی ویسکوزیته و هدایت گرمایی مبردهای دوستدار لایه اوزون در محدوده‌ی

وسعی از دما و چگالی

نگارش :

فروزان قادری

اساتید راهنما:

دکتر بیژن نجفی

دکتر محمد علی مقدسی

استاد مشاور:

دکتر رضا صادقی سرابی

۱۳۸۸ / ۳ / ۱

دفتر اطلاعات مرکز مجریه
شنبه ۱۳۸۸

تیرماه - ۱۳۸۷

۱۱۳۷۶۰



صور تجلسه دفاعیه

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد خانم فروزان قادری تحت عنوان:

"پیش بینی ویسکوزیته و هدایت گرمایی مبردهای دوستدار لایه اوزون در محدوده‌ی وسیعی از دما و چگالی"

در تاریخ ۱۶ / ۴ / ۱۳۸۷ در محل دانشکده علوم دانشگاه لرستان بر گزار گردید. هیات داوران بر اساس کیفیت پایان نامه، استماع دفاعیه و نحوه پاسخ به سوالات پایان نامه ایشان را برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته کارشناسی ارشد در رشته شیمی فیزیک معادل با هشت واحد، نمره ۱۹,۵ (نوزده و پنج) با درجه عالی مورد تایید قرار داد.

امضاء

هیات داوران:

۱-استاد راهنما: دکتر بیژن نجفی

۲-استاد راهنما: دکتر محمد علی مقدسی

۳-استاد مشاور: دکتر رضا صادقی سرابی

۴-استاد مدعو: دکتر بابک سمیعی

۵-استاد مدعو: دکتر ابراهیم مهدی پور

۶-نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر بهمن غضنفری

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشگاه لرستان

دانشگاه لرستان

دانشگاه لرستان

دانشگاه لرستان

دکتر ناصر اکبری

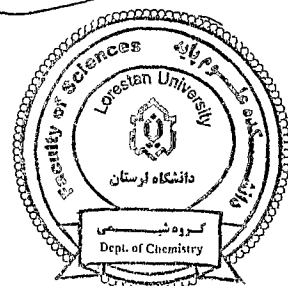
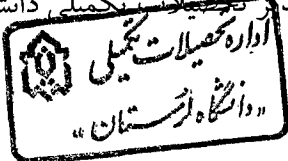
دکتر علیرضا غیاثوند

دکتر پیمان هاشمی

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه

رئیس دانشکده علوم پایه

مدیر گروه



۱۳۸۸ / ۳ / ۱

تقدیر و تشکر

بر خود لازم میدانم از زحمات تمام کسانی که من را در این راه یاری داده اند سپاس گزاری کنم.

از زحمات استاد راهنما جناب آقای پروفیسور بیژن نجفی به خاطر راهنمایی های جامع و دلسوزانه برای انجام این پروژه سپاس گزارم، بزرگواری و لطف ایشان را همواره به یاد خواهم داشت .

از استاد راهنما جناب آقای دکتر محمد علی مقدسی به خاطر زحمات و محبت های خالصانه ایشان در طول تحصیل کمال تشکر و قدردانی را دارم .

از جناب آقای دکتر سمیعی و جناب آقای دکتر مهدی پور که داور این پروژه را به عهده داشتند سپاس گزارم.

از جناب آقای دکتر هاشمی به علت حضور در جلسه دفاع متشکرم.

از جناب آقای مهندس خواجه زاده به دلیل یاری در مراحل مختلف انجام پروژه در دانشگاه صنعتی اصفهان سپاس گزارم.

از دانشجویان و دوستان عزیز که در جلسه دفاع حضور داشتند تقدیر و تشکر می کنم. از خانواده ام به ویژه از همسرم سپاس گزارم.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
I.....	فهرست مطالب.....
III	فهرست اشکال.....
IV	فهرست جداول.....
V.....	چکیده.....
	فصل اول
۱.....	خواص انتقالی سیالات و نیروهای بین مولکولی.....
۳.....	۱-۱- پدیده های انتقالی.....
۴.....	۱-۲- ویسکوزیته.....
۷.....	۱-۳- تعیین و اندازه گیری ویسکوزیته سیالات.....
۹.....	۱-۴- هدایت گرمایی.....
۱۲.....	۱-۵- روش های اندازه گیری تجربی هدایت گرمایی.....
۱۲.....	۱-۵-۱- روش حالت پایا.....
۱۳.....	۱-۵-۲- روش های دینامیکی.....
۱۷.....	۱-۶- اصل حالات متناظر.....
۱۷.....	۱-۷- نظریه جنبشی گازها.....
۱۸.....	۱-۸- نظریه چاپمن- انسکوگ.....
۱۹.....	۱-۹- ویسکوزیته گازها در حد چگالی صفر.....
۲۰.....	۱-۱۰- پتانسیل کره سخت.....
۲۱.....	۱-۱۱- پتانسیل چاه مربعی.....
۲۱.....	۱-۱۲- پتانسیل لنارد- جونز.....
۲۵.....	۱-۱۳- پتانسیل عزیز.....
۲۷.....	۱-۱۴- انتگرال برخورد.....
۲۹.....	۱-۱۵- محدودیت های نظریه چاپمن- انسکوگ.....
۳۰.....	۱-۱۶- نظریه ی رینواتر- فرند.....
۳۰.....	۱-۱۷- ویسکوزیته گازها در حد چگالی متوسط.....
۳۲.....	۱-۱۸- محاسبه * B_{η} بر اساس نظریه رینواتر- فرند.....
۳۵.....	۱-۱۹- محاسبه ویسکوزیته گازها در حد چگالی زیاد.....
۳۸.....	۱-۲۰- هدایت گرمایی در حد چگالی صفر برای گازهای تک اتمی خالص.....

