آزمایشگاه ترمودینامیک

مولفان:
پیمان ابراهیمی ناغانی
احمدرضا ملاکـــاظمـــی
سید محمدنوید طباطبایی‌زاده

سرشناسه: ابراهیمی ناغانی، پیمان، ۱۳۵۴ –
عنوان و نام پدیدآور: آزمایشگاه ترمودینامیک/ مولفان پیمان ابراهیمی‌ناغانی، احمدرضا ملاکاظمی، سیدمحمدنوید طباطبایی‌زاده.
مشخصات نشر: تهران: پارسیا.
مشخصات ظاهری: ۱۴۶ ص.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۴۹۱۱-۰-۲
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: ترمودینامیک -- دستنامه‌های آزمایشگاهی
موضوع: Thermodynamics -- Laboratory manuals
شناسه افزوده: ملاکاظمی، احمدرضا، ۱۳۷۷–
شناسه افزوده: طباطبایی‌زاده، سیدمحمدنوید، ۱۳۷۷–
رده بندی کنگره: ۲۶۵TJ
رده بندی دیویی: ۴۰۲۱/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی: ۷۶۶۳۰۴۲

آزمایشگاه ترمودینامیک

مولفان: پیمان ابراهیمی ناغانی، احمدرضا ملاکاظمی
سید محمد نوید طباطبایی‌زاده
ناشر: پارسیا
شمارگان: ۱۰۰ نسخه
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۴۹۱۱-۰-۲

مرکز پخش:

تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه اول، واحد ۳ تلفن: ۹۲ـ ۶۶۴۸۴۱۹۱، www. noavarpub. com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر پارسیا می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر پارسیا ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفی تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فـهرست مطالب

مقدمه ۱۲

نحوه تهیه گزارش کار آزمایشگاه ۱۳
۱) هدف ۱۳
۲) چکیده مطالب ۱۳
۳) تئوری ۱۳
۴) شرح دستگاه ۱۳
۵) شرح آزمایش ۱۳
۶) نمونه محاسبات ۱۴
۷) بحث و نتیجه‌گیری ۱۴
۸) پاسخ به سوالات ۱۴
۹) ضمیمه ۱۴

آزمایش اول / دیگ مارست ۱۵
اهداف ۱۵
مقدمه ۱۵
شرح دستگاه ۱۶
روش کار با دستگاه ۱۶
نکات ایمنی ۱۷
ترمودینامیک آزمایش ۱۷
روش انجام آزمایش ۱۸
محاسبه و معادلات ۱۹
نتیجه‌گیری ۲۰
سوالات ۲۱

آزمایش دوم / تبرید تراکمی ۲۲
اهدف آزمایش ۲۲
مقدمه ۲۲
شرح دستگاه ۲۲

اجزای دستگاه ۲۳
ترمودینامیک آزمایش ۲۴
سیکل تبرید تراکمی ۲۴
ضریب عملکرد ۲۴
انحراف سیکل تبرید تراکم بخار حقیقی از سیکل ایده‌آل ۲۶
نحوه نصب و راه‌اندازی دستگاه ۲۶
روش انجام آزمایش ۲۷
آزمایش اول ۲۷
مراحل آزمایش ۲۷
خواسته‌های آزمایش اول ۲۷
آزمایش دوم ۲۸
مراحل آزمایش ۲۸
فرآیند ۳-۲ ..... ۲۸
فرآیند ۴-۳ ..... ۲۹
فرآیند ۱-۴ ..... ۲۹
خواسته‌های آزمایش دوم ۲۹
سوالات ۲۹

آزمایش سوم / دستگاه تهویه مطبوع ۳۱
اهداف آزمایش ۳۱
مقدمه ۳۱
مشخصات دستگاه ۳۲
ترمودینامیک آزمایش ۳۳
تعاریف ۳۳
فرایندهای تهویه مطبوع ۳۶
نکته بسیار مهم ۳۶
تعیین دبی جرمی هوای ورودی ۳۸
روش کار با دستگاه ۳۸
آزمایش‌ها ۳۹
آزمایش ۱ (رطوبت زنی وگرمایش) ۳۹
آزمایش ۲ (رطوبت زدایی) ۴۰

آزمایش ۳ (گرمایش هوا) ۴۰
آزمایش ۴ (سرمایش هوا) ۴۱
آزمایش ۵ (رسیدن به شرایط آسایش) ۴۲

