بویلر مارست

هدف آزمایش :

هدف از این آزمایش ، بررسی تبدیل حالت مایع به بخار (تغییر فاز) و کاربرد معادله کلاپرون است .
اگر مایعی را در فشار ثابت حرارت دهیم ، حجم آن به مقدار ناچیز و دمای آن به شدت تغییر می کند و در دمای معینی (دمای جوش) درجه حرارت ثابت مانده ولی تغییرات حجم شدید می شود تا اینکه تمام مایع داخل ظرف تبدیل به بخار گردد . سپس در اثر ادامه حرارت دما و حجم هر دو تغییر خواهند کرد .

شرح دستگاه آزمایش :

دیگ مارست عبارت است از یک مخزن استوانه ایی شکل که دارای مقاومت زیادی در فشارهای بالا می باشد . و در بالای دیگ یک فشارسنج وجود دارد که فشار داخل دیگ را نشان می دهد . همچنین یک ترمومتر نیز دمای داخل را نشان می دهد . آب داخل دیگ توسط یک هیتر گرم می شود .

روش انجام آزمایش :

ابتدا شیر را باز می کنیم تا آب در فشار ثابت به جوش بیاید . سپس شیر را بسته و به ازای تغییرات هر 1 bar فشار ، دما و زمان مربوطه را در جدول یادداشت می کنیم تا اینکه به فشار 10 bar برسیم . آنگاه هیتر را خاموش کرده که در نتیجه فشار و دما کاهش می یابد و دوباره تغییرات دما و زمان آن را به ازای هر 1 bar کاهش فشار ، یادداشت می کنیم.

دماهای خوانده شده و زمان مربوطه را در جدول زیر یادداشت می کنیم :

	افزایش		کاهش	
فشار (bar)	دما (T)	زمان (sec)	دما (T)	زمان (sec)
1	103			
2	120	3:02	127	33:24
3	133	5:48	139	21:54
4	143	8:31	149	14:28
5	151	11:06	157	9:38
6	158	13:29	164	6:15
7	164	15:27	170	4:13
8	169	17:11	175	2:42
9	174	19:00	180	1:36
10	178	20:35	183	0:41
11	182	22:10	184	

محاسبهٔ Tv_{fg} / h_{fg} :

به ازای دما های فوق در هر مرحله ، مقادیر V_{fg} و h_{fg} را از جداول ترمودینامیک بدست می آوریم :

بطور مثال :

$$\rightarrow t = 136\ ^oC \quad V_{fg} = 0.553943\ m^3/Kg \quad , \quad h_{fg} = 2156.62\ Kj/\ Kg \rightarrow \quad \frac{T \times V_{fg}}{h_{fg}} = 0.105$$

$$t = 146\ ^oC \rightarrow V_{fg} = 0.4345\ m^3/Kg \quad , \quad h_{fg} = 2126.54\ Kj/\ Kg \rightarrow \quad \frac{T \times V_{fg}}{h_{fg}} = 0.0856$$

به همین ترتیب بقیه مقادیر را نیز بدست می آوریم و در جدول نتایج یادداشت می کنیم .

محاسبهٔ dP / dt برای دماهای متوسط :

$$t = 136^oC \quad \rightarrow \quad \frac{dP}{dt} = \frac{1}{0.105} = 9.524$$

$$t = 146^oC \quad \rightarrow \quad \frac{dP}{dt} = 11.68$$

به همین ترتیب بقیه مقادیر را نیز بدست می آوریم و در جدول نتایج یادداشت می کنیم .

محاسبهٔ dP / dt برای دماهای تئوری :

$P = 1\ (bar)$

$t = 99.63\ ^oC \quad : \quad V_{fg} = 1.693\ m^3/Kg \quad , \quad h_{fg} = 2258\ Kj/Kg \quad , \quad T = 372.7\ K$

بنابر این : $dP / dt = 3.5786$

محاسبهٔ h_{fg} و S_{fg} برای آزمایش از معادلهٔ کلاپرون :

حالت اول : $t = 136\ ^oC$

$$V_{fg} = 0.553943 \quad , \quad \begin{cases} t = 135^oC \text{ þþþ} \rightarrow \text{ þP þþ} = 0.313 \text{ þþ} MPa \\ t = 140^oC \text{ þþþ} \rightarrow \quad \text{Pþþ} = 0.3613 \text{ þþ} MPa \end{cases}$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{(0.3613 - 0.313) \times 10^3}{140 - 135} = 9.66 = \frac{h_{fg}}{(136 + 273)(0.553943)} \text{ þþþ} \rightarrow h_{fg} = 2188.6 \text{ þþ} Kj/Kg$$

$$\frac{dP}{dt} = 9.66 = \frac{S_{fg}}{0.553943} \text{ þþþ} \rightarrow S_{fg} = 5.351 \text{ þþ} Kj/Kg.K$$

