دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته شیمی‌فیزیک

گروه شیمی

عنوان پایان نامه:

رابطه همبستگی جدید برای خواص ترموفیزیکی

حسن حقیقت

استادراهنما:

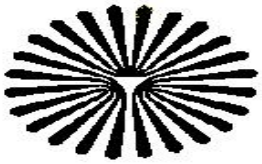
دکتر سید احمد رضوی زاده اردکانی

استادمشاور:

دکترسارا فخرایی

بهمن ماه ۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

مرکز شیراز

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته شیمی فیزیک

گروه شیمی

عنوان پایان نامه:

رابطه همبستگی جدید برای خواص ترموفیزیکی

حسن حقیقت

استادراهنما:

دکتر سید احمد رضوی زاده اردکانی

استادمشاور:

دکترسارا فخرایی

بهمن ماه ۹۱

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه پیام نور استان فارس
باسمه تعالی

تاریخ : ۹۱/۱۱/۲۹
شماره : ۵/۱۶۲۷۷
پیوست :

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد **آقای حسن حقیقت** دانشجوی رشته **شیمی فیزیک** به شماره دانشجویی **۸۹۰۰۷۴۰۰۸** با عنوان:

" رابطه همبستگی جدید برای خواص ترموفیزیکی"

با حضور هیات داوران در روز **یک‌شنبه** مورخ **۱۳۹۱/۱۱/۲۹** ساعت **۱۰ صبح** در محل ساختمان **اندیشه دانشگاه پیام نور شیراز** برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی، پایان‌نامه‌ی مذکور را شایسته‌ی نمره به عدد ۱۸٫۷۵ به حروف هیجده و هفتاد و پنج صدم با درجه عالی تشخیص داد.

ردیف	نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر سیداحمد رضوی‌زاده	راهنما	استادیار	پیام‌نور شیراز	
۲	دکتر سارا فخرایی	مشاور	استادیار	پیام‌نور خرامه	
۳	دکتر سیدحبیب‌اله موسوی	داور	استادیار	پیام‌نور جهرم	
۴	آقای امیر اکبری	نماینده تحصیلات تکمیلی	مربی	پیام‌نور شیراز	

رئیس اداره‌ی تحصیلات تکمیلی

شیراز- شهرک گلستان، بلوار دهخدا
قبل از نمایشگاه بین المللی
تلفن : ۳-۶۲۲۲۲۴۰-۰۷۱۱
دورنگار: ۶۲۲۲۲۴۹-۰۷۱۱
صندوق پستی :۱۳۶۸ - ۷۱۹۵۵
www.spnu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب حسن حقیقت دانشجوی ورودی سال ۸۹ مقطع کارشناسی ارشد رشته شهرسازی گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر ، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام . بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود .

دانشجو تائید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است .

نام و نام خانوادگی دانشجو حسن حقیقت

تاریخ و امضاء ۹۱/۱۲/۵

اینجانب حسن حقیقت دانشجوی ورودی سال ۸۹ مقطع کارشناسی ارشد رشته شهرسازی گواهی می نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله ، کتاب ، و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما ، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله ، کتاب ، و ... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم .

نام و نام خانوادگی دانشجو

تاریخ و امضاء حسن حقیقت ۹۱/۱۲/۵

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه مطعلق به دانشگاه پیام نور می باشد .

ماه و سال

اسفند سال ۱۳۹۱

تقدیم به

روح پرفتوح شهدای هسته‌ای جمهوری اسلامی ایران

و خانواده عزیزم

سپاسگزاری

با سپاس و ستایش از درگاه خداوند عالم که توفیق کسب علم و دانش را به این جانب عطا فرمود. بر خود لازم میدانم از کلیه عزیزانی که مرا در انجام این تحقیق همیاری کرده‌اند قدردانی نمایم. از این رو لازم است از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر سید احمد رضوی‌زاده که همواره راهنمای بنده در انجام این امر بودند تشکر و تقدیر نمایم. همچنین از استاد بزرگوارم سرکار خانم دکتر سارا فخرایی که به عنوان مشاور در این پایان نامه مرا یاری نمودند سپاسگزاری می نمایم. از خانواده عزیزم که درتمام مراحل زندگی مشوق من بوده‌اند تشکر می نمایم. در نهایت از تمام کسانی که این جانب را به نوعی در این تحقیق یاری رساندند کمال تشکر را دارم.