آزمایش چهارم / برج خنک کن ۴۶
هدف از آزمایش ۴۶
مقدمه ۴۶
ترمودینامیک آزمایش ۴۸
مدار جریان آب دستگاه ۴۹
مدار جریان هوای دستگاه ۵۰
تجهیزات دستگاه ۵۰
ابزارهای حفاظتی دستگاه ۵۰
تبخیر از یک سطح خیس ۵۰
عملکرد برج خنک کن ۵۱
کاربرد معادله انرژی جریان پایدار ۵۳
تعادل جرم ۵۳
آزمایش‌ها ۵۵
آزمایش اول ۵۵
آزمایش دوم ۵۷
تاثیر بار سرمایش بر روی دمای رویکرد به حباب مرطوب ۵۷
نمونه مثال حل شده ۵۸
آزمایش سوم ۶۰
رابطه‌ی بین سرعت هوا و دمای رویکرد به حباب مرطوب و افت فشار جعبه ۶۰
نمونه مثال حل شده ۶۰
آزمایش چهارم ۶۲
رابطه بین بار سرمایشی (توان هیتر) و بازه سرمایش ۶۲

آزمایش پنجم / تبرید جذبی ۶۴
هدف ۶۴
شرح دستگاه و عملکرد سیکل تبرید جذبی ۶۴
اهداف سیکل جذبی ۶۵

مزایای سیکل جذبی ۶۶
اجزای اصلی سیکل تبرید جذبی ۶۶
اجزای دستگاه ۶۶
ترمودینامیک آزمایش ۶۷
سیکل تبرید جذبی- آمونیاک ۶۷
سیستم جذبی تکمیل شده ۶۹
روش انجام آزمایش ۷۰
سوالات ۷۱

آزمایش ششم / معادل مکانیکی گرما ۷۲
هدف انجام آزمایش ۷۲
مقدمه ۷۲
ترمودینامیک آزمایش ۷۳
شرح دستگاه آزمایش ۷۳
روش کار با دستگاه ۷۴
نحوه‌ی انجام آزمایش ۷۴
داده‌های آزمایش ۷۵
خواسته‌های آزمایش ۷۵
نمونه‌ی محاسبات ۷۶
راندمان کلی دستگاه ۷۶
سوالات ۷۶

آزمایش هفتم / سیکل استرلینگ ۷۸
هدف ۷۸
مقدمه ۷۸
ترمودینامیک آزمایش ۷۹
نحوه کار موتورهای استرلینگ ۸۰
شرح دستگاه ۸۱
اجزای دستگاه ۸۲
روش کار با دستگاه ۸۲
روش انجام آزمایش ۸۳

محاسبات ۸۳
سوالات ۸۴
آزمایش هشتم ۸۵
موتور بنزینی ۸۵
هدف ۸۵
شرح دستگاه ۸۵
ترمودینامیک آزمایش ۸۷
اجزای کلی دستگاه ۸۸
روش کار با دستگاه ۸۸
روش آزمایش ۸۹
۱- تعیین دبی جرمی هوای ورودی به موتور ۹۰
۲- فشار مؤثر متوسط mep (mean effective pressure) ۹۰
۳- مصرف ویژه سوخت ۹۱
۴- نسبت هوا به سوخت ۹۱
۵- انرژی از دست داده شده توسط دود خروجی ۹۱
۶- راندمان حجمی ۹۲
۷- راندمان حرارتی ۹۲
۸- درصد تلفات اگزوز ۹۲
سوالات ۹۳

آزمایش نهم / موتور دیزل ۹۵
هدف ۹۵
مقدمه ۹۵
ترمودینامیک آزمایش ۹۶
نحوه عملکرد موتورهای دیزل ۹۶
سیکل دیزل ۹۷
شرح دستگاه ۹۸
مشخصات موتور دیزل ۹۹
روش کار با دستگاه ۹۹
روش آزمایش ۱۰۱
محاسبات: ۱۰۱

۱- تعیین دبی جرمی هوای ورودی به موتور ۱۰۱
۲- قدرت محوری ۱۰۱
۳- مصرف ویژه سوخت ۱۰۲
۴- نسبت هوا به سوخت ۱۰۳
۵- انرژی از دست داده شده توسط دود خروجی ۱۰۳
۶- راندمان حجمی ۱۰۳
۷- راندمان حرارتی ۱۰۳
خواسته‌های آزمایش ۱۰۴

آزمایش دهم / موتور بخار ۱۰۶
هدف ۱۰۶
مقدمه ۱۰۷
water tube boiler ۱۰۷
fire tube boiler ۱۰۸
شرح دستگاه ۱۰۸
بویلر ۱۰۹
یونیت موتور ۱۰۹
کندانسور ۱۱۰
ترمودینامیک آزمایش ۱۱۰
روش انجام آزمایش ۱۱۳
سوالات ۱۱۴

آزمایش یازدهم / کمپرسور تک مرحله‌ای ۱۱۶
هدف ۱۱۶
مقدمه ۱۱۷
ترمودینامیک آزمایش ۱۱۷
راندمان حجمی ۱۱۸
راندمان دما ثابت: ۱۲۰
بازده تک آنتروپی کمپرسورها ۱۲۱
شرح دستگاه ۱۲۲
روش انجام آزمایش ۱۲۴

