(دما - فشار - حجم - گرمای ویژه) ماکروسکوپی

دستگاه : در ترمودینامیک تحولات جسم خاصی که معمولاً گاز یا مایع است و با محیط خود گرما و کار مبادله می کند دستگاه یا سیستم می گویند

محیط : اجسام پیرامون دستگاه که با آن مبادله انرژی دارند.

درموتور خودرو : مخلوط هوا و بخار بنزین دستگاه است

در یخچال : دستگاه گاز درون لوله ها که باعث خنک شدن می شود

کتری برقی : آب درون آن دستگاه است و خود کتری و سیم گرمکن درون آن و هوا ، محیط هستند.

ترمودینامیک فقط در محدودهٔ گاز هاست ولی در این کتاب فقط در آن قسمت بررسی می شود

دستگاه می تواند مقداری آب ، کل جو زمین ، بدن یک موجود زنده باشد . به مسأله ای که در آن قرار می گیریم مرتبط است . دستگاه بخشی از ماده است که تحولات و مبادله انرژی بین آن قسمت و محیط پیرامون آن بررسی می شود

ترمودینامیک : موتور ماشین های بنزینی تا حدود ۳۰ درصد از انرژی شیمیائی حاصل از سوختن بنزین را به کار مفید تبدیل می کند. برای بازدهٔ ماشین ها حدّ بالائی وجود دارد که مانع از تبدیل کامل انرژی شیمیائی به کار مفید می شود

ترمودینامیک به مطالعهٔ رابطهٔ بین گرما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی می پردازد.

در سیلندر موتور خودروها از واکنش شیمیائی اکتان با بخار بنزین و به حرکت درآوردن پیستون ، کار مکانیکی تولید می شود.

طراح و مهندس تولید خودروها می خواستند متوجه شوند که قوانین فیزیک چه محدودیتی برای تبدیل انرژی گرمائی به انرژی مکانیکی ایجاد می کند. هرگز خود خود گرما از جسم سرد به گرم نمی رود

در ترمودینامیک فرآیندها توسط کمیت های مشاهده پذیر یا ماکروسکوپی توجیه می شود بدون آنکه درگیر رفتار تک تک مولکول های گاز شود (حتماً دما باید بررسی شود)

ترمودینامیک ماکروسکوپی بررسی می کند نه میکروسکوپی

دانلود از اپلیکیشن پادرس

تعادل ترمودینامیکی : هرگاه همهٔ نقاط یک گاز فشار و دمای یکسانی داشته باشند

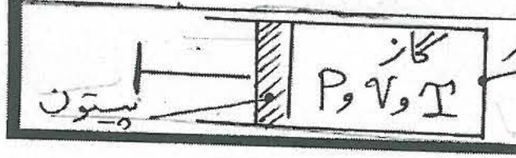
متغیرهای ترمودینامیکی : حجم و فشار و دما که هر سه کمیتی ماکروسکوپی هستند و برای توصیف حالت تعادل گاز استفاده می شوند

در هر حالت تعادل که فشار و دما در همهٔ نقاط یکسان است ، متغیرهای ترمودینامیکی فشار و دما و حجم هر یک دارای عددی معین هستند .

در حالت تعادل ، هیچ یک از متغیرهای ترمودینامیکی خود به خود تغییر نخواهند کرد .

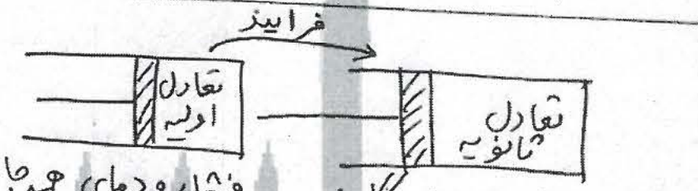
معادلهٔ حالت : متغیرهای ترمودینامیکی مستقل از هم نیستند . رابطهٔ بین آنها را معادلهٔ حالت می نامیم

در یک گاز کامل (آرمانی) معادلهٔ حالت ساده و مستقل از نوع گاز است (همان قانون گاز آرمانی) $PV=nRT$



