فهرست گزارش کار دستگاه دیگ مارست

فصل اول : دستورالعمل دستگاه ۱
هدف ۱
مقدمه ۱
شرح دستگاه ۲
فصل دوم : دستور آزمایش ۴
تئوری ۴
روش انجام آزمایش ۶
خواسته ها ۷

فصل اول : دستورالعمل دستگاه

هدف

بررسی تبدیل حالت مایع به بخار (تغییر فاز)
کاربرد معادله کلاپیرون

شکل ۱ : دستگاه دیگ مارست

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 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 می شود.

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 می شود. میزان پر شدن دیگ از آب، به وسیله شیر کنترل ارتفاع آب تنظیم می شود. آب درون دیگ توسط هیتر الکتریکی تعبیه شده در داخل دیگ گرم می شود. گرما توسط یک هیتر با توان $2kW$ تامین می گردد. به این ترتیب آب داخل دیگ گرم می شود تا به نقطه جوش برسد. پس از تبخیر مقداری از آب, دما و فشار داخل دیگ در حجم ثابت افزایش می یابد. دما و فشار داخل دیگ, به ترتیب به وسیله نمایشگر دیجیتال دما و گیج فشار نمایش داده می شوند.

روش کار با دستگاه

۱. به وسیله ظرف مدرج از قسمت ورودی، آب مقطر به درون دیگ ریخته می شود (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 می شود. به این صورت که با رسیدن سطح آب به محل قرارگیری شیر کنترل ارتفاع آب، آب اضافی تخلیه می شود.

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

۴. هیتر به وسیله کلید مربوطه روشن می شود. 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 می شود.

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 می دهد.

۱۰. در قسمت بالای دیگ، شیر اطمینان 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 می شود.

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 لوله های استیل که از مخزن به گیج رفته جلوگیری کنید.
- دستگاه طوری تنظیم شده است که پس از رسیدن دما به *175 °C* هیتر خاموش می شود.
- 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 می شود.
- 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.

فصل دوم : دستور آزمایش

تئوری

ترمودینامیک درواقع رابطه ی کاروگرما را بین سیستم ومحیطی که کار در آن انجام می شود , بررسی می کند. ترمودینامیک به تغییر رفتار وخواص مایع در اثر تغییر فشار و دما خواهد پرداخت.

وقتی به آب در فشار ثابت حرارت داده می شود, درجه حرارت آن افزایش خواهد یافت. حجم مخصوص به آرامی زیاد می شود . در فشار اتمسفر *(0.1 MPa)* وقتی درجه حرارت به $99.6^{o}C$ می رسد انتقال حرارت بیشتر, سبب تغییر فاز خواهد شد. یعنی قسمتی از آب تبدیل به بخار می شود و در طی این فرآیند درجه ی حرارت و فشار ثابت می ماند اما حجم مخصوص به مقدار زیادی افزایش خواهد یافت. وقتی که آخرین قطره ی مایع تبخیر شود انتقال حرارت بیشتر, باعث افزایش درجه حرارت و حجم مخصوص بخار خواهد شد.

یک گاز ایده آل از معادله حالت گازها که رابطه بین دما و فشار و حجم را بیان می کند, پیروی می کند. این رابطه بصورت زیر است :

$$PV = mRT$$

m: جرم گاز

R : ثابت جهانی گازها

T : دما برحسب درجه کلوین

P : فشار

V : حجم

هرگونه تغییر کوچکی در گازهای ایده آل, طبق معادله حالت گازها سبب بروز تغییر در رفتار آن گاز خواهد شد.

زمانی که انرژی از طریق گرما به آب اضافه می شود، جنب وجوش مولکول های آب بیشتر شده وسبب افزایش فرار مولکول های آب از سطح آب می شود. در واقع فشار پایین تربخار هوا سبب می شود مولکول های مایع از سطح آن جدا شوند.

این روند فرار مولکول ها تاجایی ادامه خواهد داشت که فشار بین بخار و سطح آب برابر شود.

به دمایی که در آن دما، فشار بین بخار و مایع برابر باشد, دمای اشباع می گوییم و هم چنین به این فشار، فشاراشباع گفته می شود.

