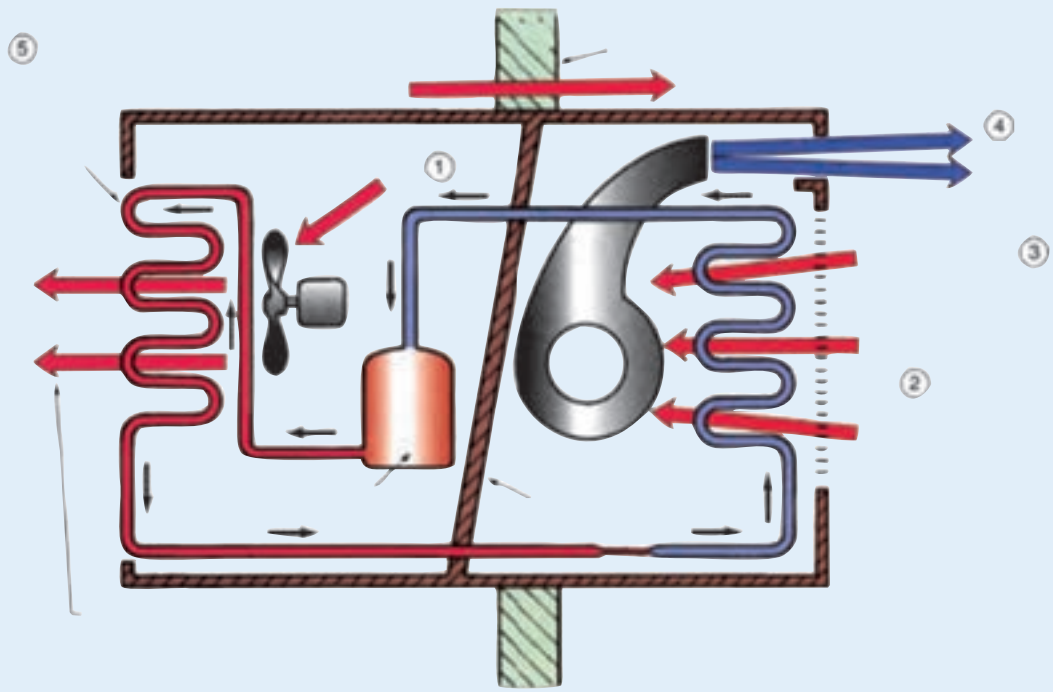
فصل دوم



فصل دوم

سیکل تبرید

پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ تبرید را توضیح دهد.

۲ــ تن تبرید را بیان نماید.

۳ــ فرآیند تبرید را شرح دهد.

۴ــ رابطه فشار و دمای جوش را بیان کند.

۵ــ رابطه فشار و دمای جوش را برای مبردهای مختلف شرح دهد.

۶ــ سیکل تبرید را توضیح دهد.

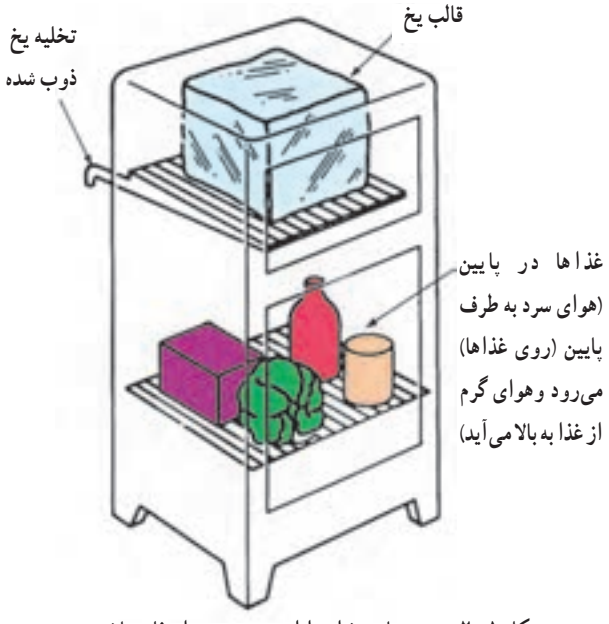
۷ــ تغییرات دما و فشار را در سیکل تبرید توضیح دهد.

۸ــ سیکل تبرید را با نمودار P-H بررسی نماید.

۲ــ سیکل تبرید

نگهداری مواد غذایی یکی از وظایف مهم صنعت تبرید است. سرعت فاسد شدن مواد غذایی با کند شدن حرکت مولکولی کم می‌شود زیرا کند شدن حرکت مولکولی رشد باکتری فاسد کنندهٔ موادغذایی را کم می‌کند. در زیر نقطه انجماد رشد باکتری‌های فاسدکنندهٔ غذا بسیار کم می‌شود.

در گذشته محصولات لبنی و سایر محصولات فاسد شدنی در سردترین اتاق منزل، سرداب (زیرزمین)، چاه یا چشمه نگهداری می‌شد. همچنین از جعبه‌های دارای یخ نیز برای نگهداری مواد غذایی استفاده می‌شد. یخ در هنگام ذوب شدن گرمای موادغذایی را جذب می‌کند و آن‌ها را سرد کرده خنک نگه می‌دارد شکل (۱ــ۲). در اوایل قرن بیستم میلادی تولید یخ توسط دستگاه‌های سردکننده مکانیکی آغاز شد و در جعبه‌هایی برای فروش عرضه شد با این حال همه مردم نمی‌توانستند نسبت به خرید آن اقدام نمایند.



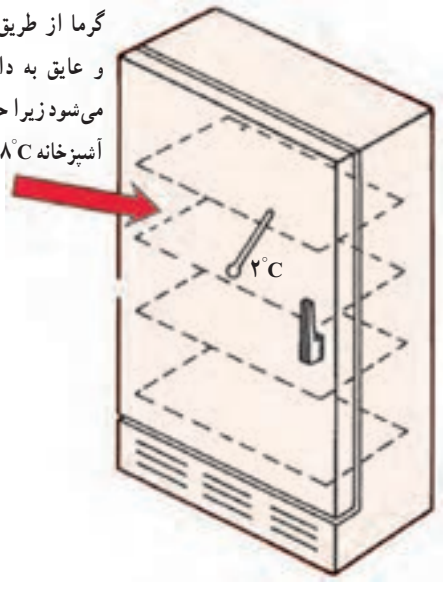
شکل ۱ــ۲ــ جعبه‌های یخ ابتدا از چوب سپس از فلز ساخته شده با چوب‌پنبه عایق‌کاری می‌شد. اگر قسمت سرد شونده با قالب یخ در یک محفظه قرار می‌گرفت یک یخچال ساخته می‌شد.

در همین سال‌ها بعضی کارخانه‌ها و سازندگان، یخچال خانگی را تولید کردند که مورد استقبال قرار گرفت و امروزه کمتر خانه‌ای است که حداقل دارای یک یخچال نباشد. از تبرید و سردسازی امروزه در تأمین آسایش مردم، لوازم سردکننده خانگی و تجاری و همچنین تهویه مطبوع ساختمان‌ها و اتومبیل‌ها استفاده می‌شود.

۱ــ۲ــ تبرید (سردسازی)

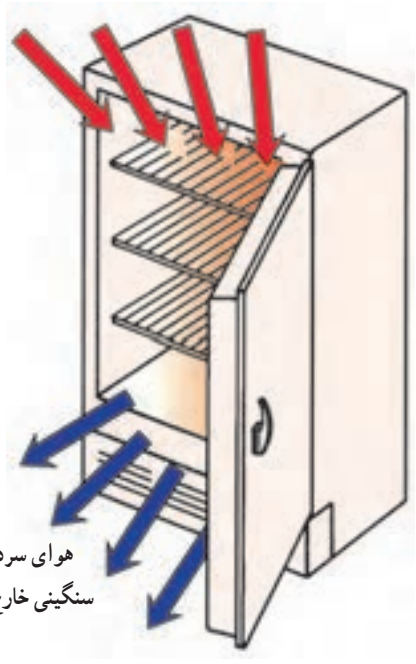
تبرید عبارت است از گرفتن گرما از محلی که می‌خواهیم سرد کنیم و انتقال آن به محیطی بزرگ‌تر که تغییر محسوسی در دمای آن ایجاد نمی‌شود.

دما در یک آشپزخانه معمولی در تابستان $32^{\circ}C$ و در زمستان $18^{\circ}C$ است. دمای داخل یخچال در قسمت غذاهای تازه حدود $2^{\circ}C$ است. گرما به‌طور طبیعی از جای گرم به جای سرد جریان می‌یابد. بنابراین گرمای اتاق حتی از طریق جدارهای عایق شده یخچال به داخل یخچال انتقال می‌یابد. وقتی در یخچال باز می‌شود و غذای گرم در آن قرار می‌گیرد هم گرمای غذا و هم جابه‌جایی هوای گرم اتاق با هوای سرد یخچال باعث می‌شود که به گرماهای داخل یخچال اضافه شود که گرمای اضافه شده باید خارج شوند تا از بالا رفتن دمای داخل یخچال جلوگیری گردد (شکل‌های ۲ــ۲ تا ۴ــ۲).