از جدول بدست آوردیم :

$$\begin{cases} h_{fg} = 2156.62 \text{ þþ} Kj/Kg \\ S_{fg} = 5.27072 \text{ þþ} Kj/KgK \end{cases}$$

برای سایر دماها نیز به ترتیب فوق عمل می کنیم و کلیه نتایج را در جدول زیر یادداشت می کنیم :

جدول نتایج :

فشارنسبی (bar)	فشار مطلق (bar)	دمای بخار (^oC) افزایش	کاهش	متوسط	شیب dP / dt	$T V_{fg} / h_{fg}$	دمای تئوری
1	1.868	103					99.63
2	2.868	120	127	123.5	0.13	0.115	120.23
3	3.868	133	139	136	0.12	0.105	133.55
4	4.868	143	149	146	0.09	0.0856	143.63
5	5.868	151	157	154	0.08	0.0691	151.86
6	6.868	158	164	161	0.07	0.0626	158.85
7	7.868	164	170	167	0.05	0.0557	164.97
8	8.868	169	175	172	0.05	0.0506	170.43
9	9.868	174	180	177	0.04	0.046	175.38
10	10.868	176	183	179.5	0.04	0.0435	179.91
11	11.868	182	184	183	0.03	0.0414	184.09

پاسخ به سوالات :

۱- حلقوی بودن لولهٔ ارتباطی باعث افزایش انتقال حرارت از لوله به محیط می شود و همچنین سرعت بخار در لولهٔ حلقوی به طرف فشارسنج کاهش می یابد و فشارسنج به تدریج فشار صحیح را نشان می دهد .

۲- می خواهیم آزمایش را در حالت مایع اشباع که روی منحنی P - V (و سمت چپ منحنی) است ، آغاز کنیم و در این حالت نباید هیچ بخاری در دیگ باشد .

۳- به علت خطای دماسنج . برای انتقال حرارت از بخار آب درون دیگ به روغن درون بوشن و از روغن به ترمومتر مقداری زمان لازم است و این باعث می شود که ترمومتر با کمی تأخیر نسبت به فشارسنج عمل کند .

۴- بله ، فاصلهٔ هوایی ایجاد شده بین بدنهٔ دیگ و ورقهٔ نازک آهنی به عنوان عایق عمل می کند .

۵- بله ، با آغاز فرایند جوش تبدیل مایع اشباع به بخار صورت می گیرد .

۷- چون شیر دیگ قبل از جوشیدن آب باز است پس دمای اولیهٔ آب برای ما مهم نیست و فقط زمان رسیدن به فرایند جوشش را تغییر می دهد . (اگر فشار درون دیگ را هنگام شروع آزمایش با شیر تغییر می دادیم ، دمای جوشش یا دمای اشباع آب مایع یکسان نبود و ما خواص متفاوتی را در طی آزمایش مشاهده می کردیم) .

۸- در هنگام باز بودن شیر یعنی فشار ثابت ، رسیدن به دمای ثابت (تغییر نکردن دما) به معنی شروع فرایند جوشش است .

۹- با توجه به آنکه در نقطه ایی که مایع اشباع می شود ، شیر را می بندیم و هیچ جرمی از این لحظه که لحظهٔ شروع آزمایش است خارج نمی شود ، فرایند حجم ثابت است .

۱۲- در مرحلهٔ برگشت بخار آب به مایع اشباع دائماً در حال تبدیل است و مقدار مایع اشباع پی در پی افزایش می یابد و در نتیجه حجم آب به تدریج زیادتر می شود .

۱۳- برای آنکه عقربهٔ فشارسنج از نقطهٔ صفر شروع به نوسان کند با توجه به اصطکاک فنر عقربهٔ فشارسنج در لحظهٔ شروع از حرکت عقربه ، امکان دارد که فشار جزئی وارده به فنر عقربه را به حرکت وادار نکند که مقداری خطا برای فشارسنج به حساب می آید .

۱۴- در مرحلهٔ رفت چون مبنای ما فشار است پس از آنکه به فشار حداکثر رسیدیم ، هیتر را خاموش می کنیم و دما را یادداشت می کنیم . در صورتی که دمای واقعی با توجه به تأخیری که در انتقال حرارت از بخار آب به ترمومتر (بعلت حضور روغن مابین آن) وجود دارد بعد از زمان کوتاهی حاصل می شود که بیشتر از دمایی است که یادداشت کردیم و این دمای حداکثر آغاز مرحلهٔ برگشت است که بالاتر از دمای انتهایی مرحلهٔ رفت قرار می گیرد .

۱۵- خیر ، در مرحلهٔ رفت چون دما کمتر از دمای واقعی است (بعلت تأخیر در انتقال حرارت) ، منحنی زیر منحنی تئوریک قرار می گیرد ولی در مرحلهٔ برگشت ما در هر فشار ماکزیمم دمای ممکنه را داریم پسزیر منحنی تئوریک قرار نمی گیرد .