" حسن حقیقت"

چکیده

رابطه همبستگی جدید برای خواص ترموفیزیکی

برای بدست آوردن رابطه همبستگی جدید بر روی پنج خاصیت هدایت گرمایی، ظرفیت گرمایی در فشار ثابت، کشش سطحی، ویسکوزیته و چگالی تحقیق انجام گرفته است. برای انجام این تحقیق ابتدا داده‌های تجربی خواص مورد نظر از منابع معتبر جمع آوری گردید. بعد ازجمع آوری داده‌های کافی ، معادلات زیادی در نرم افزارهای سیگماپلات و لب فیت بر روی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و با کار کردن روی معادلاتی که نتایج بهتری را ارائه می‌دادند و مقایسه با نتایج تجربی و تجزیه و تحلیل آنها در نرم افزار اکسل، در نهایت معادلاتی که میانگین خطای کمتری را ارائه می-دادند و داده‌های حاصل شده از آنها به داده‌های تجربی نزدیکتر بود، به عنوان رابطه همبستگی خاصیت مورد نظر انتخاب شد. همچنین روابط بدست آمده با سایر روابطی که قبلا ارائه شده بود مقایسه گردید و نتایج نشان دهنده این است که این روابط پیش بینی بهتری نسبت به سایر روابط دارد.

واژگان کلیدی: رابطه همبستگی، خواص ترموفیزیکی، هدایت گرمایی، ظرفیت گرمایی در فشار ثابت، کشش سطحی، ویسکوزیته، چگالی

فهرست مطالب

مندرجات صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

۱–۱ خاصیت ۲

۱–۲ خواص ترموفیزیکی ۲

۱–۲–۱ خواص انتقالی ۲

۱–۲–۱–۱ ویسکوزیته ۳

۱–۲–۱–۲ هدایت گرمایی ۵

۱–۲–۱–۳ ضریب نفوذ ۶

۱–۲–۱–۴ رسانایی الکتریکی ۶

۱–۲–۲ خواص ترمودینامیکی ۶

۱–۲–۲–۱ آنتالپی ۷

۱–۲–۲–۲ انرژی درونی ۷

۱–۲–۲–۳ آنتروپی ۷

۱–۲–۲–۴ انرژی آزاد گیبس ۸

۱–۲–۲–۵ انرژی آزاد هلمهولتز ۸

۱–۲–۲–۶ ظرفیت گرمایی ۸

۱–۲–۲–۷ کشش سطحی ۹

۱–۲–۲–۸ چگالی ۱۰

۱–۳ ترمودینامیک ۱۰

۱–۳–۱ قوانین ترمودینامیک ۱۱

۱–۳–۱–۱ قانون اول ترمودینامیک ۱۱

۱-۳-۱-۲ قانون دوم ترمودینامیک..... ۱۱
۱-۳-۱-۳ قانون سوم ترمودینامیک..... ۱۳
۱-۳-۱-۴ قانون صفرام ترمودینامیک..... ۱۳
فصل دوم: روش های اندازه‌گیری خواص ترموفیزیکی
و روش کار..... ۱۴
۲-۱ هدایت گرمایی..... ۱۵
۲-۲ ظرفیت گرمایی..... ۱۶
۲-۳ کشش سطحی..... ۱۷
۲-۴ ویسکوزیته..... ۱۷
۲-۵ چگالی..... ۲۰
۲-۶ روش کار..... ۲۱
فصل سوم: نتایج و بحث و گفتگو..... ۲۴
۳-۱ هدایت گرمایی..... ۲۵
۳-۲ ظرفیت گرمایی در فشار ثابت..... ۳۱
۳-۳ کشش سطحی..... ۳۷
۳-۴ ویسکوزیته..... ۴۳
۳-۵ چگالی..... ۴۹
۳-۶ بحث و گفتگو..... ۵۵
۳-۷ نتیجه گیری..... ۵۷
پیوست..... ۵۹
منابع..... ۶۱