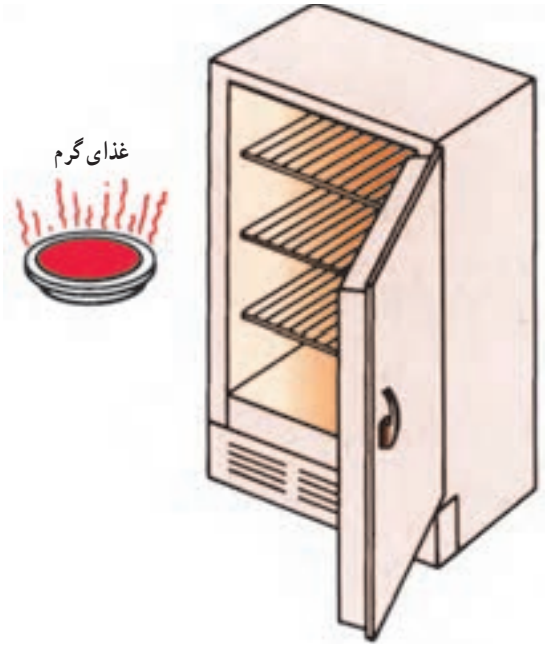


شکل ۳ــ۲ــ گرما از میان دیواره به داخل محفظه یخچال از طریق هدایت انتقال می‌یابد. دیواره‌ها دارای عایق هستند ولی نمی‌توانند به‌طور کامل از نفوذ گرما جلوگیری کنند.

هوای گرم جای هوای سرد را می‌گیرد.



شکل ۲ــ۲ــ هوای سرد داخل یخچال به علت سنگینی بیرون می‌آید و هوای گرم جای آن را می‌گیرد.



شکل ۴ــ۲ــ غذای برداشته شده از اتاق یا اجاق، به یخچال گرما اضافه می‌کند که به منزله نفوذ گرما تلقی می‌شود. این گرمای اضافه شده باید گرفته شود والاّ دمای داخل یخچال بالا خواهد رفت.

۲ــ۲ــ تن تبرید[1]

دستگاه‌های سردکننده باید دارای یک سیستم تعیین ظرفیت باشند تا امکان مقایسه آنها وجود داشته باشد. برای اندازه‌گیری قدرت سرمایی در دستگاه‌های سردکننده کوچک از وات و در دستگاه‌های بزرگ‌تر از کیلووات استفاده می‌شود.

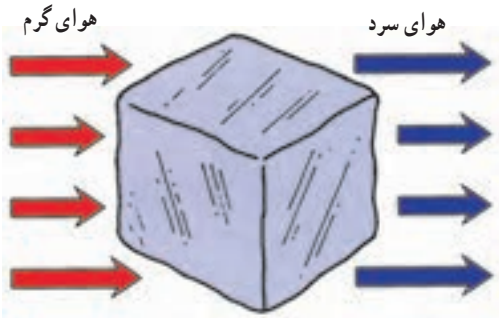
برای ارزیابی قدرت دستگاه‌های سردکننده واحد دیگری وجود دارد و به زمانی برمی‌گردد که از یخ برای سرد کردن استفاده می‌کردند. در این روش قدرت سرمایی دستگاه‌های کوچک را به بی‌تی‌یو در ساعت و قدرت سرمایی دستگاه بزرگ‌تر را به تن سرمایی می‌سنجند. یک تن سرمایی معادل سرمایی است که یک تن یخ در اثر ذوب شدن در ۲۴ ساعت تولید می‌کند و معادل ۱۲۰۰۰ بی‌تی‌یو در ساعت است. (شکل ۵ــ۲)

$$1TR=12000\frac{BTU}{hr}$$

$$1TR=3000\frac{Kcal}{hr}$$

$$1TR=3480W\simeq 3500W$$

$$1TR\simeq 3/5\,KW$$

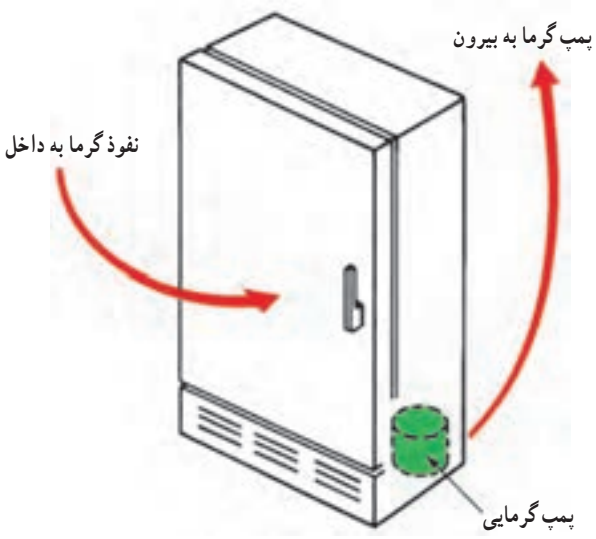


۱ تن یخ (۲۰۰۰ پوند)

شکل ۵ــ۲ــ سرمای ایجاد شده توسط یک تن یخ صفر درجه در ۲۴ ساعت تن سرمایی است.

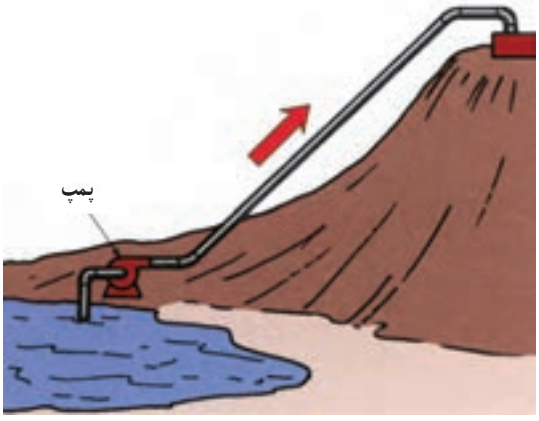
۳ــ۲ــ فرایند تبرید

یخچال باید گرما را از سطح دمایی $-18^{\circ}C$ تا $2^{\circ}C$ محفظه داخل یخچال به سطح دمایی $32^{\circ}C$ تا $18^{\circ}C$ داخل اتاق پمپ نماید. قطعات تشکیل دهنده یخچال با همراهی همدیگر این وظیفه را انجام می‌دهند (شکل ۶ــ۲). نفوذ گرما به داخل یخچال دمای آن را بالا می‌برد ولی فرصت بالا رفتن دمای مواد غذایی داخل یخچال پیش نمی‌آید زیرا بالا رفتن دمای مواد غذایی باعث فساد آن‌ها می‌شود. بنابراین وقتی دمای هوای داخل یخچال تا حد معینی بالا رود سیستم سردکنندهٔ یخچال شروع به‌کار می‌کند و گرما را از یخچال خارج می‌کند.



شکل ۶ــ۲ــ گرمای نفوذی به یخچال باید از آن خارج شود.

فرایند پمپ گرما از یخچال را با فرایند پمپ آب از درّه به بالای تپه می‌توان مقایسه کرد. پمپ از یک موتور الکتریکی به‌عنوان انرژی کار استفاده می‌کند (شکل ۷ــ۲).



شکل ۷ــ۲ــ پمپ گرما از داخل یخچال $2^{\circ}C$ به خارج با دمای $24^{\circ}C$ همانند پمپ آب از پایین تا بالای تپه است.

۱ــ Ton of Refrigeration (تن سرمایی)

تبرید فرآیندی است که طی آن گرما از محیط با دمای پایین‌تر به محیط با دمای بالاتر حرکت می‌کند بنابراین نیاز به انرژی دارد.

۴ــ۲ــ رابطه فشار و دمای جوش

آب خالص در کنار دریا در دمای ۱۰۰°C می‌جوشد. دمای جوش آب در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰°C است. نقطه جوش آب با تغییر فشار روی آن تغییر می‌کند. وقتی می‌گوییم آب در کنار دریا در دمای ۱۰۰°C می‌جوشد به معنای آن است که در کنار دریا فشار یک اَتمسفر یا ۷۶۰ میلی‌متر جیوه روی سطح آن اعمال می‌شود جدول ۸ــ۲ رابطه فشار و دما را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که اگر بخواهیم آب را در ۶°C بجوشانیم باید فشار روی سطح آب را کم کنیم تا ۷/۰۱ mmHg یا ۰/۰۰۹۳۴۷ bar برسد. در چیلرهای جذبی از آب به عنوان مادهٔ سرمازا استفاده می‌کنند یا اگر بخواهیم آب در دمای بالاتر از ۱۰۰°C مثلاً ۲۵۰°C بجوشانیم باید فشاری برابر ۳۹/۷۷۶ bar بر روی آب وارد شود این کاری است که در دیگ‌های بخار انجام می‌شود.