- ۲۱-۱- تعیین هدایت گرمایی در چگالی صفر..... ۳۹
- ۲۲-۱- هدایت گرمایی گازهای تک اتمی در حد چگالی متوسط..... ۴۰
- ۲۳-۱- هدایت گرمایی گازهای چند اتمی در حد چگالی متوسط..... ۴۱

فصل دوم

- محاسبه ویسکوزیته مبردها در دامنه‌ی وسیعی از چگالی..... ۴۴
- ۱-۲- معرفی مبردها..... ۴۴
- ۲-۲- تعیین ویسکوزیته مبردها در حد چگالی صفر..... ۴۸
- ۳-۲- محاسبه‌ی ویسکوزیته مبردها در چگالی متوسط نظریه رینواتر-فرند..... ۴۸
- ۴-۲- محاسبه‌ی ویسکوزیته مبردها در چگالی زیاد..... ۴۹
- ۱-۴-۲- روش اول..... ۴۹
- ۲-۴-۲- روش دوم..... ۵۵

فصل سوم

- محاسبه‌ی هدایت گرمایی مبردها در دامنه‌ی وسیعی از چگالی..... ۵۹
- ۱-۳- محاسبه‌ی هدایت گرمایی مبردها در حد چگالی صفر- نظریه چاپمن-انسکوگ..... ۵۹
- ۲-۳- محاسبه‌ی ضریب دوم ویرال هدایت گرمایی..... ۶۰
- ۳-۳- محاسبه‌ی هدایت گرمایی مبردها در چگالی متوسط..... ۶۱
- ۴-۳- محاسبه‌ی هدایت گرمایی مبردها در محدوده چگالی بالا..... ۶۲
- ۵-۳- تابع هدایت گرمایی باقیمانده بر اساس نظریه رینواتر-فرند..... ۶۲
- ۶-۳- محاسبه‌ی هدایت گرمایی مبردها با استفاده هدایت گرمایی باقیمانده..... ۶۳
- ۱-۶-۳- روش اول..... ۶۳
- ۲-۶-۳- روش دوم استفاده از تابع هدایت گرمایی باقیمانده تجربی..... ۶۸

فصل چهارم

- نتیجه گیری..... ۷۳
- ۱-۴- محدوده‌ی چگالی نزدیک به صفر..... ۷۴
- ۲-۴- محدوده‌ی چگالی متوسط..... ۷۵
- ۳-۴- محدوده‌ی چگالی بالا..... ۷۶
- ۱-۳-۴- محاسبه‌ی ویسکوزیته..... ۷۶
- ۲-۳-۴- محاسبه‌ی هدایت گرمایی..... ۷۷
- مراجع..... ۷۹