فهرست جداول

جدول صفحه

۳-۱ ضرایب معادله جدید هدایت گرمایی..... ۲۷

۳-۲ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات تجربی و معادله جدید در هدایت گرمایی..... ۲۸

۳-۳ میانگین خطای کل برای معادلات تجربی و معادله جدید در هدایت گرمایی..... ۲۹

۳-۴ داده‌های تجربی خاصیت هدایت گرمایی نیکل در برابر دما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید..... ۳۰

۳-۵ ضرایب معادله جدید ظرفیت گرمایی در فشار ثابت..... ۳۳

۳-۶ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات تجربی و معادله جدید در ظرفیت گرمایی در فشارثابت..... ۳۴

۳-۷ میانگین خطای کل برای معادلات تجربی و معادله جدید در ظرفیت گرمایی در فشار ثابت..... ۳۵

۳-۸ داده‌های تجربی خاصیت ظرفیت گرمایی در فشار ثابت آلیاژ اورانیوم-زیرکونیوم در برابر دما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید ۳۷

۳-۹ ضرایب معادله جدید کشش سطحی..... ۳۹

۳-۱۰ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات تجربی و معادله جدید در کشش سطحی..... ۴۰

۳-۱۱ میانگین خطای کل برای معادلات تجربی و معادله جدید در کشش سطحی... ۴۱

۳-۱۲ داده‌های تجربی خاصیت کشش سطحی بوران تری برومید در برابر دما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید..... ۴۲

۳-۱۳ ضرایب معادله جدید ویسکوزیته..... ۴۵

۳-۱۴ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات تجربی و معادله جدید در ویسکوزیته..... ۴۶

۳-۱۵ میانگین خطای کل برای معادلات تجربی و معادله جدید در ویسکوزیته ۴۶
۳-۱۶ داده‌های تجربی خاصیت ویسکوزیته بیس - (۲-هیدروکسی اتیل)
آمونیوم استات در برابردما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید.....۴۸
۳-۱۷ ضرایب معادله جدید چگالی.....۵۰
۳-۱۸ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات تجربی و معادله جدید
در چگالی ۵۱
۳-۱۹ میانگین خطای کل برای معادلات تجربی و معادله جدید در چگالی.....۵۲

۳-۲۰ داده‌های تجربی خاصیت چگالی بنزن در برابر دما و داده‌های معادلات تجربی و
معادله جدید ۵۴

فهرست شکل‌ها

شکل صفحه

۱-۱ حالت ترمودینامیکی یک سیستم..... ۷

۱-۲ بیان قانون دوم ترمودینامیک..... ۱۲

۱-۳ جریان گرما در راستای کاهش دما..... ۱۲

۱-۴ بیان قانون صفرام ترمودینامیک..... ۱۳

۲-۱ طرح کلی دستگاه تابش لیزر..... ۱۶

۳-۱ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات
تجربی و معادله جدید در هدایت گرمایی..... ۲۹

۳-۲ میانگین خطای کل معادلات تجربی و معادله جدید در هدایت گرمایی..... ۳۰

۳-۳ داده‌های تجربی خاصیت هدایت گرمایی نیکل در برابر دما و داده‌های معادلات
تجربی و معادله جدید..... ۳۱

۳-۴ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات
تجربی و معادله جدید در ظرفیت گرمایی فشار ثابت..... ۳۵

۳-۵ میانگین خطای کل معادلات تجربی و معادله جدید
در ظرفیت گرمایی در فشار ثابت..... ۳۶

۳-۶ داده‌های تجربی خاصیت ظرفیت گرمایی در فشار ثابت آلیاژ اورانیوم-زیرکونیوم
در برابر دما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید..... ۳۷

۳-۷ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات
تجربی و معادله جدید در کشش سطحی..... ۴۱

۳-۸ میانگین خطای کل معادلات تجربی و معادله جدید در کشش سطحی..... ۴۲

۳-۹ داده‌های تجربی خاصیت کشش سطحی بوران تری برومید
در برابر دما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید..... ۴۳

۳-۱۰ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات
تجربی و معادله جدید در ویسکوزیته..... ۴۷

۳-۱۱ میانگین خطای کل معادلات تجربی و معادله جدید در ویسکوزیته..... ۴۷

۳-۱۲ داده‌های تجربی خاصیت ویسکوزیته بیس - (۲-هیدروکسی اتیل)