جدول ۸ــ۲ــ رابطه فشار و دمای اشباع برای آب

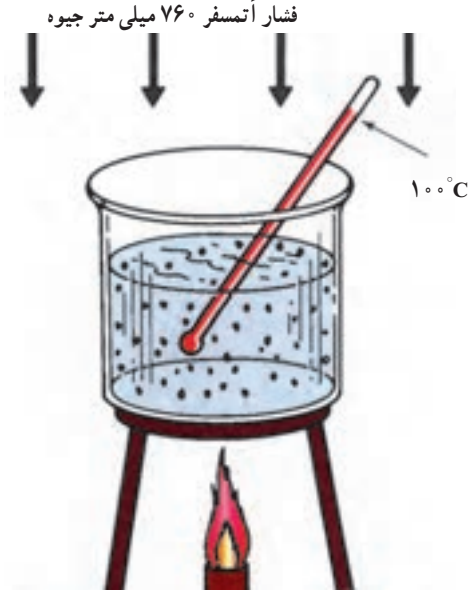
فشار اشباع		درجه °C	فشار اشباع		درجه °C	فشار اشباع		درجه °C
bar (ab)	PSI (ab)		bar (ab)	mmHg (ab)		bar (ab)	mmHg (ab)	
۱/۰۸۷۶	۱۵/۷۷	۱۰۲	۰/۱۰۰۸۸	۷۵/۶۶۶	۴۶	۰/۰۰۴۰۱۳	۳/۰۱۱	−۵
۱/۱۶۶۶	۱۶/۹۱	۱۰۴	۰/۱۱۱۶۳	۸۳/۷۰۶	۴۸	۰/۰۰۴۳۶۹	۳/۲۷۸	−۴
۱/۲۵۰۴	۱۸/۱۳	۱۰۶	۰/۱۲۳۳۵	۹۲/۴۸۲	۵۰	۰/۰۰۴۵۰۵	۳/۳۸۰	−۳
۱/۳۳۹۰	۱۹/۴۱	۱۰۸	۰/۱۳۶۱۲	۱۰۲/۰۸۳	۵۲	۰/۰۰۴۷۵۴	۳/۵۶۷	−۲
۱/۴۳۲۶	۲۰/۷۷	۱۱۰	۰/۱۵۰۰۱	۱۱۲/۵۰۹	۵۴	۰/۰۰۵۶۲۳	۴/۲۱۷	−۱
۱/۵۳۱۶	۲۲/۲۰	۱۱۲	۰/۱۶۵۱۰	۱۲۳/۸۳۵	۵۶	۰/۰۰۶۱۰۸	۴/۵۸	۰
۱/۶۳۶۱	۲۳/۷۲	۱۱۴	۰/۱۸۱۴۶	۱۳۶/۰۶	۵۸	۰/۰۰۷۰۵۴	۵/۲۹	۲
۱/۷۴۶۴	۲۵/۳۲	۱۱۶	۰/۱۹۹۱۷	۱۴۹/۳۳۷	۶۰	۰/۰۰۸۱۲۹	۶/۰۹۷	۴
۱/۸۶۲۸	۲۷/۰۱	۱۱۸	۰/۲۱۸۴	۱۶۳/۸۱۳	۶۲	۰/۰۰۹۳۴۷	۷/۰۱	۶
۱/۹۸۵۴	۲۸/۷۸	۱۲۰	۰/۲۳۹۱	۱۷۳/۹۳۹	۶۴	۰/۰۱۰۷۲۱	۸/۰۴	۸
۲/۳۲۰۸	۳۳/۶۵	۱۲۵	۰/۲۶۱۵	۱۹۶/۱۴۱	۶۶	۰/۰۱۲۲۷۷	۹/۲۱	۱۰
۲/۷۰۱۱	۳۹/۱۶	۱۳۰	۰/۲۸۵۶	۲۱۴/۲۱۷	۶۸	۰/۰۱۴۰۱۶	۱۰/۵۱۲	۱۲
۳/۱۳۰	۴۵/۳۸	۱۳۵	۰/۳۱۱۷	۲۳۳/۷۹۴	۷۰	۰/۰۱۵۹۷۴	۱۱/۹۶۳	۱۴
۳/۶۱۴	۵۲/۴۰	۱۴۰	۰/۳۳۹۶	۲۵۴/۷۲۱	۷۲	۰/۰۱۸۱۷۰	۱۳/۶۲۸	۱۶
۴/۱۵۵	۶۰/۲۴	۱۴۵	۰/۳۶۹۶	۲۷۷/۲۲۲	۷۴	۰/۰۲۰۶۲	۱۵/۴۶۶	۱۸
۶/۱۸۰	۸۹/۶۱	۱۶۰	۰/۴۳۶۵	۳۲۶/۷۲۷	۷۸	۰/۰۲۶۴۳	۱۹/۸۲۴	۲۲

ادامه جدول ۸ــ۲ــ رابطه فشار و دمای اشباع برای آب

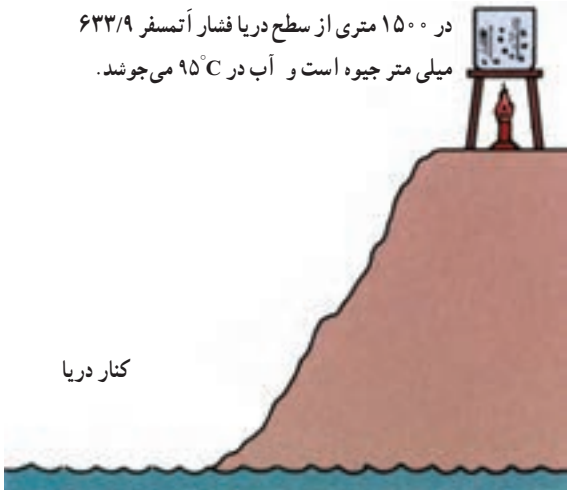
فشار اشباع		درجه C°	فشار اشباع		درجه C°	فشار اشباع		درجه C°
bar (ab)	PSI (ab)		bar (ab)	mmHg (ab)		bar (ab)	mmHg (ab)	
۱۵/۵۵۱	۲۲۵/۴۸	۲۰۰	۰/۴۷۳۶	۳۵۵/۲۲۹	۸۰	۰/۰۲۹۸۲	۲۲/۳۶۶	۲۴
۳۹/۷۷۶	۵۷۶/۷۵	۲۵۰	۰/۵۱۳۳	۳۸۵/۰۰۶	۸۲	۰/۰۳۳۶۰	۲۵/۲۰۲	۲۶
۸۵/۹۲	۱۲۴۵/۸۴	۳۰۰	۰/۵۵۵۸	۴۱۶/۸۸۴	۸۴	۰/۰۳۷۷۹	۲۸/۳۴۴	۲۸
۱۶۵/۳۷	۲۳۹۷/۸۶	۳۵۰	۰/۶۰۱۱	۴۵۰/۸۶۲	۸۶	۰/۰۴۲۴۱	۳۱/۸۱۰	۳۰
			۰/۶۴۹۵	۴۸۷/۱۶۵	۸۸	/۰۴۷۵۳	۳۵/۶۵۰	۳۲
			۰/۷۰۱۱	۵۲۵/۸۶۸	۹۰	۰/۰۵۳۱۸	۳۹/۸۸۸	۳۴
			۰/۷۵۶۰	۵۶۷/۰۴۶	۹۲	۰/۰۵۹۴۰	۴۴/۵۵۳	۳۶
			۰/۸۱۴۵	۶۱۰/۹۲۵	۹۴	۰/۰۶۶۲۴	۴۹/۶۸۴	۳۸
			۰/۸۷۶۷	۶۵۷/۵۷۹	۹۶	۰/۰۷۳۷۵	۵۵/۳۱۷	۴۰
			۰/۹۴۲۹	۷۰۷/۲۳۳	۹۸	۰/۰۸۱۹۸	۶۱/۴۹	۴۲
			۱/۰۱۳۱	۷۶۰	۱۰۰	۰/۰۹۱۰۱	۶۸/۲۶۳	۴۴

شکل ۹ــ۲ ظرف آبی را نشان می‌دهد که در کنار دریا در دمای ۱۰۰°C می‌جوشد اگر این ظرف به قله کوهی برده شود نقطه جوش تغییر می کند (شکل ۱۰ــ۲) . علت آن رقیق تر شدن اَتمسفر (جوّ) و کم شدن فشار است.

این امر باعث می‌شود که پختن غذاهایی نظیر سیب‌زمینی، لوبیا به علت نیاز به زمان بیشتر سخت‌تر شود یا تخم‌مرغ در چنین ارتفاعی درحالت آب‌پز سفت نشود.



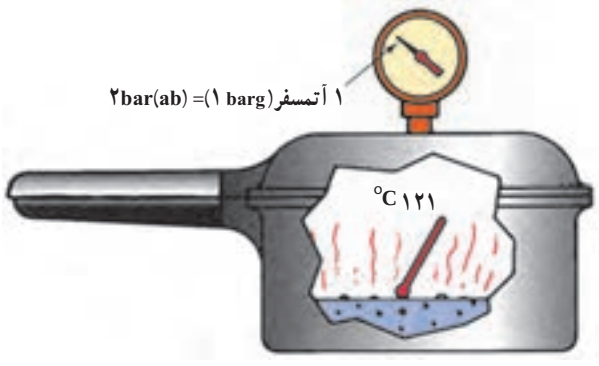
شکل ۹ــ۲ــ آب در کنار دریا در ۱۰۰°C می‌جوشد.



شکل ۱۰ــ۲ــ آب در فشار ۶۳۳/۹ میلی‌متر جیوه در دمای ۹۵°C می‌جوشد.

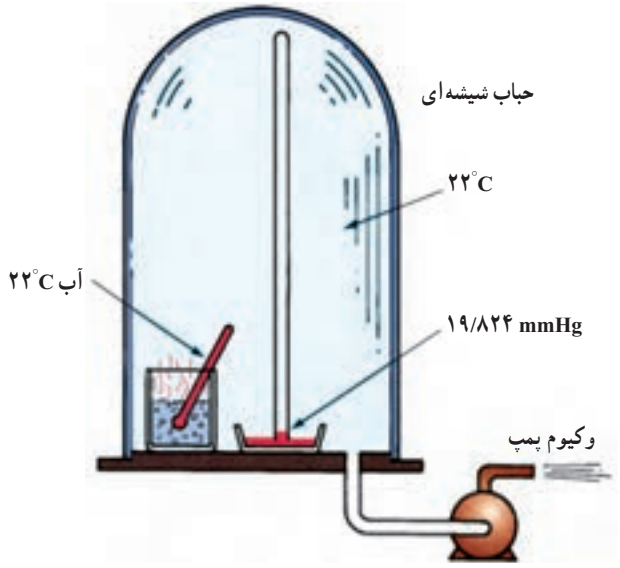
با قرار دادن غذا در یک ظرف بسته‌ای که می‌تواند افزایش فشار پیدا کند نظیر دیگ زودپز فشار را حدود یک اَتمسفر افزایش می‌دهیم تا فشار مطلق ۲ اَتمسفر شود. در این حالت دمای جوش آب به ۱۲۱ افزایش می‌یابد (شکل ۱۱ــ۲).

مطالعه جدول رابطه فشار / دما معلوم می‌نماید که وقتی فشار افزایش پیدا کند، نقطه جوش نیز افزایش می‌نماید و هرگاه فشار کاهش یابد نقطه جوش نیز پایین‌تر می‌آید.