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱- جریان چسبنده بین صفحه ساکن بالا و صفحه متحرک پایین نشان دهنده ویسکوزیته... ۵
- شکل ۱-۲- دو لایه گاز به اندازه یک پویش آزاد متوسط از هم فاصله دارند..... ۶
- شکل ۱-۳- ویسکومتر استوالد..... ۷
- شکل ۱-۴- اندازه گیری ویسکوزیته گاز..... ۹
- شکل ۱-۵- انتقال یک گاز از طریق یک ماده..... ۱۱
- شکل ۱-۶- روش سیم داغ برای اندازه گیری تجربی هدایت گرمایی..... ۱۴
- شکل ۱-۷- وابستگی ضریب هدایت گرمایی به دما برای گازها در فشار عادی..... ۱۵
- شکل ۱-۸- وابستگی ضریب هدایت گرمایی برخی از مایعات غیر فلزی به دما..... ۱۶
- شکل ۱-۹- مدل های مختلف پتانسیل برهم کنش مولکولی..... ۲۴
- شکل ۱-۱۰- انرژی پتانسیل بین اتمی بر حسب فواصل اتمی..... ۲۶
- شکل ۱-۱۱- دومین ضریب ویریال ویسکوزیته و سهم دو مونومری ، سه مونومری ، مونومر - دایمر در دومین ضریب ویریال ویسکوزیته ی آرگون بر اساس پتانسیل بین مولکولی عزیز..... ۳۴
- شکل ۱-۱۲- نمودار همدماهای ویسکوزیته باقیمانده مستقل از دما..... ۳۷
- شکل ۱-۱۳- چگونگی محاسبه ی λ°_{exp} بر اساس λ و ρ ۴۰
- شکل ۲-۱- نمودار D_{η} بر حسب ρ در روش اول..... ۵۲
- شکل ۲-۲- D_{η}/η^* بر حسب ρ/ρ^* در روش اول..... ۵۳
- شکل ۲-۳- نمودار ρ بر حسب $\Delta\eta$ در روش دوم..... ۵۶
- شکل ۲-۴- نمودار $\Delta\eta/\eta^*$ بر حسب ρ/ρ^* در روش دوم..... ۵۷
- شکل ۳-۱- نمودار ρ بر حسب D_{λ} در روش اول..... ۶۶
- شکل ۳-۲- D_{λ}/λ^* بر حسب ρ/ρ^* در روش اول..... ۶۷
- شکل ۳-۳- $\Delta\lambda$ بر حسب ρ در روش دوم..... ۷۱
- شکل ۳-۴- $\Delta\lambda/\lambda^*$ بر حسب ρ/ρ^* در روش دوم..... ۷۲

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- پارامترهای پتانسیل لنارد-جونز برای برخی از مبردها.....	۲۳
جدول ۱-۲- فرمول مولکولی و خواص فیزیکی چند مبرد.....	۴۶
جدول ۲-۲- محاسبه‌ی در صد خطای ویسکوزیته محاسباتی و تجربی از روش اول.....	۵۴
جدول ۲-۳- محاسبه‌ی در صد خطای ویسکوزیته محاسباتی و تجربی از روش دوم.....	۵۸
جدول ۳-۱- خطای متوسط (حداکثر) هدایت گرمایی محاسبه شده از روش اول.....	۶۵
جدول ۳-۲- خطای متوسط (حداکثر) هدایت گرمایی محاسبه شده از روش دوم.....	۷۰

چکیده :

هدف از ارائه این پایان نامه محاسبه‌ی ویسکوزیته و هدایت گرمایی مبردها در محدوده‌ی وسیعی از دما و چگالی، با روشهای علمی است.

در این پایان نامه نشان داده ایم که محدودیتی برای محاسبه ویسکوزیته‌ی سیالات رقیق به وسیله نظریه چاپمن-انسکوگ وجود ندارد، اما در مورد محاسبه هدایت گرمایی گازهای چنداتمی، به دلیل تأثیر درجات آزادی داخلی بر هدایت گرمایی، این نظریه در این حالت کاربردی ندارد.

نظریه رینواتر-فرند برای محاسبه‌ی ویسکوزیته و هدایت گرمایی در چگالی متوسط به کار رفته است. در نظریه رینواتر-فرند وابستگی ویسکوزیته و هدایت گرمایی به چگالی با معرفی دومین ضریب ویریال کاهش یافته $B\eta^*$ و $B\lambda^*$ بیان میشود. در این نظریه این دو ضریب شامل سه سهم حاصل از نامستقر بودن برخوردهای منومر-منومر، تأثیر ذره سوم روی برخورد منومر-منومر و برخوردهای منومر-دیمر هستند. این دو ضریب توابعی از T^* هستند و در محاسبه آنها از پتانسیل های واقع بینانه استفاده شده است.

نظریه رینواتر-فرند برای چگالی حدود ۴ مول برلیتر (برای گازهای تک اتمی) و ۲ مول برلیتر (برای گازهای چند اتمی) کاربرد دارد.

در چگالی های بالاتر از محدوده‌ی نظریه‌ی رینواتر-فرند دو روش برای محاسبه‌ی ویسکوزیته و هدایت گرمایی ارائه شده است که در آنها ویسکوزیته باقیمانده (D_{η}) و هدایت گرمایی باقیمانده (D_{λ}) معرفی شده‌اند. این دو کمیت به عنوان اختلاف بین مقدار تجربی و مقدار محاسبه شده تعریف شده‌اند.

با ارائه‌ی توابع حالات متناظر و همچنین تابع همبستگی در این پایان نامه، ویسکوزیته و هدایت گرمایی ۶ مبرد مورد استفاده در صنعت با صحت بالایی محاسبه شده است، به طوری که انجام این محاسبات ما را از اندازه گیری‌های عملی و تجهیزات آزمایشگاهی بی نیاز می کند.