اصطلاح درجه حرارت اشباع بیانگر درجه حرارتی است که در آن تبخیر تحت فشاری معین صورت می گیرد و این فشار را فشار اشباع برای آن درجه حرارت می نامند. پس برای آب در $99.6^{o}C$, فشار اشباع $0.1MPa$ است و در فشار $0.1MPa$ درجه حرارت اشباع معادل $99.6^{o}C$ می باشد. برای

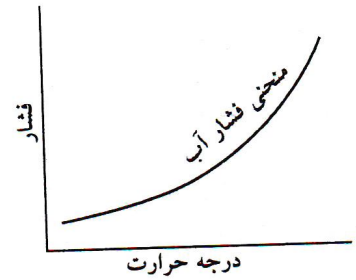
یک ماده ی خالص رابطه ی معینی میان فشار اشباع و درجه حرارت اشباع وجود دارد که نمونه ای از آن در شکل *(1-a)* مشاهده می شود. این منحنی را منحنی بخار می نامند.

دیاگرام های *P-T, T-V , P-V, T-S* را در شکل (۱) مشاهده می نمایید.

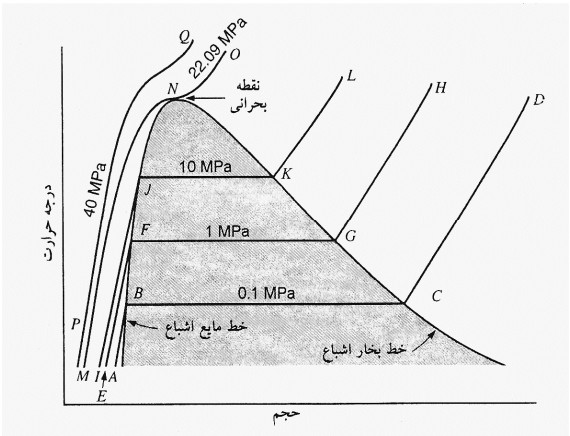
اگر ماده ای به صورت مایع در درجه حرارت و فشار اشباع باشد آن را مایع اشباع می نامیم. اگر درجه حرارت مایع کمتر از درجه حرارت اشباع برای یک فشار معین باشد آن را مایع متراکم می نامیم.

وقتی در درجه حرارت اشباع, قسمتی از ماده ای به صورت بخار و قسمتی به شکل مایع باشد, کیفیت را به صورت نسبت جرم بخار به جرم کل تعریف می کنیم و با x نشان می دهیم. کیفیت تنها زمانی معنی دارد که ماده در حالت اشباع یا به عبارت دیگر در درجه حرارت و فشار اشباع باشد.

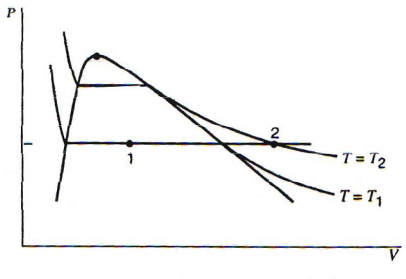
مشخصات مختلف مایع و بخار در جداول موجود است (جداول *B.I* در کتاب ترمودینامیک تألیف ون وایلن). فقط برای محاسبه مشخصات ناحیه دو فازی باید از رابطه $x = \frac{v_x - v_f}{v_{fg}} = \frac{h_x - h_f}{h_{fg}} = \frac{S_x - S_f}{S_{fg}}$ استفاده نمود.



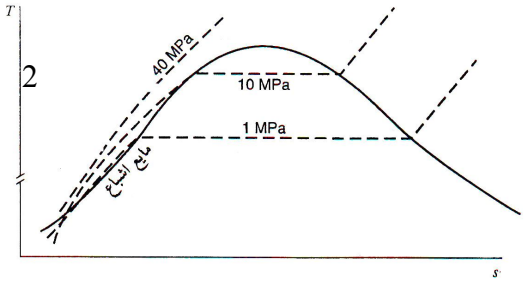
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۱ : (a) : نمودار P-T , (b) : نمودار T-V , (c) : نمودار P-V , (d) : نمودار T-S آب

اگر ماده ای در درجه حرارت اشباع به صورت بخار باشد آن را بخار اشباع می نامیم (گاهی از بخار اشباع خشک نیز جهت تأکید بر کیفیت صد در صد استفاده می شود). وقتی که بخار در درجه حرارتی بالاتر از درجه حرارت اشباع است گوییم بخار به صورت مافوق گرم وجود دارد. فشار و درجه حرارت بخار مافوق گرم خواص مستقل هستند زیرا درجه حرارت را می توان افزایش داد در حالی که فشار ثابت باقی می ماند. موادی که آنها را گاز می نامیم در حقیقت بخارات بسیار مافوق گرم هستند.