شکل ۱۱ــ۲ــ آب در فشار ۲ آتمسفر در دمای ۱۲۱°C می‌جوشد.

مطابق شکل ۱۲ــ۲ چنانچه یک ظرف آب خالص با دماسنج و یک بارومتر در داخل یک حباب شیشه‌ای قرار گیرد و وکیوم پمپ روشن شود (فرض کنید دمای آب و دمای اتاق ۲۲°C باشد) وقتی فشار حباب شیشه‌ای به ۱۹/۸۲۴ mmHg برسد آب شروع به جوشیدن می‌کند.



شکل ۱۲ــ۲ــ وقتی فشار داخل ظرف شیشه‌ای به ۱۹/۸۲۴ میلی‌متر جیوه برسد آب در دمای اتاق (۲۲°C) می‌جوشد.

بیشتر بدانیم

رابطهٔ دمای جوش با ارتفاع از سطح دریا

تقریباً به ازای هر ۳۰۰ متر افزایش ارتفاع از سطح دریا ۲۵ میلی‌متر جیوه از فشار جو کاسته می‌شود.

مثال : در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا فشار جو چند میلی‌متر جیوه است؟

$$\text{مقدار کاهش فشار} = \frac{۱۵۰۰}{۳۰۰} \times ۲۵ = ۱۲۵ \text{ میلی‌متر جیوه}$$

$$\text{مقدار فشار جو} = ۷۶۰ - ۱۲۵ = ۶۳۵ \text{ میلی‌متر جیوه}$$

تقریباً به ازای هر ۳۰۰ متر افزایش ارتفاع از سطح دریا ۱°C از دمای جوش آب کاسته می‌شود.

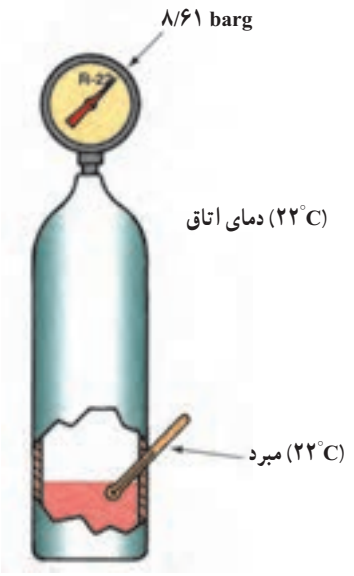
مثال : در ارتفاع ۱۵۰۰ متری آب در چه درجه‌ای می‌جوشد؟

$$\text{مقدار کاهش نقطه جوش} = \frac{۱۵۰۰}{۳۰۰} = ۵°C$$

$$\text{دمای جوش در ارتفاع ۱۵۰۰ متری} = ۱۰۰ - ۵ = ۹۵°C$$

۵ــ۲ــ رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

یک سیلندر حاوی مبرد R ــ ۲۲ در اتاقی با دمای $22^{\circ}C$ قرار می‌دهیم تا دمای آن برابر دمای هوای اتاق شود. قسمتی از سیلندر توسط مایع و قسمتی توسط بخار پر شده است و دارای دمای $22^{\circ}C$ است. فشار معادل آن از جدول ۱۶ــ۲ ۸/۶۱ barg است و فشارسنج روی سیلندر نیز همان فشار ۸/۶۱ barg را نشان می‌دهد. (شکل ۱۳ــ۲)

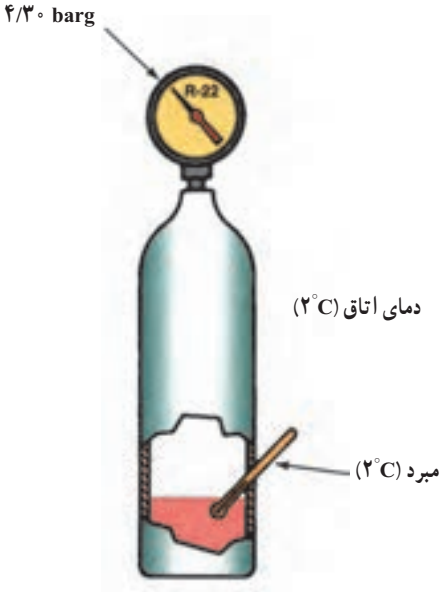


شکل ۱۳ــ۲ــ در دمای $22^{\circ}C$ فشارسنج فشار ۸/۶۱ barg را نشان می‌دهد.

اگر همان سیلندر را به اتاق با دمای $2^{\circ}C$ منتقل کنیم تا پس از گذشت زمان لازم به دمای سردخانه برسد، فشار سیلندر با توجه به جدول ۱۶ــ۲ به ۴/۳۰ barg می‌رسد زیرا وقتی سیلندر سرد می‌شود قسمتی از بخار در آن به مایع تبدیل می‌شود تا فشار داخل سیلندر کاهش یابد (شکل ۱۴ــ۲).

اگر سیلندری که اکنون در دمای $2^{\circ}C$ است به اتاق گرم‌تر با دمای $22^{\circ}C$ برگردانیم تا به دمای اتاق برسد مایع داخل سیلندر در اثر گرم شدن به آرامی می‌جوشد و بخار تولید می‌کند. تولید بخار باعث افزایش فشار می‌شود و فشار سیلندر به ۸/۶۱ barg معادل دمای $22^{\circ}C$ از جدول ۱۶ــ۲ می‌رسد.

حال اگر سیلندر با دمای $22^{\circ}C$ را به اتاقی با دمای $38^{\circ}C$ ببریم به‌آرامی می‌جوشد و بخار بیشتری تولید می‌کند. با تولید بخار فشار نیز افزایش می‌یابد تا به ۱۳/۶ barg مطابق جدول ۱۶ــ۲ برسد (شکل ۱۵ــ۲).



شکل ۱۴ــ۲ــ در دمای $2^{\circ}C$ فشار ۴/۳۰ barg است.

شکل ۱۵ــ۲ــ در دمای $38^{\circ}C$ فشار نسبی ۱۳/۶ barg است.

جدول ۱۶ــ۲ــ رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

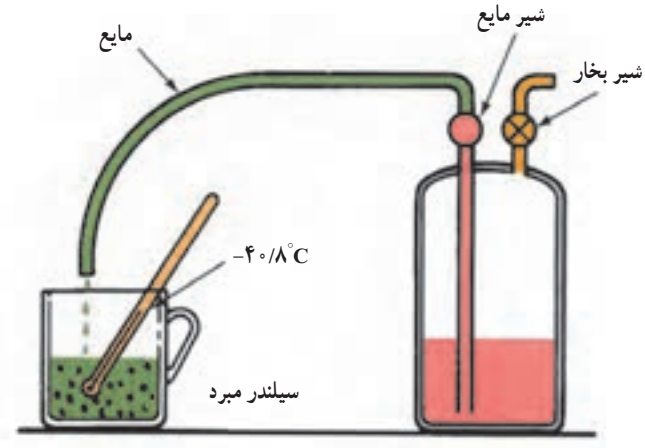
Temperature		REFRIGERANT					
°C	°F	R-۱۲ barg/mmHg	R-۲۲ barg/mmHg	R-۱۳۴a barg/mmHg	R-۴۱۰a barg/mmHg	R-۵۰۲ barg/mmHg	R-۵۰۷ barg/mmHg
-۵۰	-۵۸/۰	۴۶۷*	۲۷۶*	۵۳۶*	۰/۰۳	۱۴۹*	۱۱۴*
-۴۸	-۵۴/۴	۴۳۵*	۲۲۴*	۵۰۹*	۰/۱۴	۸۷*	۴۶*
-۴۶	-۵۰/۸	۴۰۰*	۱۶۸*	۴۷۹*	۰/۲۷	۲۰*	۰/۰۴
-۴۴	-۴۷/۲	۳۶۳*	۱۰۷*	۴۴۷*	۰/۴۰	۰/۰۷	۰/۱۴
-۴۲	-۴۳/۶	۳۲۳*	۴۲*	۴۱۱*	۰/۵۴	۰/۱۷	۰/۲۶
-۴۰	-۴۰/۰	۲۷۹*	۰/۰۴	۳۷۳*	۰/۷۰	۰/۲۸	۰/۳۸
-۳۶	-۳۲/۸	۱۸۲*	۰/۲۵	۲۸۵*	۱/۰۴	۰/۵۳	۰/۶۵
-۳۴	-۲۹/۲	۱۲۸*	۰/۳۷	۲۳۶*	۱/۲۳	۰/۶۷	۰/۸۰
-۳۰	-۲۲/۰	۷/۶*	۰/۶۳	۱۲۴*	۱/۶۶	۰/۹۷	۱/۱۳
-۲۶	-۱۴/۸	۰/۱۷	۰/۹۲	۰/۰۱	۲/۱۴	۱/۳۱	۱/۵۱
-۲۲	-۷/۸	۰/۳۸	۱/۲۶	۰/۲۱	۲/۶۸	۱/۶۹	۱/۹۳
-۱۸	-۰/۴	۰/۶۲	۱/۶۳	۰/۴۴	۳/۲۹	۲/۱۲	۲/۴۰
-۱۴	۶/۸	۰/۸۸	۲/۰۶	۰/۷۰	۳/۹۷	۲/۶۰	۲/۹۳
-۱۰	۱۴/۰	۱/۱۸	۲/۵۴	۰/۹۹	۴/۷۳	۳/۱۳	۳/۵۲
-۶	۲۱/۲	۱/۵۰	۳/۰۶	۱/۳۳	۵/۵۷	۳/۷۲	۴/۱۷
-۲	۲۸/۴	۱/۸۷	۳/۶۵	۱/۷۱	۶/۵۰	۴/۳۷	۴/۸۸
۰	۳۲/۰	۲/۰۷	۳/۹۷	۱/۹۱	۷/۰۰	۴/۷۲	۵/۲۷
۲	۳۵/۶	۲/۲۸	۴/۳۰	۲/۱۳	۷/۵۳	۵/۰۸	۵/۶۷
۶	۴۲/۸	۲/۷۲	۵/۰۱	۲/۶۱	۸/۶۵	۵/۸۶	۶/۵۴
۱۰	۵۰/۰	۳/۲۱	۵/۸۰	۳/۱۳	۹/۸۸	۶/۷۲	۷/۴۹
۱۴	۵۷/۲	۳/۷۵	۶/۶۶	۳/۷۱	۱۱/۲	۷/۶۴	۸/۵۲
۱۸	۶۴/۴	۴/۳۴	۷/۵۹	۴/۳۶	۱۲/۷	۸/۶۵	۹/۶۵
۲۲	۷۱/۶	۴/۹۸	۸/۶۱	۵/۰۶	۱۴/۳	۹/۷۴	۱۰/۹
۲۶	۷۸/۸	۵/۶۷	۹/۷۱	۵/۸۴	۱۶/۰	۱۰/۹	۱۲/۲
۳۴	۹۳/۲	۷/۲۴	۱۲/۲	۷/۶۱	۱۹/۸	۱۳/۵	۱۵/۲
۳۸	۱۰۰/۴	۸/۱۱	۱۳/۶	۸/۶۲	۲۲/۰	۱۵/۰	۱۶/۹