خواسته‌های آزمایش ۱۲۴

آزمایش دوازدهم / کمپرسور دو مرحله‌ای ۱۲۶
هدف ۱۲۶
مقدمه ۱۲۷
ترمودینامیک آزمایش ۱۲۷
شرح دستگاه آزمایش ۱۲۸
۱-تعیین دبی جرمی هوای ورودی ۱۲۹
۲- محاسبه راندمان کلی کمپرسور ۱۲۹
۳- راندمان حجمی کمپرسور ۱۳۰
۴- محاسبه توان پلی ترپیک یا اندیس تراکم n ۱۳۰
۵- محاسبه کار واقعی انجام شده ۱۳۰
۶- توان اندیکاتوری ۱۳۱
۷- توان ایزوترم ۱۳۱
۸- محاسبه راندمان ایزوترم ۱۳۱
۹- محاسبه گرمای از دست داده شده در خنک کن (مخزن میانی) ۱۳۱
روش کار با دستگاه ۱۳۱
روش انجام آزمایش ۱۳۲
خواسته‌های آزمایش ۱۳۲

آزمایش سیزدهم / مخلوط گازها ۱۳۴
هدف ۱۳۴
مقدمه ۱۳۵
مثال ۱۳۶
شرح دستگاه ۱۳۶
نوار ابزار (*Tool Bar*) ۱۳۷
نوار ابزار(*Tool Bar*) ۱۳۹
ترمودینامیک آزمایش ۱۴۰
الف) فرآیند حجم ثابت ۱۴۱
ب) فرآیند آدیاباتیک ۱۴۱
کار انجام شده در یک فرایند آدیاباتیک ۱۴۱

ج) فرایند دما ثابت ۱۴۲
روش انجام آزمایش ۱۴۳
الف) فرآیند حجم ثابت ۱۴۳
ب) فرآیند آدیاباتیک ۱۴۳
ج) فرایند هم دما ۱۴۴
درک سیستم تنفس انسان با قانون بویل ۱۴۴

منابع و مآخذ ۱۴۵

فراخوان مساعدت فرهنگی و علمی

خوانندهٔ فرهیخته و بزرگوار

نشر پارسیا ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما بـه کتـاب‌هـای ایـن انتشـارات، بـه استحضـارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلّفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همّت خود را برای ارائهٔ کتابی درخـور و شایسـتهٔ شـما فرهیختـهٔ گرامـی بـه‌کـار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حدّاقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیّت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

بااین‌وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائهٔ اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبـرّا از نقـص و اِشـکال دانسـت. ازسـوی‌دیگـر، ایـن انتشارت بنابه تعهّدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلّم خوانندگان گرامی، سـعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، ازهرگونه اشکال احتمـالی کتـاب‌هـای منتشرهٔ خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا دراین راستا، از شما فرهیختهٔ گرامی تقاضا داریم درصورتی‌که حین مطالعهٔ کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شدهٔ خود را با هزینهٔ انتشارات پارسیا، پس از هماهنگی با انتشـارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگهٔ جداگانه‌ای یادداشت نموده‌ایـد، لطـف کـرده عکس یا اسکن برگهٔ مزبور را با ذکر نام و شمارهٔ تلفن تماس خـود بـه ایمیـل انتشـارات پارسـیا ارسـال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اِعمال و اصلاح گـردد و باعـث هرچه پربارترشدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر پارسیا، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهّدانه و مسئولانهٔ شما خواننـدهٔ فرهیختـه و گرانقـدر، بـه‌منظـور تقدیر و تشکّر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، درصورتی‌که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسـب با میزان اصلاحات، به‌رسم ادب و قدرشناسی، نسخهٔ دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصـلاح‌شـدهٔ آن و نیـز از سایر کتب منتشرهٔ خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و درصورتی‌که اصـلاحات تأثیرگذار باشند در مقدّمهٔ چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر پارسیا و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقـادات و راه‌کارهـای شـما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچـه بهتـر شـدن سـطح کیفـی و علمـی آن صـمیمانه و مشـتاقانه استقبال می‌نمایند.

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

مقدمه

به نام یگانه پروردگار عقل، عدل وعشق

کتابی که پیش روی شماست بسیار کاربردی و مفهومی است و سعی برآن شده تا مطالب به صورت ساده و قابل فهم بیان شود، همان طور که می‌دانید درس آزمایشگاه ترمودینامیک از دروس مهم کارشناسی می‌باشد البته که دانشجو باید درس‌های ترمودینامیک ۱ و۲ را گذرانده باشد تا بتواند این درس آزمایشگاه را بگذراند ولی این کتاب مطالب را به صورتی بیان می‌کند که دانشجویانی که به هر علت درس‌های پایه ترمودینامیک را به خاطر نداشته باشند بتوانند آزمایش‌ها را درک کنند، البته که قوه بینایی و دیدن از نزدیک چه بسا بهتر از مطالعه در ذهن انسان نقش می‌بندد پس به دانشجویان توصیه می‌شود حتما آزمایش‌ها را همراه با ترمودینامیک آزمایش بررسی کنند تا مفهوم درس شیرین ترمودینامیک را متوجه بشوند. و به عنوان سخن آخر همیشه گفته ام که دانشجویان فنی و مهندسی بیشتر از آن که تئوری بخوانند باید عملی کار کنند و بیشتر ساعات خود را در