فصل اول

خواص انتقالی سیالات و نیروهای بین مولکولی

سیالات^۱ یعنی گازها و مایعات، در زندگی روزمره کاربرد زیادی دارند و همچنین نقش مهمی در کار وسایل مدرن بازی میکنند. گاهی یک سیال نتیجه یک فرایند تکنولوژیکی نظیر سوختهای گازی و مایع است. خواص انتقالی^۲ سیالات به ویژه گازها از اهمیت بسیار زیادی در تکنولوژی امروزه برخوردار است. اطلاعات دقیق در مورد خواص انتقالی گازها و مایعات خالص و مخلوط های آنها در طراحی بهینه راکتورهای فرایند های شیمیایی، تعیین نیروهای بین مولکولی^۳ و تبیین نظریه های دقیق انتقال در سیالات چگال ضروری است. به عنوان مثال در یک راکتور هسته ای از گاز دی اکسید کربن با فشار بیست اتمسفر برای خنک کردن کوره راکتور استفاده می شود. آشکار است که داده های دقیق خواص انتقالی این گاز در محدوده وسیعی از دما و فشار مورد نیاز است. داده های خواص انتقالی در بررسی های علمی

۱-Fluids

۲- Transport properties

۳-Intermolecular forces

نیز کاربرد فراوانی دارد. مثلاً از داده های ویسکوزیته گازهای نادر^۱ می توان پتانسیل بین اتمی این گازها را تعیین نمود. سپس با استفاده از پتانسیل، سایر خواص انتقالی و تعادلی را تعیین کرد.

سیالات فوق بحرانی، یعنی سیال در دما و فشار بالاتر از حالت بحرانی داری ویژگی های خاصی از جمله قدرت حلالیت زیاد، تراکم پذیری بیشتر از گازهای رقیق و خواص انتقالی بیشتر از گازها و کمتر از مایعات هستند و به خاطر این ویژگیهای منحصر به فرد استفاده از آنها نوید بخش تولید مواد شیمیایی با روشهای ارزان قیمت وبدون استفاده از حلالهای مایع و رها کردن این مایعات مخرب زیست محیطی در طبیعت است. استفاده هر چه بیشتر از سیالات فوق بحرانی به عنوان حلال می تواند گام مهمی در جهت حفاظت محیط زیست از آلودگی های حلالهای متداول صنایع شیمیایی باشد.

داشتن اطلاعات دقیق از خواص انتقالی گازها و مایعات خالص و مخلوطهای آنها، در بهینه کردن طراحی فرآیندهای شیمیایی مختلف، تعیین تابع انرژی پتانسیل بین مولکولی و بسط نظریه های دقیق در سیالات حائز اهمیت است. متأسفانه فقط برای تعداد محدودی از سیستمها، داده های بسیار دقیق تجربی در دسترس است. به عنوان مثال، تا کنون ۵۰ میلیون ماده شیمیایی خالص شناخته شده است که حدود ۲۰۰۰۰ نوع آن در اقتصاد و صنایع کاربرد دارند [۱] و برای هر سیال خالص حدود ۳۰ خاصیت وجود دارد که در صنعت از اهمیت خاصی برخوردار هستند که ۱۲ تا از آنها تابعی از دما و فشار می باشند. اگر فقط همین ۱۲ خاصیت برای هر سیال در نظر گرفته شود و فرض شود که اندازه گیریها فقط در ۱۰ دما و فشار انجام شود، مستلزم ۱۲۰۰ اندازه گیری برای هر سیال خالص است. حال اگر همه سیالات خالص و مخلوطهای ممکن آنها و ترکیبهای مجاز را در نظر بگیریم، حدود ۱۰۰۰ میلیون برابر عمر یک انسان لازم است تا داده های تجربی دقیق و کامل اندازه گیری شود. لذا در مواردی که داده های تجربی نداریم،

داشتن روشهای نظری برای پیش بینی مقادیر خواسته شده، بسیار ضروری به نظر می رسد و نیاز اطلاعاتی صنایع نمی تواند فقط با اندازه گیری برآورده شود بلکه به روشهای محاسباتی دقیق مانند روشهای پیش بینی نیاز مند است.

۱-۱- پدیده های انتقالی:

شاخه ای از علم است که به مطالعه سه دسته علوم کلاسیک انتقال انرژی یا گرما، انتقال جرم یا نفوذ و انتقال اندازه حرکت یا ویسکوزیته داده می شود. اگر گازی از نظر ترکیب، دما، و ملکولها غیر یکنواخت باشد، پدیده های انتقال برای یکنواخت شدن آن اتفاق می افتد. انتقال یک خاصیت معین از یک قسمت سیستم به قسمت دیگر آن یک پدیده انتقالی است.