ادامه جدول ۱۶ــ۲ــ رابطه فشار و دما برای مبردهای مختلف

Temperature		REFRIGERANT					
°C	°F	R-۱۲ barg/mmHg	R-۲۲ barg/mmHg	R-۱۳۴a barg/mmHg	R-۴۱۰a barg/mmHg	R-۵۰۲ barg/mmHg	R-۵۰۷ barg/mmHg
۴۲	۱۰۷/۶	۹/۰۵	۱۵/۱	۹/۷۱	۲۴/۳	۱۶/۵	۱۸/۷
۴۶	۱۱۴/۸	۱۰/۱	۱۶/۷	۱۰/۹	۲۶/۸	۱۸/۲	۲۰/۷
۵۰	۱۲۲/۰	۱۱/۲	۱۸/۴	۱۲/۲	۲۹/۵	۲۰/۰	۲۲/۸
۵۴	۱۲۹/۲	۱۲/۳	۲۰/۳	۱۳/۵	۳۲/۳	۲۱/۹	۲۵/۱
۵۸	۱۳۶/۴	۱۳/۶	۲۲/۲	۱۵/۰	۳۵/۴	۲۳/۹	۲۷/۶
۶۲	۱۴۳/۶	۱۴/۹	۲۴/۳	۱۶/۶	۳۸/۷	۲۶/۱	۳۰/۲

* فشار بخار برحسب barg و مقادیر روشن (ایتالیک) برحسب mm.Hg می‌باشد اعداد ایتالیک (بولد شده) مقادیر خلأ است.

مطالعه بیشتر جدول ۱۶ــ۲ نشان می‌دهد که وقتی فشار تا فشار جوّ پایین رود (۰ barg) مبرد R ــ۲۲ در دمای ۴۱°C- می‌جوشد. این حالت موقعی اتفاق می‌افتد که شیر سیلندر R ــ۲۲ به‌آرامی باز شود و بخار فریون ۲۲ امکان رها شدن در جو را پیدا نماید. افت فشار بخار باعث می‌شود که مایع مانده در سیلندر به جوش آید و دمایش کاهش یابد. به‌ازای هر مقدار مایعی که می‌جوشد مقداری گرما جذب سیستم می‌شود و مقداری سرما ایجاد می‌نماید. در این حالت گرما از مایع R ــ۲۲ گرفته می‌شود. وقتی فشار داخل تا فشار جو کاهش یابد سیلندر به دمای ۴۱°C- رسیده و از یخ پوشیده می‌شود.



شکل ۱۷ــ۲ــ R ــ۲۲ در فشار جو در دمای ۴۰/۸°C- می‌جوشد.

در این آزمایش فرض می‌کنیم که شیر به اندازه‌ای بزرگ است که بخار ایجاد شده به جو انتقال می‌یابد. اگر لوله باریکی به شیر مایع روی سیلندر وصل شود و شیر به‌آرامی باز شود مایع مبرد در فنجان جمع شده و در دمای ۴۱°C- می‌جوشد (شکل ۱۷ــ۲).

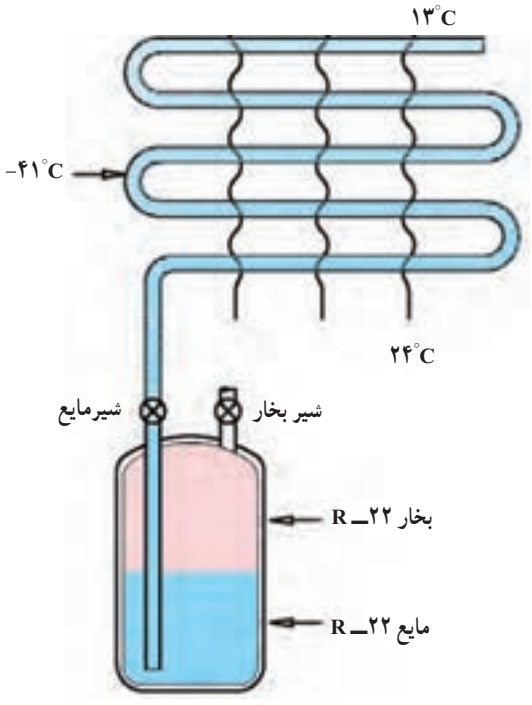
۶ــ۲ــ چرخه تبرید[1]

یک کویل لوله مسی به شیر خروجی مایع سیلندر وصل می‌کنیم و شیر را طوری باز می‌کنیم تا مایع به‌تدریج در داخل لوله مسی وارد شود. دمای جوش مبرد R ــ۲۲ در فشار یک اَتمسفر ۴۱°C- است بنابراین مایع در داخل کویل در دمای ۴۱°C- می‌جوشد و گرمایی را که برای تبخیر لازم است از محیط اطراف می‌گیرد و آن را سرد می‌کند. اگر هوا با دمای ۲۴°C از روی آن عبور نماید دمایش تا ۱۳°C می‌تواند کاهش پیدا کند (شکل ۱۸ــ۲).

کویل لوله مسی را که مایع در داخل آن به حالت جوش درآمده و بخار می‌شود، کویل تبخیرکننده یا «اواپراتور[2]» می‌نامند. برای این‌که تمام مایع خروجی تا انتهای کویل تبدیل به بخار شود باید با تنظیم شیر روی سیلندر مقدار معینی مایع وارد کویل لوله مسی شود. اگر شیر مایع بیش از حد باز باشد در خروجی کویل مایع خواهیم داشت و اگر بیش از حد بسته باشد مقدار مایع ورودی

۱ــ چرخهٔ سردسازی

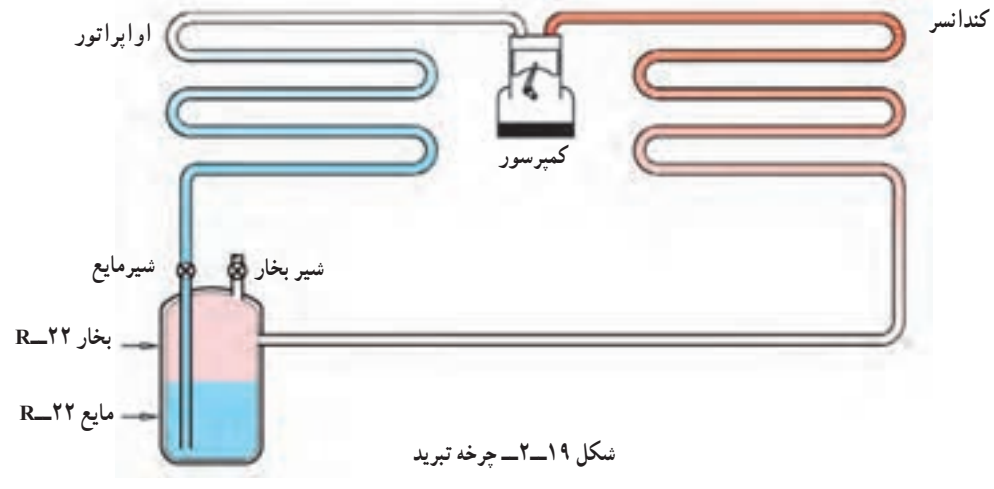
۲ــ Evaporator



شکل ۱۸ــ۲ــ دمای کویل ۴۱°C- است هوای عبوری از آن می‌تواند از ۲۴°C تا ۱۳°C کاهش یابد.

به کویل کم شده و قدرت سرمایی کویل خیلی کاهش می‌یابد. شیر تنظیم[۱] را شیر انبساط[۲] نیز می‌گویند. فریون ۲۲ را که در داخل کویل تبخیر شده و سرما ایجاد می‌کند ماده مبرد[۳] یا ماده سرمازا می‌گویند.

در این سیستم دو اشکال عمده وجود دارد. اوّل این‌که علاوه بر هدر رفتن ماده سرمازای R ــ ۲۲ این نوع مبرد نباید در جو رها شود[۴]. اشکال دوم این است که ماده مبرد مصرف شده و کپسول خالی می‌شود بنابراین کار سیستم پیوسته نخواهد بود. برای جلوگیری از خروج گاز و هدر رفتن آن باید دستگاه‌های مکملی باشند تا گاز خارج شده را دوباره به‌حالت مایع درآورده و مورد استفاده قرار دهند. برای رسیدن به این هدف یک کمپرسور[۵] و یک کندانسر[۶] باید به‌سیستم اضافه کرد. کمپرسور گاز خروجی از اواپراتور را متراکم کرده با فشار و دمای زیاد وارد کندانسر می‌نماید. در کندانسر گاز داغ و متراکم شده توسط آب یا هوا خنک شده به مایع تبدیل می‌شود. مایع خروجی از کندانسر وارد سیلندر می‌شود و مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱۹ــ۲).