آزمایشگاه و کارگاه بگذرانند تا مطالب تئوری در ذهنشان نقش ببندد و متاسفانه در دانشگاه‌های ما به این درس‌ها اهمیت کمتری داده می‌شود. در پایان بحث ام را با سخنی از نویسنده معروف دیل کارنگی بزرگ به پایان می‌رسانم:

اگر می‌خواهید آن چه را که می‌بینید به خاطر بسپارید، بهترین کار آن است که به دیدن اکتفا نکنید! باید آن را لمس کنید، بو کنید و بچشید!

Noavar33@yahoo.com

نحوه تهیه گزارش کار آزمایشگاه

اصولا یک گزارش خوب، بهترین و قوی‌ترین وسیله ارتباطی برای اجـرای امـور و بهبـود روش کـار می‌باشد. یک گزارش ارزنده، حاوی اطلاعاتی است که در زمان ارائه می‌تواند بسیاری از مشکلات را حل کند. برای اینکه گزارش شما نیز چنین باشد در بدو امر نکات زیر را در نظر بگیرید:

۱- گزارش باید کاملا رسا و قابل فهم تنظیم شود.

۲- گزارش باید حتی المقدور مختصر ولی قابل استفاده باشد.

۳- گزارش باید در حد خود کامل و جامع باشد.

گزارشی که شما برای هر آزمایش تهیه می‌کنید به ترتیب باید شامل قسمت‌های زیر باشد:

۱) هدف:

در این قسمت در یک یا دو سطر، انتظاری را که از تحقیق و بررسی خود دارید ذکر کنید.

۲) چکیده مطالب:

خلاصه ای از هدف و کاری را که انجام داده اید و نتیجه را به طور مختصـر در چنـد سـطر توضـیح بدهید.

۳) تئوری:

در این بخش گزارش تئوری‌های ارائه شده در زمینه مورد بحث را به طـور خلاصـه بـرای خواننـده توضیح دهید. لازم بذکر است که بهتر است به جای کپی کردن مطالب از دستور کار، ایـن بخـش را بـا استفاده از کتاب و به سلیقه خودتان بنویسید. بدیهی است هر چه بخش تئوری، مختصـر ولـی مفیـد و حاوی اطلاعات مناسب باشد، بهتر است.

۴) شرح دستگاه:

سیستمی را که به کمک آن بررسی‌های خود را انجام خواهید داد با وضوح کامل و با آوردن عکـس یا شکل آن شرح دهید. طرز کار با دستگاه و اطلاعات و مشخصات فنی دستگاه را ذکر کنید.

۵) شرح آزمایش:

چگونگی انجام آزمایش و روشی را که برای بررسی مسئله مورد بحث به کار می‌برید را شرح دهید.

۶) نمونه محاسبات:

برای رسم منحنی‌ها و تهیه جداول، محاسباتی را باید انجام دهید که به ترتیب از هر کدام یک نمونه را در این قسمت برای خواننده توضیح می‌دهید.

۷) بحث و نتیجه‌گیری:

مهم‌ترین قسمت هر گزارش را این بخش از گزارش تشکیل می‌دهد. آنالیز اعداد و منحنی‌های به دست آمده قدرت درک شما را از مسائل علمی آشکار می‌سازد. بنابراین سعی کنید با دلایل محکم آنچه را که با کوشش به دست آورده اید، توجیه کنید.

۸) پاسخ به سوالات:

در انتهای هر بخش سوالاتی وجود دارد که جواب بیشتر آن‌ها را می‌توان در متن همان بخش یافت، که پاسخ به این سوالات منوط به خواندن هر آزمایش و فهم آن است.

۹) ضمیمه:

در اولین ضمیمه جداول به دست آمده از آزمایش و منحنی‌های رسم شده را قرار دهید و در دومین ضمیمه فهرست کتاب‌ها یا مقالاتی که در تهیه گزارش مورد استفاده قرار گرفته‌اند را بنویسید.

پس از اتمام گزارش این سوالات را از خودتان بپرسید:

۱) آیا به هدفی که داشتم رسیده ام؟

۲) آیا گزارش ساده و دقیق تهیه شده؟

۳) آیا جداول و نمودارها واضح و دقیق هستن؟

اگر جواب سوالی **خیر** بود سعی کنید قبل از تحویل گزارش آن نقص را بر طرف کنید و بدانید که هدف از آزمایشگاه غیر از مقایسه تئوری‌ها با عمل، ایجاد همکاری بین شما و به وجود آوردن نظم و ترتیب در کار شما می‌باشد.