در حالت تعادل
P ← همه جا برابر
T ← همه جا برابر
P و V و T ← اعداد معین

فرایند ترمودینامیکی : هرگاه دستگاه از یک حالت تعادل به حالت تعادل دیگری می رود ، فرایند رخ می دهد



فرایند ایستاور : هرگاه در طی فرایند ، دستگاه همواره نزدیک وضع تعادل باشد و سریع به تعادل برسد (مثلاً حرکت پیستون خیلی کُند باشد و یا گرمادهی به دستگاه خیلی کم و آرام باشد) فرایند ایستاوار است

برای رسم نمودارهای ایستاوار ، چند نقطه تعادلی تعیین می کنیم و با وصل کردن آنها نمودار را کامل می کنیم

تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو طریق گرما و کار صورت می گیرد . معمولاً فرض می شود در هنگام تبادل گرما ، دستگاه با یک منبع گرما در تماس است این منبع گرما می تواند دمای قابل تنظیم و یا دمای ثابت داشته باشد .

دانلود از اپلیکیشن پادرس

محیط و دستگاه، هنگامی مبادلهٔ گرما دارند که با هم اختلاف دما دارند: گرما (گاز) ⟶ Q− ، گرما ⟵ Q+ (گاز)

منبع گرما: جسمی است که جرم آن در مقایسه با جرم دستگاه مورد نظر چنان بزرگ است که هر قدر به دستگاه گرما بدهد و یا از آن گرما بگیرد دمایش تغییر چندانی نمی‌کند: چای داغ در یک اتاق (محیط (منبع گرما)) ⟵ دستگاه؛ قطعه یخ در یک اتاق (دستگاه) ⟵ محیط (منبع گرما)

چای سردی می‌شود / یخ گرم می‌شود (ذوب)

در عمل (آزمایشگاه): منبع گرما جسمی است که تنظیم دمای آن با آزمایشگر است.

یادآوری: انرژی درونی یعنی مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی همهٔ ذرات ماده (نماد U)

انرژی درونی به متغیرهای ترمودینامیکی V و P و T بستگی دارد ولی در گاز آرمانی فقط تابع دمای گاز است.

قانون اول ترمودینامیک: (قانون پایستگی انرژی)

$$\Delta U = Q + W$$

جمع جبری کار و گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط = تغییر انرژی درونی گاز کامل

کار بدهیم (W+) ⟶ گاز ⟶ کار بگیریم (W−)

گرما بدهیم (Q+) ⟶ گاز ⟶ گرما بگیریم (Q−)

$\Delta U+$: گاز گرم شود

$\Delta U-$: گاز سرد شود

$\Delta U=0$: گاز دمای ثابت دارد

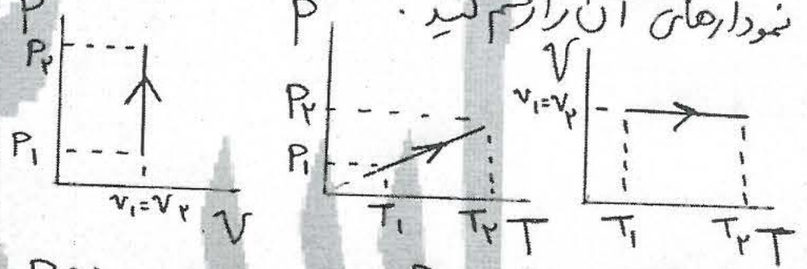
در یک گاز آرمانی (کامل) تغییر انرژی درونی فقط با تغییر دمای مطلق گاز متناسب است

(در بعضی از کتاب‌ها مثلا کتاب شیمی به جای ΔU ، ΔE)

دانلود از اپلیکیشن پادرس

فرایندی که گرمای مبادله شده با تغییر انرژی درونی برابر است

مثال) در یک فرایند هم حجم واپستار به گاز گرمای دهم نمودارهای آن را رسم کنید.