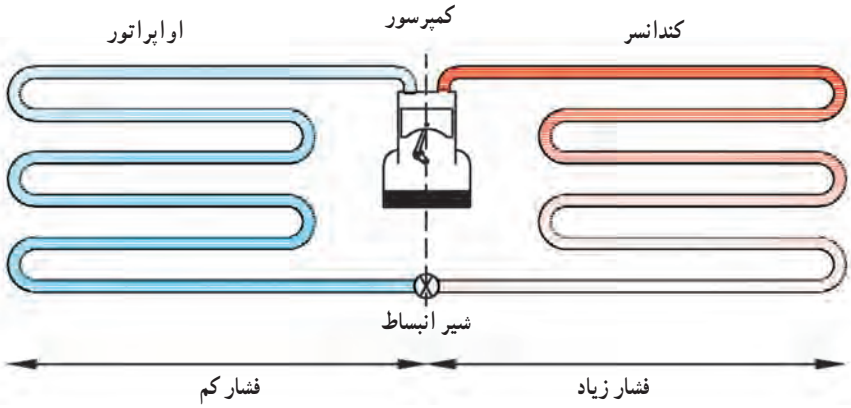


شکل ۱۹ــ۲ــ چرخه تبرید

به سیلندر مثال فوق در سیستم‌های سردکننده مخزن تجمع مایع[۷] یا رسیور می‌گویند در سیستم‌های سردکننده کوچک که مقدار مبرد جریانی کم است، مخزن تجمع مایع حذف می‌شود و سیستم به‌صورت شکل ۲۰ــ۲ درمی‌آید.

در شکل ۲۰ــ۲ اگر خطی از کمپرسور تا شیر انبساط کشیده شود، سیستم تبرید به دو قسمت فشار کم و فشار زیاد تقسیم می‌شود. کمپرسور و کندانسر جزء قسمت فشار زیاد سیستم بوده و خروجی شیر انبساط و اواپراتور جزء قسمت فشار کم می‌باشد.

۱ــ Metering device
۲ــ Expansion Valve
۳ــ Refrigerant
۴ــ رها کردن مبردهای هالوکربنی در جو غیرقانونی است.
۵ــ Compressor
۶ــ Condenser
۷ــ Receiver



شکل ۲۰ــ۲ــ چرخه تبرید ــ قسمت فشار کم ــ قسمت فشار زیاد

۷ــ۲ــ تغییرات فشار و دما در چرخهٔ تبرید

چرخه تبرید شکل ۲۱ــ۲ یک بار دیگر با توجه به وضعیت فشار و دما در قسمت‌های مختلف آن ترسیم می‌کنیم و مطابق شماره‌هایی که بر روی شکل داده شده است به تشریح آن می‌پردازیم.

۱ــ مخلوطی از ۷۵٪ مایع و ۲۵٪ بخار شیر انبساط را ترک کرده وارد اواپراتور می‌شود.

۲ــ مخلوط مایع و بخار فریون ۲۲ دارای فشار نسبی ۴۷۲kpa می‌باشد و دمای جوش متناسب با آن ۵°C است.

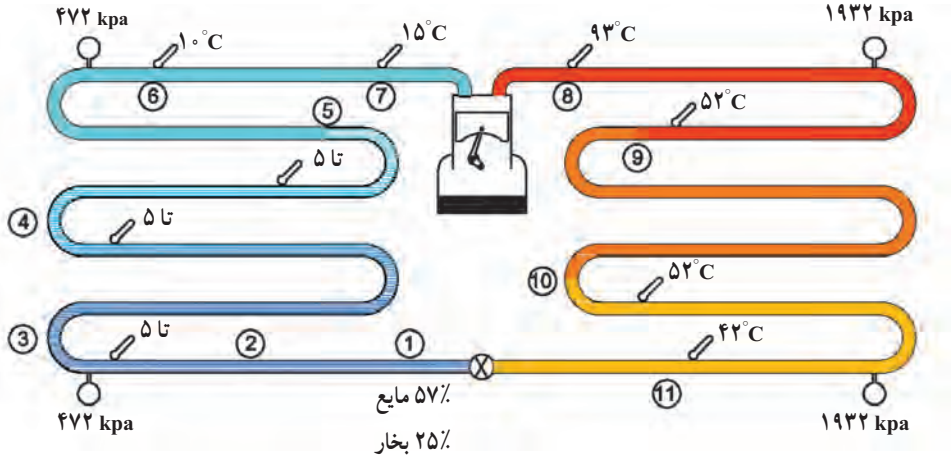
۳ــ مخلوط مایع و بخار درحال حرکت در اواپراتور با گرمایی که از هوای ۲۴°C داخل اتاق می‌گیرد تبخیر می‌شود.

۴ــ وقتی ماده سرمازا به وسط اواپراتور می‌رسد به‌صورت ۵۰٪ مایع و ۵۰٪ بخار درمی‌آید.

۵ــ در نقطه ۵ تمام مایع تبدیل به بخار می‌شود. دمای بخار هنوز ۵°C بوده و می‌تواند از هوای اتاق با دمای ۲۴°C گرما جذب نماید. از این نقطه به بعد جذب گرما باعث افزایش دمای بخار مبرد و سوپرهیت شدن آن می‌شود.

۶ــ در این نقطه بخار خالص با ۵°C سوپرهیت خواهیم داشت و دمای بخار مبرد ۱۰°C خواهد بود.

۷ــ تحت تأثیر مکش کمپرسور بخار به داخل آن کشیده می‌شود. بخاری که اواپراتور را ترک می‌کند دارای دمای ۱۰°C با ۵°C سوپرهیت می‌باشد. فاصله بین خروجی اواپراتور



شکل ۲۱ــ۲ــ نمایش تغییرات دما و فشار در چرخه تبرید

و ورودی کمپرسور را خط مکش[1] می گویند. برای جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای مبرد در ورود به کمپرسور خط مکش را عایق می کنند. با این حال دمای ماده مبرد در ورود به کمپرسور به $15^{\circ}C$ می رسد.

۸ــ گازی که از طریق خط رانش کمپرسور را ترک می کند دارای فشار و دمای بالایی است. خط رانش دارای دمای $93^{\circ}C$ و فشار نسبی ۱۹۳۲kpa می باشد. گرچه خط رانش کوتاه است ولی به علت اختلاف دمای زیاد با محیط گرمای خود را به آسانی به محیط منتقل می نماید. دمای محیط حدود $35^{\circ}C$ فرض شده است.

۹ــ با دفع گرما از ماده سرمازا در خط رانش و کویل ابتدایی کندانسر در نقطه ۹ دما به $52^{\circ}C$ می رسد. پس از این نقطه دما ثابت مانده دفع گرما باعث می شود که مادهٔ سرمازا از حالت بخار به مایع تبدیل شود.

۱۰ــ تحول تبدیل بخار به مایع که از نقطه ۹ شروع می شود در نقطه ۱۰ پایان می یابد و در این نقطه ماده سرمازا به صورت ۱۰۰٪ مایع در دمای $52^{\circ}C$ است.

۱۱ــ با حرکت مایع در طول کویل عمل دفع گرما از کویل به محیط ادامه دارد و دمای مایع به دمای پایین تر از دمای تقطیر (اشباع) $52^{\circ}C$ یعنی به حدود $42^{\circ}C$ می رسد و می گویند مایع حدود $10^{\circ}C$ ساب کولد[2] (مادون سرد) شده است. مایع از طریق خط مایع به شیر انبساط می رسد و ماده سرمازا سیکل یا چرخه خود را کامل کرده است و آماده شروع مجدد آن است.

در چرخه تبرید

۱ــ اواپراتور گرما را به داخل سیستم جذب می کند.

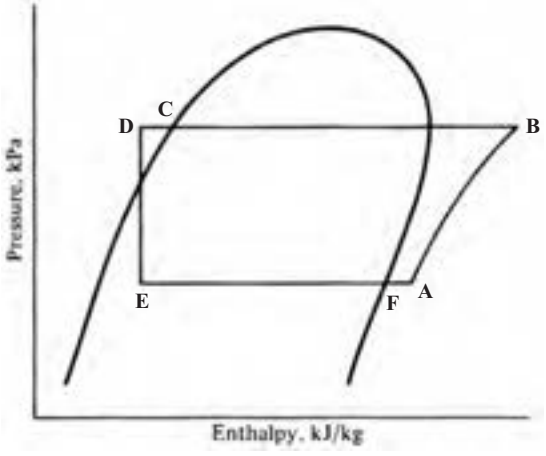
۲ــ کمپرسور بخار حامل گرما را به کندانسر پمپ می کند.

۳ــ کندانسر گرما را از سیستم دفع می کند.

۴ــ شیر انبساط جریان ماده سرمازا را تنظیم می کند.

۸ــ۲ــ بررسی چرخه تبرید با نمودار P-H

اگر چرخه تبریدی که توضیح دادیم بر روی نمودار P-H رسم کنید شکلی مانند شکل ۲۲ــ۲ به دست می آید.



شکل ۲۲ــ۲ــ نمودار PH چرخه تبرید تراکمی

برای ایجاد ارتباط بین شکل ۲۱ــ۲ با شکل ۲۲ــ۲ جدول زیر را پر کنید.