آزمایش اول

دیگ مارست

اهداف

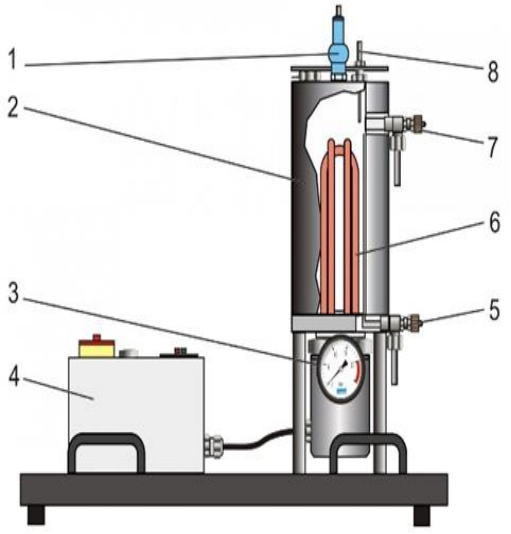
بررسی و درک مفهوم رابطه فشار و دمای بخار در تعادل با آب
ترسیم منحنی فشار و بخار اشباع

مقدمه

اگر مایعی را در فشار ثابت حرارت دهیم، حجم آن به مقدار ناچیز و دمای آن به شدت تغییر می‌کند و در دمای معینی (T_s = دمای جوش) درجه حرارت ثابت مانده ولی تغییرات حجم شدید می‌شود تا اینکه تمام مایع داخل ظرف تبدیل به بخار تبدیل گردد. سپس در اثر ادامه حرارت، دما و حجم هر دو تغییر خواهند کرد. در این آزمایش نحوه تغییرات فشار نسبت به دما در حجم ثابت و تغییر فاز از مایع به بخار بررسی می‌شود.

این آزمایش به منظور تعیین رابطه بین فشار و دمای بخار اشباع در تعادل با آب و به دست آوردن منحنی فشار اشباع انجام میشود.

آزمایش دیگ مارست یک آزمایش بسیار ساده است که میتوان تا فشار ۱۰ بار (حداکثر) آن را اندازه‌گیری کرد.



۱- شیر اطمینان
۲- دیگ بخار یا پوشش عایق
۳- گیج فشار سنج
۴- جعبه سوییچ و نمایشگر دما
۵- شیر تغذیه
۶- هیتر
۷- شیر کنترل ارتفاع
۸- سنسور دما

شکل۱) اجزا دیگ مارست

شرح دستگاه

دیگ مارست مخزنی استوانه‌ای است به حجم حدود ۲/۵ لیتر و با ضخامت بالا تا بتواند در فشارهای بالا مقاومت کند. بدنه دیگ با ورق آهن نازک پوشیده شده است. در نتیجه، فاصله هوائی ایجاد شده یک نوع عایق می‌باشد. داخل دیگ آب ریخته می‌شود. میزان پر شدن دیگ از آب، به وسیله شیر کنترل ارتفاع آب تنظیم می‌شود. آب درون دیگ توسط هیتر الکتریکی تعبیه شده در داخل دیگ گرم می‌شود. گرما توسط یک هیتر با توان *2kW* تامین می‌گردد. به این ترتیب آب داخل دیگ گرم می‌شود تا به نقطه جوش برسد. پس از تبخیر مقداری از آب، دما و فشار داخل دیگ در حجم ثابت افزایش می‌یابد. دما و فشار داخل دیگ، به ترتیب به وسیله نمایشگر دیجیتال دما و گیج فشار نمایش داده می‌شوند.

روش کار با دستگاه

۱- به وسیله ظرف مدرج از قسمت ورودی، آب مقطر به درون دیگ ریخته می‌شود (در این مرحله، باید شیر تغذیه و شیر کنترل ارتفاع آب در حالت باز باشند).

۲- مقدار آب دیگ به وسیله شیر کنترل ارتفاع آب، تنظیم می‌شود. به این صورت که با رسیدن سطح آب به محل قرارگیری شیر کنترل ارتفاع آب، آب اضافی تخلیه می‌شود.

۳- پس از اتصال به جریان برق شهر، دستگاه به وسیله کلید *on/off* روشن می‌شود.

۴- هیتر به وسیله کلید مربوطه روشن می‌شود. در این حالت چراغ قرمز رنگ کنار کلید، روشن خواهد شد.

۵- شیر ورود آب را بسته و شیر سرریز را باز بگذارید تا در اثر بخار ایجاد شده هوای داخل دیگ خارج شود و داخل دیگ فقط بخار داشته باشیم.

۶- بعد از خروج بخار از شیر سرریز این شیر را نیز ببندید و آزمایش را شروع کنید.