۱۶- در فشارهای پایین مولکولهای مایع با بدست آوردن مقداری انرژی از فاز مایع به فاز بخار فرار می کنند و بین مولکولهای گاز برخورد کمتری صورت می گیرد زیرا تعداد آنها نسبتاً کم است . با افزایش تبدیل مایع به بخار به علت برخورد زیاد بین مولکولها ، تعداد کمتری مولکول تغییر فاز می دهند و زمان بین تغییر فشارهای یکسان در فشارهای بالا کمتر است .

۱۷- یک روش ، از راه بدست آوردن شیب منحنی در نقطهٔ موردنظر که به علت خطاهای ترسیمی دقیق نیست . و روش دوم از معادلهٔ کلاپرون . با توجه به $dP/dt = h_{fg} / TV_{fg}$ با محاسبهٔ هر کدام از طرفین و معکوس کردن آن به خواستهٔ خود می رسیم . که محاسبات مربوط به طرف راست دقیق تر است چون خطاهای آزمایش کمتر در آن دخیل می باشد و نیز محاسبات را در دمای میانگین انجام می دهیم .

۱۹- محاسبهٔ h_{fg} و S_{fg} - محاسبهٔ دمای جوش آب ، فشار تصعید بخار آب و ...

۲۰- وقتی که آب توسط یک گرماده خارجی گرم می شود انرژی جنبشی ذرات آب افزایش می یابد و برخورد بین آنها زیاد می شود که آب به غلیان افتاده و برخی از ذرات آن که انرژی بیشتری بدست آورده اند در سطح مایع به فاز بخار تبدیل می شوند که این فرایند در دمای اشباع اتفاق می افتد .
دمای اشباع و فشار اشباع به هم وابسته اند بطوریکه اگر در یک فشار معین دمای آب را افزایش دهیم ، دمایی که در آن آب شروع به بخار شدن می کند (دمای اشباع) و نیز فشار اشباع ، تا زمانی که تمام آب بخار نشده ثابت خواهند ماند .

۲۱- خیر ، در انتقال حرارت از بخار به ترمومتر مقداری تلفات داریم . دمای روغن نیز با دمای بخار در آن لحظهٔ خاص یکسان نیست .

۲۲- فشار بخار بالای دیگ .
۲۳- بله .
۲۴- بله ، در صورتی که مادهٔ مورد آزمایش خالص نباشد ، بر حسب مقدار ناخالصی آن نقطهٔ جوش پیوسته تغییر می کرد و هیچ مبنای درستی برای محاسبات در دسترس نبود .

۲۵- اگر هوا قبل از آزمایش تخلیه نشود ، با توجه به بسته بودن محیط آزمایش (دیگ مارست) برای بخار شدن آب با مشکل مواجه می شدیم . و این مستلزم فشارهای بسیار بالا می باشد که این امر برای دیگ نیز حادثه آفرین بود .

۲۸- در کل بای کاربردهای صنعتی ما به مایعی احتیاج داریم که دمای اشباع آن نسبتاً پایین باشد ولی دارای گرمای نهان تبخیر زیادی باشد تا انتقال حرارت بیشتری داشته باشد .

ذکر منابع خطا و تأثیر آنها بر روی نتایج آزمایش :

بیشترین خطاهای موجود مربوط به وسایل اندازه گیری می باشد که در این آزمایش شامل فشارسنج و دماسنج است . خطای دماسنج در حین آزمایش تنها چند درجه است که این به علت تأخیر در انتقال حرارت از بخار آب از طریق روغن به مخزن دماسنج می باشد .
به علت اختلاف فشارهای مورد بحث در آزمایش ، هر گونه خطای ناشی از فشارسنج ، تغییر فشار زیادی را در محاسبات نصیب ما می کند .

بحث و نتیجه گیری از نمودارهای مربوطه :

در منحنی dP/dt بر حسب دما ، اختلاف بین مقدار میانگین و تئوری نسبتاً کم است و مناسب می باشد .

در منحنی $T\ (^oC)$ بر حسب P_{gage} (bar) نیز نتایج نسبتاً رضایت بخش است ولی چـون در برگشـت دمـا از دمـای واقعی بالاتر است (به دلایل ذکر شده) ، منحنی دمای میانگین از منحنی دمای تئوری بالاتر واقع مـی شـود ولـی شکل کلی نمودار حفظ شده است .
منحنی های S_{fg} و h_{fg} برحسب P خطای نسبتاً زیادی دارند که این خود به علت آن است که پارامترهایی که ما S_{fg} و h_{fg} را از روی آنها بدست می آوریم و نیز فرمول مربوطه دقیق نمی باشند .

اگر ما شیر را زودتر ببندیم ، دیگر در فشار 1 bar به دمای اشباع نخواهیم رسید و مایع در فشاری بالاتر به دمـای اشباع می رسد و اگر دیرتر از زمان مناسب شیر را ببندیم ، مقداری از جرم مایع بخار و از دیـگ خـارج مـی شـود و گرمای ما به هدر می رود ولی این امر تأثیری بر روی دمای اشباع ندارد .