نام قسمت	مایع سابکول شده	مایع اشباع	بخار اشباع	بخار سوپر هیت شده	فشار KPa	دما $^{\circ}C$
A						
B					۱۹۳۲	
C						
D						۴۲
E						
F			✓			

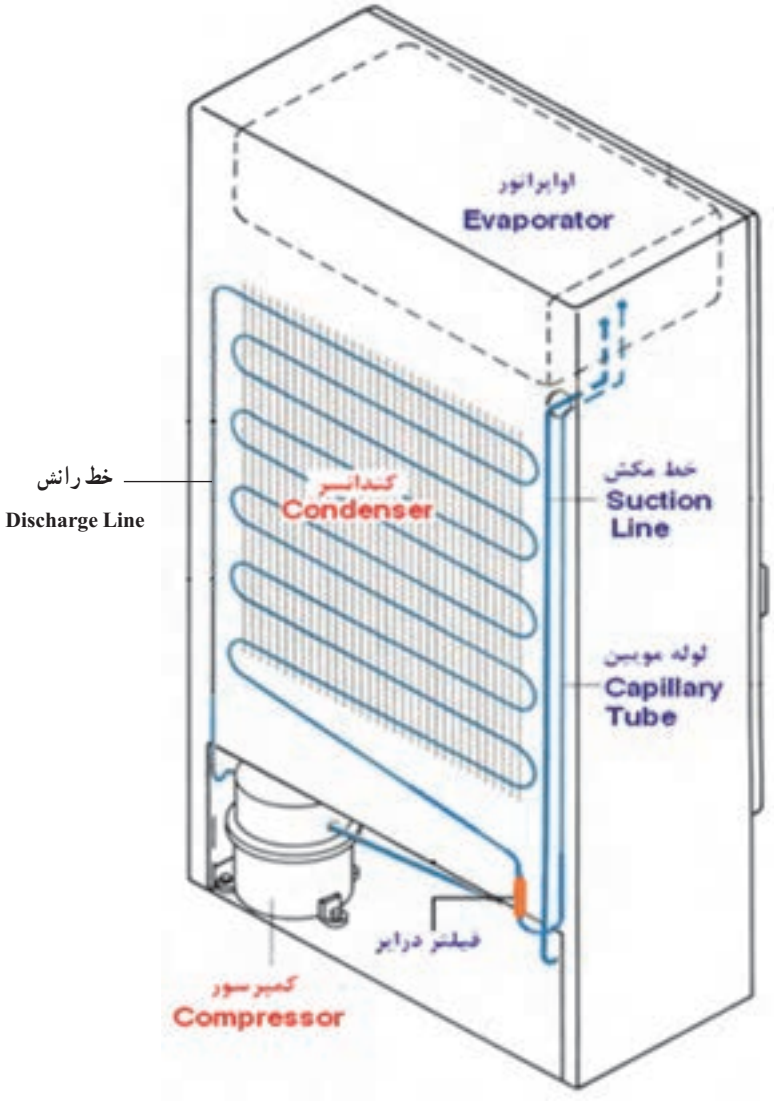
۱ــ Suction Line

۲ــ Subcooled

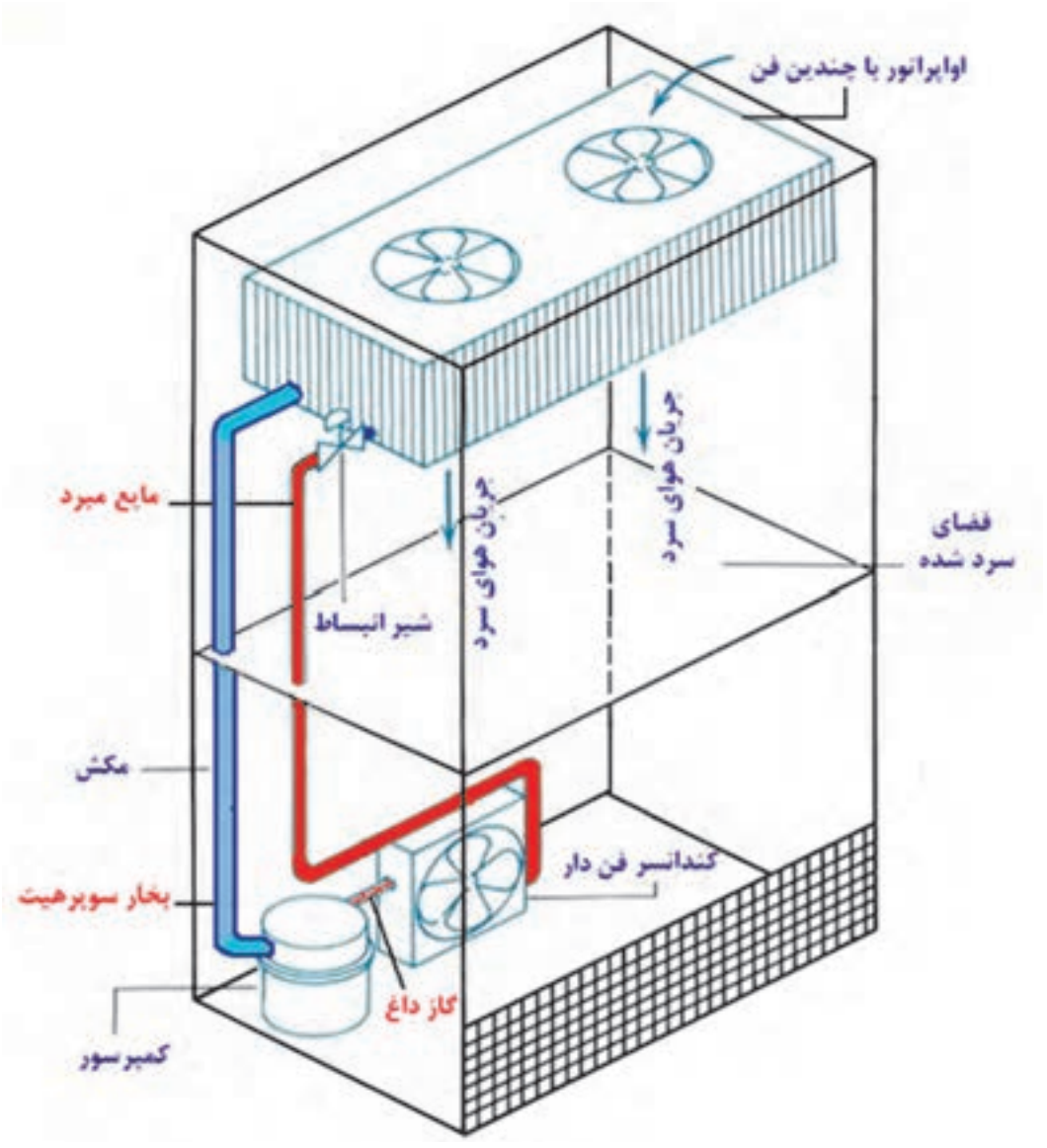
اگر شما اساس سیکل تبرید توضیح داده شده در این فصل را فهمیده باشید زمینه کامل برای فهمیدن اصول کار اکثر سیستم‌های سردکننده نظیر یخچال‌ها، فریزرها، کولرهای گازی، آب سرد کن ها، کولر اتومبیل‌ها را خواهید داشت. انواع مختلف سیستم‌های تبرید تراکمی در تأسیسات متفاوت به کار برده شده‌اند، اساس کار همهٔ آنها یکی است و تمامی این سیستم‌ها شامل کمپرسور، کندانسر، کنترل کنندهٔ مایع مبرد و اواپراتور می باشند.

در زیر چند نوع از این سیستم‌ها را بررسی می کنیم.

شکل ۲۳ــ۲ یک یخچال معمولی خانگی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که کمپرسور زیر کابین یخچال سوار شده است. کویل کندانسر در پشت کابین نصب گردیده و کنترل کننده مایع که یک لوله باریک و بلندی است (لوله مویین) از انتهای کندانسر به ابتدای اواپراتور که در داخل کابین است وصل شده است. شکل ۲۴ــ۲ یک دستگاه یخچال تجاری را نشان می‌دهد که کمپرسور و کندانسر در پایین یخچال نصب شده است. کابین شامل کویل اواپراتور و شیر کنترل مایع که درست در قسمت ورودی کویل نصب شده است می‌باشد. در چنین تأسیساتی هر دو کویل کندانسر و اواپراتور مجهز به فن بوده و هوا روی کویل‌ها دمیده می‌شود تا انتقال گرمای بیشتر و آسان‌تری داشته باشیم. در بیشتر یخچال فریزرهای خانگی هم یک یا دو فن نصب شده است.



شکل ۲۳ــ۲ــ در یک دستگاه یخچال خانگی، کمپرسور در قسمت پایین، کندانسر در پشت، کنترل‌کننده مایع مبرد که یک لوله بلند و باریک است و اواپراتور در فضای داخلی آن نصب شده است.