۷- دمای داخل دیگ به وسیله سنسور دما اندازه گیری شده و به وسیله نمایشگر دیجیتال دما، بر حسب درجه سانتیگراد نمایش داده می‌شود.

۸- در صورت رسیدن دما به حدود ۱۷۵ درجه سانتی گراد برق هیتر قطع خواهد شد تا از بالا رفتن بیش از حد فشار جلوگیری کند.

۹- یک عدد گیج فشار روی دستگاه نصب شده است که فشار داخل دیگ را بر حسب *bar* نمایش می‌دهد.

۱۰- در قسمت بالای دیگ، شیر اطمینان (شیر اطمینان فشار یا PSV یکی از تجهیزات ایمنی در صنعت تاسیسات است. که مانع از قرار گرفتن لوله ها، شیرآلات، مخازن تحت فشار و... در شرایط فشاری بیش از فشار طراحی می شود. بنابراین انتخاب PSV بسیار مهم بوده و باید با احتیاط کامل صورت پذیرد.) با حداکثر تحمل فشار *20 bar* نصب شده که بر روی فشار *10 bar* تنظیم شده است و در صورتی که فشار به این مقدار برسد، شیر اطمینان باز می‌شود.

نکات ایمنی

- قبل از شروع آزمایش اطمینان داشته باشید که داخل مخزن به اندازه کافی آب موجود است تا از سوختن هیتر در اثر فقدان آب جلوگیری شود.
- قبل از رسیدن فشار داخلی دیگ به فشار محیط، از باز کردن شیر کنترل ارتفاع آب خودداری نمایید.
- از دست زدن به لوله‌های استیل که از مخزن به گیج رفته جلوگیری کنید.
- دستگاه طوری تنظیم شده است که پس از رسیدن دما به *175 °C* هیتر خاموش می‌شود.
- در صورتی که در دمای *175 °C* به دلایلی هیتر خاموش نشد، به صورت دستی به وسیله کلید هیتر، آن را خاموش نمایید. در غیر این صورت در فشار *10 bar*، شیر اطمینان باز می‌شود.
- بعد از پایان آزمایش و رسیدن فشار به فشار محیط شیر سرریز را برای جبران خلاء ایجاد شده در اثر تخلیه هوا باز کنید تا به گیج آسیبی نرسد.
- قبل از رسیدن فشار داخلی دیگ به فشار محیط، از باز کردن شیر کنترل ارتفاع آب خودداری نمایید.
- در فشار *10bar* شیر اطمینان باز می‌شود. بنابراین در صورت عمل نکردن رله و افزایش فشار تا بالای *9bar*، هیتر را خاموش نمایید.

ترمودینامیک آزمایش

در این آزمایش از معادله قانون گاز ایده‌آل استفاده شد. مفهوم گاز ایده‌آل به عنوان شاخصی که به ما کمک می‌کند تا رفتار گازهای واقعی را الگوسازی و پیش بینی کنیم، زیرا توصیف دقیق گاز واقعی دشوار است. فشار P، حجم V و درجه حرارت T از گاز ایده‌آل با یک فرمول ساده به نام قانون ایده‌آل گاز مرتبط است. مولکول‌های موجود در آب با افزایش دما مولکول‌ها از سطح آب خارج میشوند تا زمانی که انرژی در آب افزایش می‌یابد تا در تعادل (نقطه جوش) قرار گیرند. وضعیت تعادل بستگی به فشار سطح آب دارد، در صورت کم بودن فشار، مولکول‌ها راحت تر از آب خارج می‌شوند.

معادله قانون گاز ایده‌آل می‌تواند به شرح زیر بیان شود:

$$\boldsymbol{PV = nRT}$$

P is the pressure in **Pa or** $\boldsymbol{^N/_{m^2}}$

V is the volume in $\mathbf{m^3}$

n is the number of mole in **mol**

R = 8.31441 $\boldsymbol{^J/_{K.mol}}$ ،-R is the gas constant

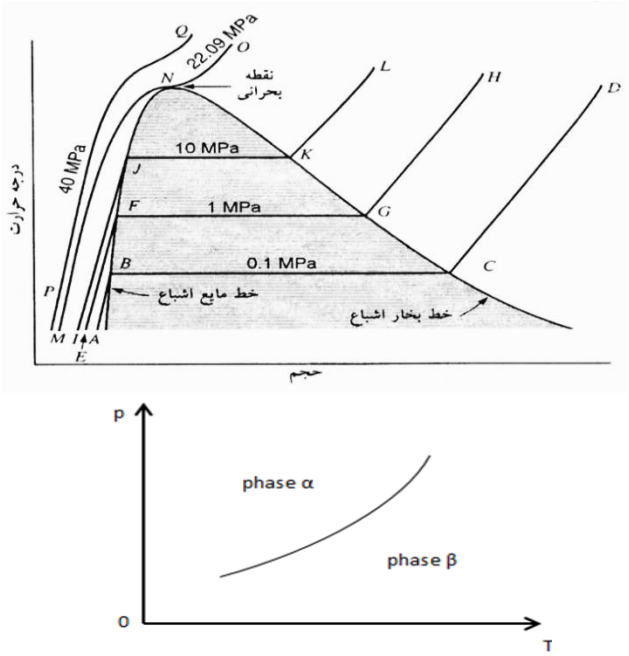
T is the temperature in **K**

در صورت ثابت بودن حجم گاز، معادله *Clausius-Clapeyron* شکل می‌گیرد:

$$\left(\frac{dp}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_g - h_f}{T(v_g - v_f)}$$