آمونیوم استات در برابردما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید.....۴۸
۳-۱۳ میانگین درصد خطاهای مواد مختلف برای معادلات
تجربی و معادله جدید در چگالی.....۵۲
۳-۱۴ میانگین خطای کل معادلات تجربی و معادله جدید در چگالی.....۵۳
۳-۱۵ داده‌های تجربی خاصیت چگالی بنزن در برابر
دما و داده‌های معادلات تجربی و معادله جدید.....۵۵

فصل اول:

مقدمه

از ضرورت‌های انجام این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره نمود.

- روابط همبستگی خواص ترموفیزیکی در صنایع پتروشیمی، نفت، پالایشگاه‌ها و صنایع مرتبط دیگر و همچنین در دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و علمی استفاده زیاد و وسیع دارند.
- میانگین خطای داده‌های تجربی و داده‌های معادلات تجربی، در بعضی موارد مقادیر بزرگی می باشد و لذا ضرورت انجام تحقیق بیشتری در این باره وجود دارد و ارائه روشی دقیقتر موجب پیش‌بینی بهتر خواص ترموفیزیکی خواهد شد.

در این فصل مباحثی در رابطه با خواص مواد آورده شده است.

۱–۱ خاصیت[1]: هرمشخصه از سیستم[2] یک خاصیت نامیده می‌شود. به عبارتی مشخصه قابل اندازه‌گیری مستقیم و یا غیر مستقیم سیستم را خاصیت گویند مانند فشار، حجم، دما (قابل اندازه-گیری مستقیم) و انرژی درونی[3]، آنتالپی[4]، آنتروپی[5] (خواص قابل اندازه‌گیری یا محاسبه غیر مستقیم به وسیله روابط ریاضی).

سیستم به عنوان مقداری از ماده یا ناحیه‌ای از فضا که برای مطالعه انتخاب شده است تعریف می‌شود. کار و گرما خاصیت یک سیستم نیستند چون سیستم در یک حالت معینی دارای مقدار معینی کار یا گرما نیست بلکه کار و گرما در اثر تغییر حالت یک سیستم می تواند با سیستم دیگر یا محیط[6] مبادله شود.

۱–۲ خواص ترموفیزیکی[7]:

خواص ترموفیزیکی پدیده‌ها و فرآیندهایی است که به فیزیک اجسام مربوط می‌گردد که به نوعی به حرارت و دما وابسته است. خواص مواد به طورکلی به خواص ترموفیزیکی معروف بوده و شامل دو دسته متمایز می‌باشند:۱.خواص انتقالی[8] ۲.خواص ترمودینامیکی

۱–۲–۱ خواص انتقالی: فرایندهایی که ماده یا انرژی یا هر دو بین سیستم و محیط آن و یا بین قسمتی از سیستم و قسمت دیگر آن مبادله شوند، فرایندهای انتقالی نامیده می‌شوند و شاخه‌ای از سینتیک[9] که سرعت و مکانیزم فرایندهای انتقالی را بررسی می‌کند، سینتیک فیزیکی است. قوانینی

---

[1] *Property*
[2] *System*
[3] *Internal Energy*
[4] *Enthalpy*
[5] *Entropy*
[6] *Surrounding*
[7] *Thermophysical Properties*
[8] *Transfer Properties*
[9] *Kinetics*

که بیانگر جریان سیال، رسانایی حرارتی، نفوذ و رسانایی الکتریکی هستند تماما از یک قانون کلی تبعیت می‌کنند، که سرعت انتقال متناسب با مشتق مکانی (گرادیان) یک کمیت است. خواص انتقالی در تعیین سرعت پخش آلاینده‌ها در محیط مهم هستند. نمونه‌های بیولوژیکی پدیده‌های انتقالی عبارتند از جریان خون، نفوذ مولکول‌های حل شونده در سلول‌ها و داخل غشاهای سلولی و نفوذ انتقال دهنده‌های عصبی[1] بین سلول‌های عصبی.

چهار خاصیت مهم که جزء خواص انتقالی هستند عبارتند از: ویسکوزیته[2]، هدایت گرمایی، گرمایی، ضریب نفوذ، رسانایی الکتریکی.