بطور کلی منظور از این آزمایش بدست آوردن مقادیر عملی و مقایسه آن با مقادیری است که در جداول کتب ترمودینامیک موجود است این مقادیر عبارتند از $P_s = f(T_s)$، گرمای نهان تبخیر (h_{fg}) و تغییرات آنتروپی (S_{fg}).
منحنی تغییرات دما بر حسب فشار یعنی ($\frac{dT}{dP}$) که از نتایج آزمایش بدست آمده است را رسم می کنیم وآن را با مقادیر تئوری مقایسه خواهیم کرد.
رابطه به کار رفته در این آزمایش رابطه کلازیوس است.

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_{SAT} = \frac{TV_{fg}}{h_{fg}}$$

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_{SAT} = \frac{T(V_g - V_f)}{h_g - h_f} \qquad h_{fg} = h_g - h_f$$

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_{SAT} = \frac{T(V_g - V_f)}{h_{fg}} \qquad V_g \gg V_f \rightarrow = \frac{TV_g}{h_{fg}}$$

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 بسته و دمای بخار در فشار *1 bar* را یادداشت نمایید. تغییرات دما را بر حسب هر *1bar* 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 می گردد. با خاموش شدن هیتر, فشار و دما کاهش می‌یابد. تغییرات دما را بر حسب هر *1bar* کاهش فشار یادداشت کنید.
منحنی تغییرات فشار نسبت به دما را در هر دو مرحله رفت و برگشت ترسیم نمایید.

جدول(۱)

هیتر در حالت خاموش		هیتر در حالت روشن	
$T(^oC)$	$P(bar)$	$T(^oC)$	$P(bar)$
	۸		۱
	۷		۲
	۶		۳
	۵		۴
	۴		۵
	۳		۶
	۲		۷
	۱		۸

- قبل از رسیدن فشار داخلی دیگ به فشار محیط، از باز کردن شیر کنترل ارتفاع آب خودداری نمایید.
- در فشار $10bar$ شیر اطمینان باز می شود. بنابراین در صورت عمل نکردن رله و افزایش فشار تا بالای $9bar$، هیتر را خاموش نمایید.

خواسته‌ها

۱. میانگین دمای رفت و برگشت را به ازای فشارهای مختلف بدست آورده و در دیاگرام $P_s = f(T_s)$ منحنی تغییرات دمای رفت – دمای برگشت – دمای تئوری (از کتاب ترمودینامیک) را رسم نمائید.

۲. منحنی $\frac{dP}{dT}$ را به‌ازاء فشارهای مختلف برای دمای میانگین و دمای تئوری رسم نمائید.

۳. گرمای نهان تبخیر h_{fg} و تغییرات آنتروپی را در ناحیه دو فازی (بخار مرطوب) به کمک معادلهٔ‌کلاپیرون (فصل ده کتاب ترمودینامیک تألیف ون وایلن) یعنی از رابطه $\frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{h_{fg}}{T(v_g - v_f)} = \frac{S_{fg}}{(v_{fg})}$ بدست آورید. $v_g - v_f = v_{fg}$ را می‌توان به ازای دمای دلخواه از جدول خواص ترمودینامیکی آب (جدول $B\text{-}1$ ون وایلن) بدست آورد.

۴. رسم منحنی h_{fg} و S_{fg} به ازای فشارهای مختلف برای مقادیر بدست آمده از آزمایش و مقادیری که به کمک رابطهٔ کلاپیرون از جدول بدست می‌آید

۵. رسم منحنی $T_s = f(P_s)$ که توسط معادله کلاپیرون بدست‌آمده و مقایسه آن با منحنی تئوری.