$\mathbf{h_g}$ is the enthalpy of saturated vapor
$\mathbf{h_f}$ is the enthalpy saturated liquid
$\mathbf{h_{fg}}$ is the enthalpy of vaporization
$\mathbf{v_g}$ is the specific volume of saturated vapor
$\mathbf{v_f}$ is the specific volume of saturated liquid

در طی انتقال فاز ماده خالص، فرایند فشارثابت است و دمای آن ثابت است. این حالت نشان می‌دهد که تحت تعادل تغییر فاز (دو فاز همزیستی)، فشار و دما خواص وابسته هستند:



شکل ۲) نمودار P-T و نمودار T-V

$$h_f + h_{fg} = h_g$$

اگر vg ≥ vf، معادله *Clausius-Clapeyron* را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\left(\frac{dp}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{Tv_g}$$

روش انجام آزمایش

شیر محل تغذیه آب دیگ را باز نموده، دیگ را پر از آب کنید تا ارتفاع آب به شیر کنترل ارتفاع رسیده وسرریز شود (شیر کنترل ارتفاع آب باید باز باشد). در حالیکه مخزن حاوی مقدار معینی (۲/۵ لیتر) آب است، پس از قرار دادن کلید اصلی دستگاه در حالت *on*، هیتر را روشن نمایید تا اینکه در اثر حرارت آب داخل دیگ به جوش آید. در این لحظه شیر کنترل ارتفاع آب را زمانی میبندیم تا بخار از آن خارج شود و سپس شیر کنترل ارتفاع را بسته و دمای بخار در فشار *0.5 bar* را یادداشت نمایید.

تغییرات دما را بر حسب هر *0.5bar* افزایش فشار در جدول (۱)، یادداشت کنید. پس از رسیدن فشار به *8bar* هیتر را خاموش نمایید. در غیر این صورت طبق تنظیمات دستگاه، پس از رسیدن دمای آب به *175 ˚C* هیتر خاموش می‌گردد. با خاموش شدن هیتر، فشار و دما کاهش می‌یابد. تغییرات دما را بر حسب هر *0.5bar* کاهش فشار یادداشت کنید.

منحنی تغییرات فشار نسبت به دما را در هر دو مرحله رفت و برگشت ترسیم نمایید.

جدول ۱) جدول بندی داده‌های آزمایش

فشار (bar)	دما				h_{fg} (kJ/kg)	v_g (m^3/kg)	شیب اندازه‌گیری شده	شیب محاسبه شده
	افزایش (°C)	کاهش (°C)	میانگین (°C)	میانگین (K)			dP/dT (kPa/K)	H_{fg}/Tv_g (kPa/K)
1.0	100.0	101.3	100.7	373.9	2257.50	1.69	0.00	3.57
1.5	110.7	113.1	111.9	385.1	2226.00	1.16	4.76	4.98
2.0	120.2	121.7	121.0	394.1	2201.60	0.89	5.56	6.28
2.5	127.1	129.0	128.1	401.2	2181.20	0.72	7.14	7.55
3.0	133.4	135.1	134.3	407.5	2163.50	0.61	8.33	8.70
3.5	138.8	140.3	139.6	412.8	2147.70	0.52	9.43	10.01
4.0	143.7	145.0	144.4	417.6	2133.40	0.46	10.42	11.11
4.5	148.0	149.3	148.7	421.9	2120.30	0.41	11.63	12.26
5.0	151.9	153.1	152.5	425.7	2108.00	0.37	13.16	13.38