سه خاصیت مهم انتقالی یعنی نفوذ^۱، هدایت گرمایی^۲ و ویسکوزیته^۳ در انتقال فیزیکی داخل سیال مشترک هستند. نفوذ، انتقال جرم از بخشی به بخش دیگر سیال به خاطر گرادیان غلظت، ویسکوزیته، انتقال اندازه حرکت به خاطر گرادیان سرعت و هدایت گرمایی انتقال انرژی ناشی از وجود گرادیان دمایی در داخل سیال است [۲].

پدیده های نفوذ، هدایت گرمایی و ویسکوزیته در اکثر تجهیزات مهندسی از قبیل مبدلهای حرارتی، سرد کننده های هوا، واکنشگاههای شیمیایی و هسته ای و صنعت نفت به چشم می خورد. بنابراین لازم است مهندسان درک صحیحی از قوانین فیزیکی که فرایندهای انتقال را در بر می گیرد داشته باشند. متخصصین برای طراحی تجهیزاتی که فرایندهای انتقال در آنها صورت می گیرد احتیاج به بهره گیری از قوانین طبیعی دارند، بنابراین مطالعه فرایندهای انتقال بیشتر به علم مهندسی مربوط می شود و مطالعه پدیده های انتقالی پایه ای، برای اکثر عملیات واحد های صنعتی انجام می گیرد [۳].

۱-Diffusion

۲- Thermal conductivity

۳-Viscosity

روش های اولیه برای محاسبه خواص انتقالی بر پایه استفاده از مدل غیر واقعی کره سخت بنا شده بود ، که این روش با تقریبهای زیاد و دارای خطای زیادی بود. امروزه این عمل با استفاده از مدل‌های واقع بینانه تری صورت گرفته و نتایجی که از این محاسبات به دست می آید بسیار دقیقتر است.

۱-۲- ویسکوزیته

یکی از خواص انتقالی ویسکوزیته است که انتقال اندازه حرکت از یک ناحیه با سرعت بیشتر به ناحیه با سرعت کمتر منجر به پدیده ویسکوزیته می شود [۳]. پدیده ویسکوزیته برای اولین بار در مسایل مربوط به جریان سیال در هیدرودینامیک و آیرودینامیک مطرح شد. ویسکوزیته ، اندازه ای از مقاومت است که سیال در برابر نیروی برشی اعمال شده از خود نشان می دهد .

شکل (۱-۱) قسمتی از دو صفحه موازی با فاصله ای ثابت که صفحه ی بالایی با سرعت ثابت در

راستای y نسبت به صفحه ی پایین حرکت می کند را نشان می دهد. یکی از صفحه ها ساکن ، و لایه

مجاور صفحه متحرک با سرعت صفحه حرکت می کند. بین این دو حد سرعت به صورت خطی با فاصله

تغییر می کند. این سرعت در وسط صفحه به ماکزیمم مقدار خود می رسد. با عبور سیال به علت وجود

نیروی چسبندگی بین ملکول های گاز ، جریان فقط با اعمال نیرویی بر سیال امکان پذیر خواهد بود این

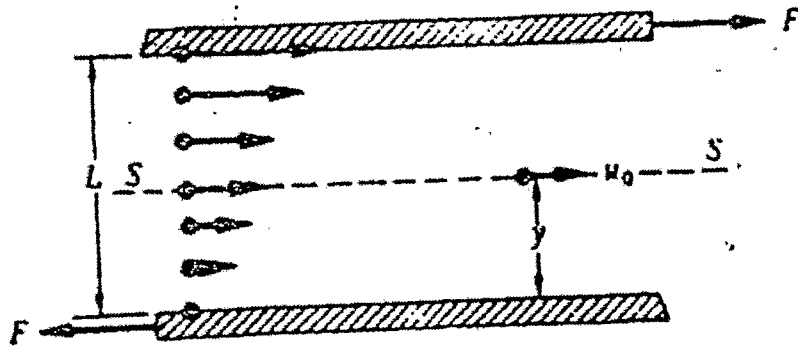
ملکول های گاز دارای یک مولفه ی سرعت v می باشد η یا همان ضریب ویسکوزیته که ارتباط بین

گرادیان سرعت و مقدار نیرو بر واحد سطح یعنی $\frac{F}{A}$ را مشخص می کند طبق رابطه زیر معین می شود :

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{dv}{dy} \quad (1-1)$$

در این معادله A سطح بین دو لایه ، $\frac{dv}{dy}$ گرادیان سرعت در جهت عمود بر جریان سیال می باشد .

این رابطه به قانون ویسکوزیته نیوتون معروف می باشد. سیالاتی که از این قانون پیروی می کنند به سیالات آرام^۱ معروف هستند و جریان های تند از این رابطه تبعیت نمی کنند .