۱–۲–۱–۱ ویسکوزیته: ویسکوزیته بیان کننده انتقال اندازه حرکت است. خاصیتی که سختی جاری شدن یک سیال را مشخص می‌کند ویسکوزیته آن سیال است. سرعت جریان یک سیال از داخل یک لوله با ویسکوزیته آن نسبت عکس دارد. ویسکوزیته را می‌توان به عنوان نیرویی تعریف کرد که لازم است بر یک قشر به سطح واحد وارد کرد تا سرعت آن را نسبت به قشر دیگر که به فاصله واحد از آن قرار دارد به اندازه یک واحد افزایش دهد(۹)[3].(بارووو, اتکینز[4].شیمی فیزیک .۱۹۷۹ .) مایعاتی که مولکول‌های بزرگ دارند، دارای ویسکوزیته بیشتری از مایعاتی هستند که مولکول‌های آنها کوچک و کروی است. سرعت سیال در وسط لوله ماکزیمم است و در سطوح داخلی لوله به صفر می‌رسد. شرط جریان صفر در مرز بین یک سطح جامد و یک سیال یک واقعیت تجربی است و به شرط «نسریدن[5]»موسوم است. لایه‌های افقی مجاور هم در سیال با سرعت‌های متفاوتی حرکت می‌کنند و روی یکدیگر می‌غلتند. در هنگام عبور لایه‌ها از روی یکدیگر، هرکدام یک نیروی مقاوم اصطکاکی به دیگری وارد می‌کند، که این اصطکاک داخلی منشا ویسکوزیته است. رابطه‌ای که برای ویسکوزیته یک سیال که بین دو صفحه با مساحت سطح A فرض می‌شود، در زیر آمده است. آزمایش‌های انجام شده بر جریان سیال نشان می‌دهند که F_y با مساحت سطح تماس و گرادیان $\frac{dv_y}{dx}$ سرعت جریان متناسب است.

$$F_y = -\eta A \frac{dv_y}{dx} \qquad (۱-۲-۱)$$

- F : نیروی مماس مورد نیاز برای حرکت
- v : سرعت

[1] *Neurotransrnitters*
[2] *Viscosity*
[3] *Reference*
[4] *G.M.Barrow,P.W.Atkins*
[5] *No-slip Condition*

- x : فاصله بین دو سطح موازی

معادله (۱-۲-۱) به قانون ویسکوزیته نیوتون[۱] معروف است و علامت منفی گویای آن است که نیروی ویسکوز بر سیال تندروتر در جهت مخالف حرکت آن است. نیروی ویسکوز باعث کند کردن سیال سریعتر و سرعت بخشیدن به سیال کندتر می‌شود. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که گازها و بسیاری از مایعات به خوبی از این قانون تبعیت می‌کنند، مشروط برآنکه سرعت جریان سیال بسیار زیاد نباشد. چنانچه معادله فوق برقرار باشد، جریان آرام[۲] (یا جریان طبیعی[۳]) است. چنانچه سرعت سیال زیاد باشد رابطه فوق برقرار نخواهد بود و جریان آشفته[۴] نامیده می‌شود. یک سیال نیوتونی، سیالی است که در آن ویسکوزیته مستقل از $\frac{dv_y}{dx}$ باشد. دریک سیال غیر نیوتونی، ویسکوزیته با تغییرات $\frac{dv_y}{dx}$ تغییر می‌کند.گازها و بسیاری از مایعات غیر پلیمری نیوتونی هستند. محلول‌های پلیمری، مایعات پلیمری و تعلیق کلوئیدی[۵] معمولا غیرنیوتونی هستند. ویسکوزیته بستگی به نیروهای جاذبه بین مولکولی دارد و این نیروها با افزایش دما کاهش می‌یابند. ویسکوزیته گازها بسیار کمتر از مایعات است. ویسکوزیته مایعات به سرعت با افزایش دما کم می‌شود و این کاهش ویسکوزیته کاملا مشهود است، چون انرژی جنبشی انتقالی زیادتر با عث می‌شود که بر جاذبه‌های بین‌مولکولی با سهولت بیشتری غلبه کند. ویسکوزیته مایعات با افزایش فشار زیاد می‌شود. جاذبه های بین‌مولکولی قوی در مایع مانع جاری شدن سیال و باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود. بنابراین، مایعات با ویسکوزیته زیاد دارای نقاط جوش و گرمای تبخیر بالایی هستند. شکل مولکولی نیز بر ویسکوزیته مایعات اثر می‌گذارد. پلیمرهای مایع با زنجیر بلند بسیار ویسکوزند، چون زنجیرها به دور یکدیگر می‌پیچند و مانع جاری شدن می‌شوند. کمیت η در معادله ویسکوزیته نیوتون، ویسکوزیته دینامیک[۶] یا ویسکوزیته مطلق نامیده می‌شود. نوع دیگر ویسکوزیته، ویسکوزیته سینماتیک[۷] می‌باشد که طبق رابطه زیر نسبت ویسکوزیته دینامیک به چگالی[۸] سیال تعریف می‌شود.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \qquad (۱-۲-۲)$$