محاسبه و معادلات

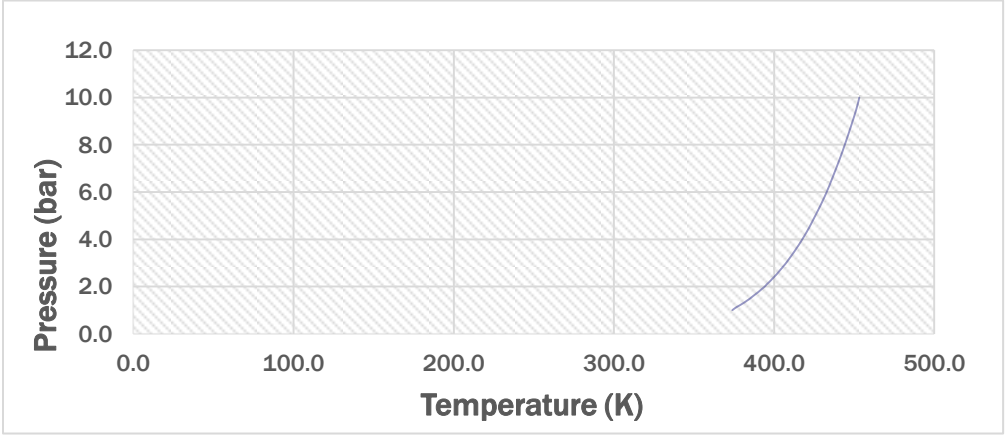
برای پیدا کردن ($^{dP}/_{dT}$) یا شیب اندازه‌گیری شده، از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$Measured\ slope = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1}$$

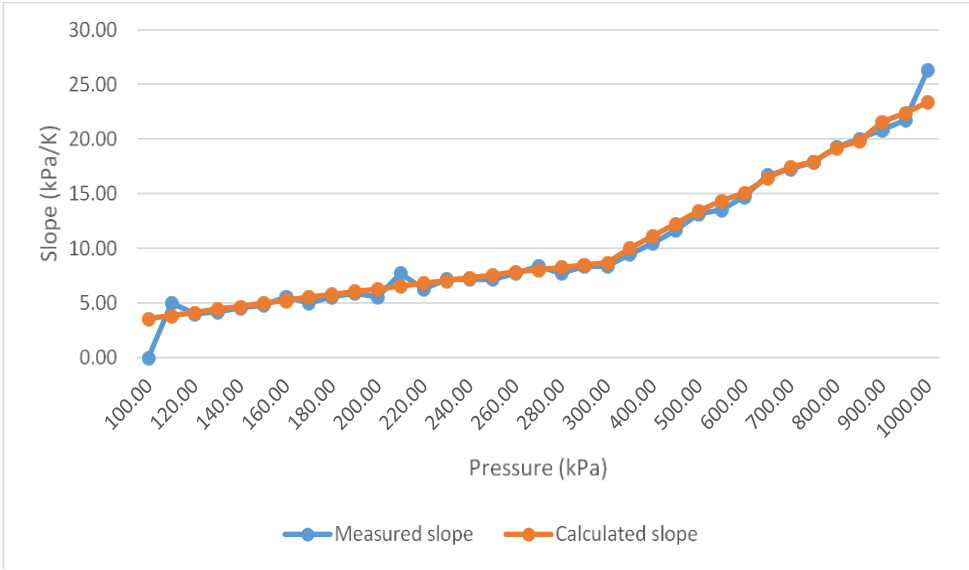
برای یافتن h_{fg} و v_g از جدول بخار اشباع کتاب ترمودینامیک ون وایلن استفاده شده است.

برای یافتن شیب محاسبه شده، از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$Calculated\ slope = \frac{h_{fg}}{T\,(v_g)}$$



نمودار۱) فشار در مقابل دما



نمودار۲) نمودار شیب محاسبه شده و شیب اندازه‌گیری شده در مقابل فشار

نتیجه‌گیری

برای نمودار (۱) فشار مستقیماً با دما متناسب است. منطقی است که بخار اشباع را به عنوان یک گاز ایده‌آل در نظر بگیرید. و اگر بخار اشباع شده نمی‌تواند به عنوان گاز ایده‌آل مورد استفاده قرار گیرد، بخار اشباع با رسیدن دمای جوش به دست می‌آید و سپس آب شروع به تبخیر می‌کند در حالی که گاز ایده‌آل گازی است که در آن مولکول‌ها هیچ تعاملی ندارند و فضای ناچیز را اشغال می‌کنند. نمودار ۱ از معادله $PV = nRT$ پیروی می‌کند.

هنگامی که مایع با گرم شدن بخار می‌شود، انرژی مولکولی داخلی افزایش می‌یابد و اتم‌ها هیجان زده تر می‌شوند، مولکول‌های هیجان‌زده به یکدیگر ضربه خواهند زد و سرعت آنها افزایش می‌یابد. اگر بخار داخل مخزن‌گیر بیافتد، فشار داخلی افزایش می‌یابد. این ممکن است باعث انفجار و آسیب دیدگی شود.

هنگام ترسیم نمودار (۲)، فقط تفاوت‌های کمی وجود داشت. این احتمالاً به دلیل برخی از اشتباهات هنگام گرفتن خواندن یا هنگام انجام h_{fg} یا v_g است. انجام این آزمایش در سیستم بسته حائز اهمیت است به طوری که هیچ نمونه آزمایشی از سیستم فرار نخواهد کرد. بعلاوه، حذف گاز در ابتدای آزمایش برای جلوگیری از نقص مطالعه به دلیل اختلاف فشار در اولویت است. از این رو، دامنه‌ها متناسب با فشار هستند.