شکل (۱-۱): جریان چسبنده بین صفحه ساکن بالا و صفحه متحرک پایین نشان دهنده ویسکوزیته [۴]

اگر واحد نیرو $kgms^{-2}$ ، واحد $\frac{dv}{dy}$ (گرادیان سرعت) $m^{-1}ms^{-1}$ باشد ، واحد ویسکوزیته در

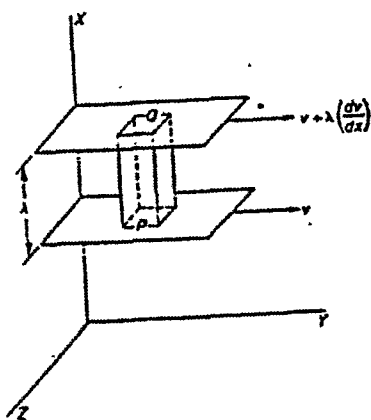
واحد SI پاسکال ثانیه می باشد، و در سیستم CGS به پویز^۲ موسوم است . مثال زیر زمینه تسلط بیشتر بر موضوع ویسکوزیته رافراهم می کند .

دو قطار که بصورت موازی و با سرعت های مختلف در حال حرکت هستند را در نظر می گیریم ، حال اگر هر کدام از مسافران در قطار با پرش خود به قطار دیگر برسانند ، موقعی که مسافر مورد نظر خود را از قطار سریعتر به قطار دیگر می رساند اندازه حرکتی به اندازه $m\Delta v$ منتقل می کند که m جرم شخص و Δv اختلاف سرعت دو قطار می باشد . این پرش ها باعث افزایش سرعت قطار کند تر و

۱-Laminar
۲- Poise

کاهش سرعت قطار سریع‌تر می‌شود. نتیجه‌ی نهایی این عمل یکسان شدن سرعت دو قطار (تبادل) می‌باشد. ناظری که از دور شاهد حرکت دو قطار است از یک اصطکاک بازدارنده بین دو قطار گزارش می‌دهد [۵]. اکنون با استفاده از این مثال به مکانیزمی که طی آن یک لایه در حال حرکت گاز به لایه دیگر یک چسبندگی باز دارنده^۱ اعمال می‌کند، می‌پردازیم. ملکول‌های گاز نقش مسافران در حال پرش را دارند.

همچنین که از شکل (۲-۱) مشاهده می‌شود سرعت ملکول‌ها در صفحه $X=0$ ، برابر صفر است و سرعت آنها با افزایش X زیاد می‌شود چنانچه ملکولی در صفحه P بدون اینکه با ملکول دیگر برخورد کند خود را به صفحه Q برساند اندازه حرکت کمتری نسبت به صفحه Q خواهد داشت. از طرف دیگر چنانچه ملکولی از صفحه Q خود را به صفحه P برساند، اندازه حرکت بیشتری به صفحه P منتقل خواهد کرد. نتیجه نهایی این حرکت‌های حرارتی ملکول‌ها کاهش سرعت متوسط ملکول‌های صفحه Q و افزایش سرعت ملکول‌های صفحه P می‌باشد. این انتقال اندازه حرکت باعث کاهش گرادیان سرعت می‌شود [۵].



شکل (۲-۱): دو لایه گاز به اندازه‌ی یک پوش آزاد متوسط از هم فاصله دارند [۵]

۱ - ۳ - تعیین و اندازه گیری ویسکوزیته سیالات

یکی از روش های اندازه گیری ویسکوزیته مایعات و گاز ها با اندازه گیری سرعت جریان سیال

مورد نظر داخل یک لوله موئین با قطر مشخص انجام می شود. برای این کار از دستگاهی موسوم به

ویسکومتر استوالد که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است استفاده می شود. در این روش در یک

دمای معین، زمانی که مایع مورد نظر از سطح A به سطح B می رسد، اندازه گیری می شود سپس همان

ویسکومتر در همان دما از مایعی با ویسکوزیته معلوم و حجمی معادل با حجم قبلی پر گردیده، و مدت

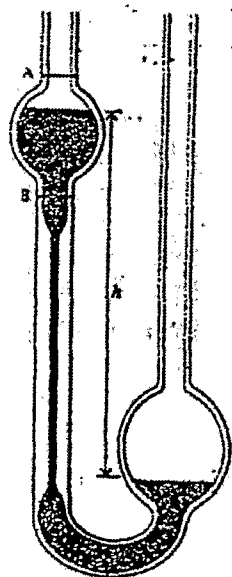
زمانی که مایع استاندارد از سطح A به سطح B می رسد، تعیین می شود.