---

[1] *Neyoton*
[2] *Laminar*
[3] *Streamline*
[4] *Turbulent*
[5] *Colloidal Suspensions*
[6] *Dynamics*
[7] *Cinematic*
[8] *Density*

واحد ویسکوزیته دینامیک دردستگاه بین المللی یکاها[1]، پاسکال[2] در ثانیه می‌باشد. یک واحد مناسب برای ویسکوزیته میلی پاسکال در ثانیه است. واحد ویسکوزیته سینماتیک دردستگاه بین المللی یکاها مترمربع بر ثانیه است و واحد مناسب برای آن میلی متر مربع بر ثانیه است. واحد ویسکوزیته دینامیک در دستگاه گوسی[3] پواز[4] می‌باشد و واحد ویسکوزیته سینماتیک در دستگاه گوسی استوک[5] نام دارد.

$$1P = 1\left(dyn.\frac{s}{cm^2}\right) = 1\left(\frac{g}{cm.s}\right).$$
$$1St = 1\left(\frac{cm^2}{s}\right).$$

۱-۲-۱-۲ هدایت گرمایی: هدایت گرمایی بیان کننده انتقال انرژی است. هدایت گرمایی نوعی از انتقال انرژی است که به علت گرادیان دما در یک ماده منتقل می‌گردد. هدایت گرمایی مواد را می‌توان در کل به سه دسته زیر دسته بندی کرد:

- گازها کوچکترین مقدار هدایت گرمایی را دارند: ($۰/۰۲-۰/۱۳\frac{W}{m.K}$)
- مایعات مقادیر متوسط را در هدایت گرمایی دارند: ($۰/۱۲-۹\frac{W}{m.K}$)
- فلزات خالص بزرگترین مقدار هدایت گرمایی را دارند: ($۳۵-۴۰۰\frac{W}{m.K}$)

مقدار هدایت گرمایی به دما، چگالی، پیوند مولکولی، فشار، رطوبت و فاز متوسط بستگی دارد. در کل مقدار هدایت گرمایی وابسته به دماست و به مقدار ضعیف تر وابسته به فشار است. واحد هدایت دردستگاه بین المللی یکاها وات بر متر در کلوین می‌باشد.

در گازها با مدل نظریه جنبشی ساده[6]، هدایت گرمایی در گازها که انتقال انرژی به علت گرادیان دما در گازها می‌باشد را می‌تواند توضیح دهد. در این مدل مولکول‌ها در منطقه با دمای بالاتر، نسبت به مولکول‌هایی که در منطقه با دمای کمتر قرار دارند، انرژی بیشتری دارند. مکانیسم انتقال انرژی به وسیله هدایت گرمایی در مایعات تقریبا مشابه گازهاست به غیر از منطقه‌ای که در آن بر هم کنش کمتر و مقاومت وفراوانی برخوردهای مولکولی بزرگتر است. در جامدات مکانیسم برای انتقال انرژی به وسیله رسانایی الکتریکی، ترکیب تاثیرات لایه‌های شبکه[7] و جریان الکترون

---

[1] *SI*
[2] *Pascal*
[3] *cgs*
[4] *Poaz*
[5] *Stok*
[6] *Simple Kinetic-Theory Modle*
[7] *Lattice Waves*