شکل ۲۴ــ۲ــ یک یخچال تجاری با اواپراتور و کنترل کننده مایع مبرد بدون حفاظ برای سرویس در داخل کابین

شکل ۲۵ــ۲ نشان می‌دهد که گرمای ساختمان از طریق کویل داخلی به سیستم تبرید انتقال یافته و سپس از طریق کویل بیرونی از سیستم تبرید به هوای بیرونی منتقل می‌شود. کولر گازی گرمای داخل ساختمان را به بیرون پمپ می‌کند. شرایط کار دستگاه به شرح زیر است :

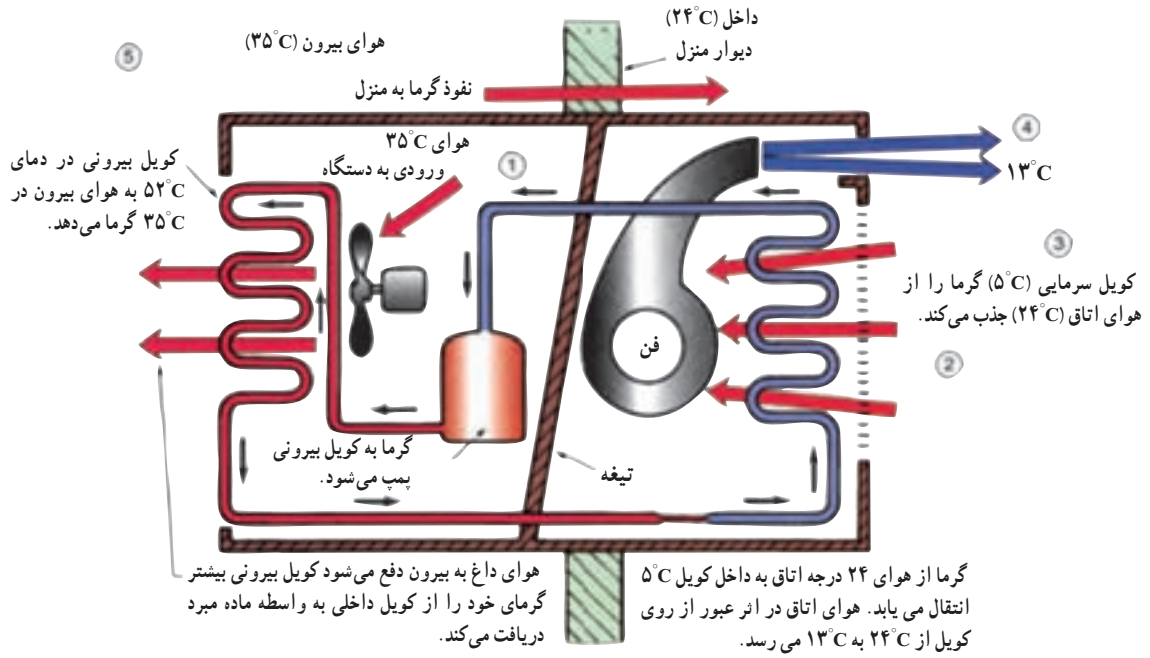
۱ــ دمای طرح هوای بیرون $35^{\circ}C$

۲ــ دمای طرح داخل $24^{\circ}C$

۳ــ دمای کویل سردکننده $5^{\circ}C$. این کویل گرما را از اتاق به سیستم تبرید انتقال می‌دهد. لازم به یادآوری است با توجه به این‌که دمای اتاق $24^{\circ}C$ و دمای کویل $5^{\circ}C$ است انجام انتقال گرما قطعی است.

۴ــ این انتقال گرما هوای خروجی از کویل و ورودی به فن و خروجی از فن را به $13^{\circ}C$ می‌رساند.

۵ــ دمای کویل بیرونی حدود $52^{\circ}C$ است. این کویل گرمای سیستم را به هوای بیرون منتقل می‌کند. دمای کویل $52^{\circ}C$ و دمای هوای بیرون $35^{\circ}C$ است بنابراین انجام انتقال گرما از دستگاه سردکننده به هوای بیرون نیز قطعی است.



شکل ۲۵ــ۲ــ کولر گازی

۹ــ۲ پرسش و تمرین

پرسش‌های چهار گزینه‌ای

۱ــ آب در کدام حالت زیر در دمای بالاتری به جوش می‌آید؟ (امتحان نهایی ــ خرداد ۹۱)

الف) داخل کتری — ب) داخل زودپز

ج) در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا — د) در محلی هم سطح دریای آزاد

۲ــ در صورتی که فشار داخل زودپز ۱/۹۸ bar باشد آب داخل زودپز در چند درجه سانتی‌گراد به جوش می‌آید.

الف) ۶۶ — ب) ۱۰۴

ج) ۱۲۰ — د) ۱۳۰

۳ــ با خارج کردن هوای داخل ظرف سر بسته‌ای که تا نیمه آب دارد، دمای جوش آب

الف) افزایش می‌یابد — ب) کاهش می‌یابد

ج) تغییری نمی‌کند — د) دو برابر می‌شود

۴ــ کدام مورد درصد مایع و بخار مبرد خروجی از شیر انبساط می‌باشد.

الف) ۷۵٪ مایع و ۲۵٪ بخار — ب) ۲۵٪ مایع و ۷۵٪ بخار

ج) ۵۰٪ مایع و ۵۰٪ بخار — د) ۴۰٪ مایع و ۶۰٪ بخار

۵ــ در کدام قسمت چرخه تبرید گرمایی به مبرد اضافه و یا کم **نمی‌شود**. (امتحان نهایی ــ دی ۹۰)

الف) اواپراتور — ب) کندانسر

ج) کمپرسور — د)شیر انبساط

۶ــ مبرد در انتهای کندانسر به چه صورت می‌باشد؟ (امتحان نهایی ــ خرداد ۹۰)

الف)مایع اشباع　　ب) مایع سوپرهیت

ج) مخلوط مایع و بخار　　د) بخار فوق گرم

۷ــ بیشترین انتقال گرما در کجای سیکل تبرید رخ می‌دهد؟ (امتحان نهایی ــ شهریور ۹۰)

الف) کمپرسور　　ب) کندانسر

ج) اواپراتور　　د) شیر انبساط

پرسش‌های درست و نادرست

۸ ــ تبرید فرایندی است که طی آن گرما از محیط با دمای بالا به‌محیط با دمای پایین حرکت می‌کند.

☐ درست　　☐ نادرست

۹ــ گرما در اثر جابه‌جایی هوا و از طریق جداره‌های یخچال به‌داخل یخچال انتقال می‌یابد.

☐ درست　　☐ نادرست

۱۰ــ اگر فشار روی سطح آب ۷۵/۶۶ mmHg باشد آب در دمای ۵۶ درجه سانتی‌گراد به جوش می‌آید.

☐ درست　　☐ نادرست

۱۱ــ اساس کار یخچال، کولرگازی و کولر اتومبیل یکی می‌باشد.

☐ درست　　☐ نادرست

پرسش‌های کامل کردنی

۱۲ــ واحد اندازه‌گیری قدرت سرمایی دستگاه‌های سرمایی بزرگ ..... و ..... می‌باشد.

۱۳ــ ۳۶۰۰۰ بی تی یو در ساعت معادل ..... تن تبرید است.

۱۴ــ با افزایش فشار بر روی سطح آب، نقطه جوش آب ..... می یابد.

۱۵ــ هرگاه سیلندر حاوی مبرد ۱۲ــ R را در اتاقی با دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شود فشار داخل سیلندر ..... میلی‌متر جیوه می‌باشد.

واژه‌های مناسب را در جای خالی بنویسید.

«تن تبرید ــ اواپراتور ــ بی تی یو در ساعت ــ کندانسر ــ شیر انبساط ــ حرکت مولکولی ــ کمپرسور»

۱۶ــ سرعت فاسد شدن مواد غذایی با کند شدن ..... کم می‌شود.

۱۷ــ قدرت سرمایی دستگاه های سردکنندهٔ کوچک را با ..... می‌سنجند.

۱۸ــ کویل لوله مسی را که مایع مبرد در داخل آن به حالت جوش در می‌آید و بخار می‌شود ..... می‌نامند.

۱۹ــ کمپرسور و ..... جزء قسمت فشار زیاد سیستم تبریدی می‌باشند.

۲۰ــ جریان ماده سرمازا توسط ..... تنظیم می‌شود.

پرسش‌های تشریحی

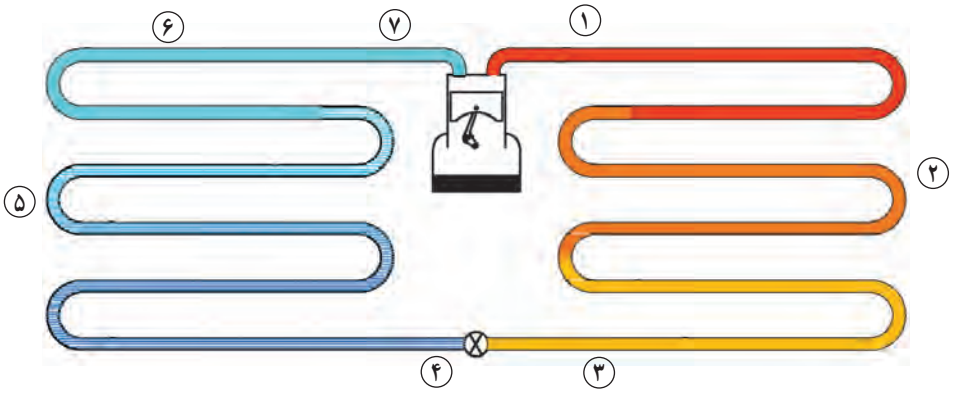
۲۱ــ تبرید را تعریف کنید.

۲۲ــ تن سرمایی را تعریف کنید.

۲۳ــ قسمت‌های فشار کم و فشار زیاد در سیکل تبرید را بیان کنید.

۲۴ــ سیلندر متصل به یک کویل لوله مسی به عنوان یک دستگاه سردکننده را توضیح داده و اشکالات آن را بنویسید.

۲۵ــ با توجه به سیکل تبرید شکل زیر جدول را برای مبرد R ــ۲۲ کامل کنید.



قسمت	دما C°	فشار KPa	حالت و درصد مبرد
۱	۹۳		
۲			
۳		۱۹۳۲	
۴			
۵			۵۰٪ مایع و ۵۰٪ بخار
۶			
۷			

۲۶ــ اجزاء اصلی سیکل تبرید را به طور مختصر شرح دهید.

۲۷ــ چرا در اواپراتور و کندانسور با وجود جذب و دفع گرما،دما ثابت می‌ماند.(امتحان نهایی ــ خرداد ۹۰)

۲۸ــ نمودار P ــH سیکل تبرید را ترسیم کرده و قسمت‌های مختلف آن را مشخص نمایید.

۲۹ــ تفاوت‌های یخچال خانگی، یخچال تجاری، کولر گازی را بنویسید.