فشاری که باعث رانده شدن مایع از داخل لوله می شود ρgh است که ρ دانسیته مایع و h اختلاف

دو سطح مایع در دو بازوی ویسکومتر و g شتاب گرانش می باشد. چون حین انجام آزمایش h تغییر می

کند سرعت جریان نیز تغییر می کند داریم:

$$\frac{-dV}{dt} = \left[\frac{\pi r^4 \rho gh}{8\eta(y_2 - y_1)} \right] \quad (1-2)$$



شکل (۱-۳): ویسکومتر استوالد [۶]

مدت زمانی که مایع بین دو سطح را طی می کند به ویسکوزیته و چگالی مایع بستگی دارد .

$$\eta \propto t\rho \quad (۳-۱)$$

و بنا بر این :

$$\frac{\eta_a}{\eta_s} = \frac{t_a}{t_s} \cdot \frac{\rho_a}{\rho_s} \quad (۴-۱)$$

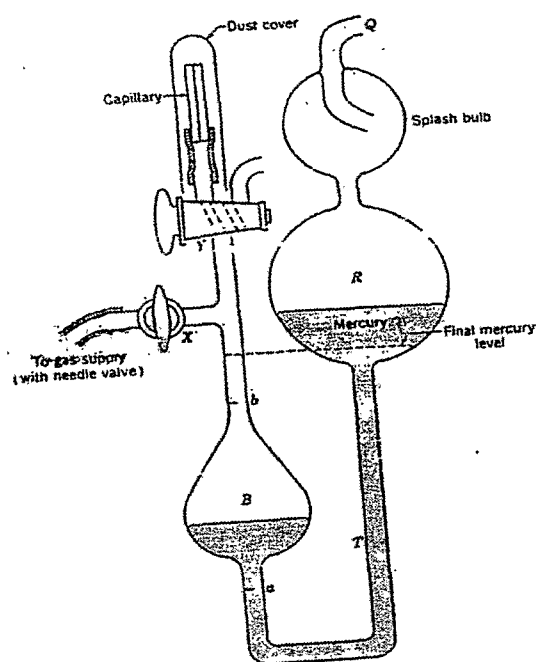
با معلوم بودن مقادیر ρ_s, t_s, η_s که مربوط به مایع استاندارد می باشد ، می توان ضریب ویسکوزیته مایع مورد نظر را به دست آورد [۷].

برای تعیین ویسکوزیته ی گاز ها از دستگاهی مشابه با ویسکومتر استوالد استفاده می شود . در این روش پس از تخلیه دستگاه ، یک گاز با ویسکوزیته معلوم از داخل یک لوله موئین عبور داده می شود . مدت زمانی که لازم است تا فشار گاز در نقطه ی خاصی از P_1 به P_2 برسد ، به وسیله یک کرومومتر با دقت اندازه گیری می شود . سپس دستگاه تخلیه گردیده و گاز مورد نظر را از داخل دستگاه عبور می دهند . مدت زمان لازم برای آنکه فشار در همان نقطه از P_1 به P_2 برسد ، بار دیگر اندازه گیری می شود .

$$\frac{\eta_b}{\eta_s} = \frac{t_b}{t_s} \quad (۵-۱)$$

در معادله بالا t_s و t_b به ترتیب زمان لازم برای افت فشار از P_1 به P_2 برای گاز مورد نظر و گاز استاندارد می باشند η_s و η_b به ترتیب ضرایب ویسکوزیته گاز مورد نظر و گاز استاندارد هستند .

شکل (۴-۱) این دستگاه را نشان می دهد [۵].



شکل (۱-۴): اندازه گیری ویسکوزیته گاز [۸]

۱-۴- هدایت گرمایی

مطالعه ی فرایندهای سرعتی، علم سینتیک^۱ یا دینامیک^۲ نامیده می شود. یک سیستم ممکن است به دلیل انتقالات جرم، انرژی و یا هر دو، بین سیستم و محیط آن، و یا بین یک قسمت با قسمت دیگر آن، از حالت تعادل خارج شود. چنین فرآیندهای فرآیندهای انتقال هستند. چند نوع فرآیند انتقال وجود دارد، که یکی از آنها هنگامی است که بین سیستم اختلاف دما وجود داشته باشد، و چون سیستم تعادل حرارتی نیست انرژی گرمایی جریان می یابد. دومین خواص از خواص انتقالی هدایت گرمایی می باشد. هدایت گرمایی ناشی از برخورد های ملکولی است، و از انتقال انرژی گرمایی در اثر وجود یک اختلاف دما بین سیستم و محیط یا در داخل سیستم خبر می دهد [۶].