۶. معادله ای برای $P_s = f(T_s)$ که با منحنی بدست آمده در آزمایش مطابقت داشته باشد پیشنهاد کنید.
۷. منابع خطا و تأثیر آنها بر روی نتایج آزمایش را بیان کنید.
۸. بحث و نتیجه‌گیری کامل از نمودارهای فوق.
۹. رسم تحول طی شده از ابتدا تا انتهای آزمایش در دیاگرام $P\text{-}V$

سوالات

۱. هنگامیکه فشار دیگ به ماکزیمم خود رسید و آن را خاموش کردید مشاهده می‌شود که برای زمان کوتاهی فشار ثابت یا کم شده ولی دما افزایش می‌یابد علت این پدیده را بیان کنید.
۲. آیا بدنه دیگ عایق است یا خیر؟ چرا ؟
۳. آیا در طول آزمایش پدیده جوش رخ می‌دهد یا خیر؟
۴. در مورد تاثیرات دمای اولیه آب روی نتایج آزمایش بحث کنید.
۵. چگونه می‌توان اطمینان یافت که آب دیگ به‌جوش آمده است؟
۶. نوع تحول در دیگ بررسی نمایید.
۷. تغییرات حجم آب داخل دیگ در مرحله برگشت به چه صورتی است؟
۸. علت بالا واقع شدن منحنی فشار نسبت به دما در مرحله رفت، نسبت به مرحله برگشت چیست؟
۹. آیا هر دو منحنی رفت و برگشت (دما نسبت به فشار) که در آزمایشگاه بدست آورده‌ایم زیر منحنی تئوریک قرار می‌گیرند؟ چرا؟
۱۰. همانطور که ملاحظه گردید فاصله زمانی طی شده در هنگام تغییرات فشار متفاوت است. توضیح دهید چرا؟
۱۱. v_g را چگونه محاسبه می‌کنیم و تا چه حد مرتکب خطا می‌شویم؟ علل آن را شرح دهید.
۱۲. چند نمونه از کاربرد (تئوریک و عملی) رابطه کلاپیرون را بنویسید.
۱۳. پدیده جوش، دمای اشباع و فشار اشباع را تعریف کنید.
۱۴. فشارسنج فشار چه نقطه‌ای را نشان می‌دهد؟
۱۵. آیا به کمک دو مشخصه فشار و دما می‌توان حالت یک ماده خالص را معین نمود؟
۱۶. آیا ماده مورد آزمایش خالص بود؟ (چرا باید ماده مورد آزمایش خالص باشد).
۱۷. دلیل تخلیه هوا را قبل از شروع آزمایش بیان کنید.
۱۸. منحنی‌های بدست آمده از نتایج آزمایش را با منحنی‌های بدست آمده از طریق اطلاعات جدول مقایسه کنید.
۱۹. علت حلقوی بودن لوله ارتباطی فشارسنج به دیگ چیست؟

۲۰. دلیل تخلیه بخار از دیگ قبل از انجام آزمایش چیست؟

مثال حل شده

گرمای نهان تبخیر بخار آب را در دمای $25°C$ به کمک معادله کلاپیرون بدست آورید.

حل :

$$\frac{dP}{dT}=\frac{h_{fg}}{Tv_{fg}}$$

به کمک جدول بخار آب به ازاء $t=25°C$ مقادیر مربوطه:

$$\begin{cases}T_B=20°C\Rightarrow P_B=2.34\ kPa\\ T_B=30°C\Rightarrow P_B=4.24\ kPa\end{cases}\quad ,\quad V_{fg}@25^oC=43.3\,m^3/kg$$

عبارتند از:

$$\frac{DP}{DT}=\frac{4.24-2.34}{30-20}=\frac{1.9}{10}=0.19$$

$$0.19=\frac{h_{fg}}{(25+237)\times 43.3}\quad\Rightarrow\quad h_{fg}=2451.6$$

که در مقایسه با مقدار تئوری از جدول $h_{fg}=2442$ مقدار 0.4 درصد اختلاف دارد.

شیب محاسبه شده Tv_{fg}/h_{fg}	شیب اندازه‌گیری شده dT/dP	فشارنسبی(bar)
		۱
		۲
		۳
		۴
		۵
		۶
		۷
		۸