۱-Kinetics

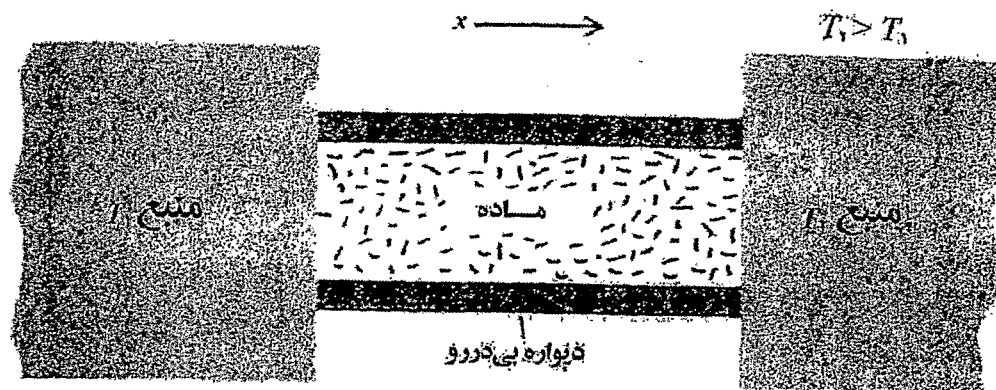
۲-Dynamics

همانطور که در شکل (۵-۱) مشاهده می شود ماده در تماس با دو منبع گرمایی در دماهای مختلف است که در آن ، یک گرادیان دمایی یکنواخت و همگن در ماده وجود دارد و نهایتاً به یک حالت پایا خواهد رسید.

دما بین دو منبع به طور خطی با X از T_1 در طرف چپ تا T_2 در طرف راست ، تغییر می کند . (گرادیان یک کمیت ، سرعت تغییر آن کمیت نسبت به مختصات ویژه ای است) . سرعت جریان گرما ، $\frac{dq}{dt}$ ، در هر صفحه ای که عمود بر محور X است و در بین دو منبع قرار دارد ، یکنواخت خواهد بود و متناسب با سطح مقطع ماده در صفحه عمود بر X است . آزمایش نشان می دهد که $\frac{dq}{dt}$ متناسب با گرادیان دما هست . بنابراین:

$$\frac{dq}{dt} = -\lambda A \frac{dT}{dx} \quad (۶-۱)$$

که A ضریب تناسب ، λ ، ضریب هدایت گرمایی است که به طور اختصار هدایت گرمایی نامیده می شود، و dq انرژی گرمایی است که در زمان dt از صفحه ای به مساحت A که عمود بر مساحت X است عبور می کند . علامت منفی به این دلیل است که $\frac{dT}{dx}$ مثبت ولی $\frac{dq}{dt}$ منفی است (یعنی گرما به طرف چپ شکل جریان دارد) . معادله ی (۶-۱) قانون فوریه هدایت گرمایی است . این قانون حتی وقتی که گرادیان دمایی ماده ثابت نیست ، نیز صادق می باشد . در این حالت ، $\frac{dT}{dx}$ در مکان های مختلف روی محور X ، مقادیر مختلفی دارد و $\frac{dq}{dt}$ از یک مکان به مکان دیگر تغییر می کند .



شکل (۵-۱) - انتقال گرما از طریق یک ماده [۶]

اگر چه سیستم در شکل (۵-۱) در تعادل ترمودینامیکی نیست ، فرض می کنیم که به هر قسمت کوچک سیستم می توان متغیرهای ترمودینامیکی نظیر T, U, S, P و نسبت داد، و همه روابط ترمودینامیکی بین چنین متغیرهایی در هر قسمت کوچک سیستم برقرار است . این فرض «اصل حالت موضعی»^۱ یا «فرضیه تعادلی موضعی» نامیده می شود، که تقریباً در بیشتر سیستم ها صدق می کند . هدایت گرمایی λ ، یک تابعی از حالت ترمودینامیکی موضعی سیستم است ، و بنابراین به P و T ماده خالص بستگی دارد. همانطور که می دانید هدایت گرمایی به خاطر برخوردهای ملکولی است. ملکولهای در ناحیه ای با دمای بالاتر ، دارای انرژی متوسط بالاتر از ملکولها در ناحیه ای با دمای پائین تر هستند . در برخوردهای بین مولکولی ، مولکول های با انرژی بالاتر انرژی خود را به مولکول های با انرژی کمتر می دهند . این منجر به جریان انرژی از نواحی با T بالا به ناحیه ای با T کمتر می شود . در گازها ، ملکولها نسبتاً آزادانه حرکت می کنند و جریان انرژی ملکولی در هدایت گرمایی توسط انتقال واقعی ملکول ها که تحت برخورد قرار دارند ، از یک ناحیه ای از فضا به ناحیه ای مجاور ، اتفاق می افتد . در مایعات و جامدات که ملکولها آزادانه حرکت نمی کنند ، انرژی ملکولی از طریق برخوردهای متوالی بین ملکولها در لایه های مجاور بدون اینکه ملکولها از ناحیه ای به ناحیه دیگر بروند ، انتقال می یابد .

^۱-Hypothesis of local equilibrium