$PV=nRT \rightarrow \frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}=\frac{nR}{V}=$ ثابت

(وقتی V ثابت ← حجم ← دما و فشار را بطور مستقیم دارند)

فرمول گرمای فرایند هم حجم $Q=nC_V\Delta T$

$C_V=\frac{3}{2}R$ (تک اتمی) و $\frac{5}{2}R$ (دو اتمی)

C_V (گرمای ویژه مول در حجم ثابت): $\frac{J}{mol.K}$

در حجم ثابت ۲۰ لیتر از گاز کامل $4\,atm$ فشار و نیم مول تک اتمی دمایش نصف شود Q چند ژول است؟

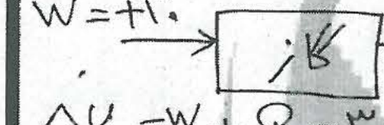
$PV=nRT \rightarrow V\Delta P=nR\Delta T$

$Q=\frac{5}{2}nR\Delta T=\frac{5}{2}V\Delta P=\frac{5}{2}(0.02)(4\times10^5)=20\,kJ$

توجه: $\Delta U=Q+W$ (کاری که ما به گاز می دهیم) W

(بدیهی است اگر کاری که گاز به ما می داد را در نظر می گرفتیم $\Delta U=Q-W$ می شد)

در یک فرایند دستگاه ۴۰ J گرما داده و محیط ۳۰ J کار کرده است انرژی درونی از ۵۰۰ J به چند ژول رسید؟

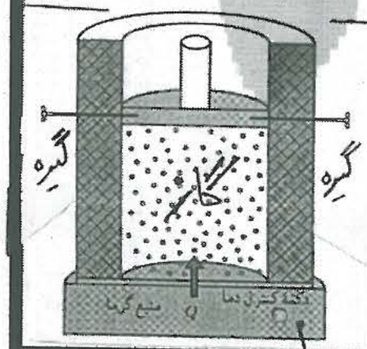


$\Delta U=W+Q=30-40=-10 \rightarrow U_2=490$

در علوم تغذیه Cal را kCal کالری بزرگ می گویند

فرآیندهای خاص و پرکاربرد ترمودینامیک:

هم حجم - هم فشار - هم دما - بی دررو



فرایند هم حجم: در طی فرایند حجم گاز ثابت است و کاری مبادله نمی شود و فقط گرما مبادله می شود: $\Delta U=W+Q$

$W=0 \rightarrow \Delta U=Q$

(منبع قابل تنظیم)

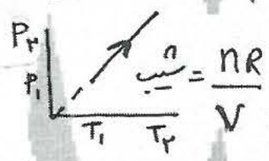
دانلود از اپلیکیشن پادرس

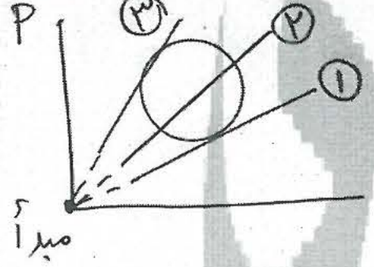
ثابت کنید نمودار فشار - دمای مطلق فرایند هم حجم خطی راست است که از مبدأ می گذرد و شیب آن را به دست آورید.

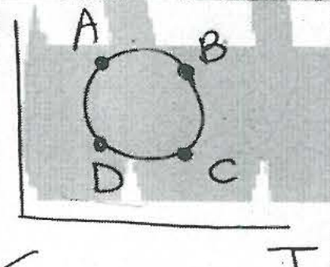
$PV=nRT \rightarrow \frac{P}{T}=\frac{nR}{V}$

$P=(\text{عدد ثابت})V+0$

$y=ax+b$ ← معادله خط راست







$\frac{P}{T}=\frac{nR}{V}=$ ثابت

حجم نقاط مختلف را مقایسه کنید

$\tan\alpha_1 < \tan\alpha_2 < \tan\alpha_3 \rightarrow V_1 > V_2 > V_3$

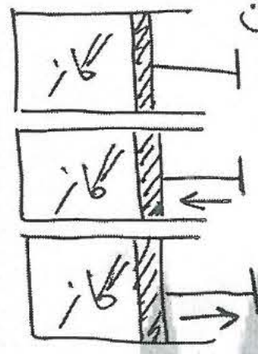
$V_{max}=V_C$ (بیشترین) $> V_B=V_D$ (روی یک خط) $> V_{min}=V_A$ (کمترین)

چرا حرارت به قوطی اسپری (افشره) می تواند خطرناک باشد.

انفجار ← F زیاد ← P زیاد ← T زیاد ← V ثابت

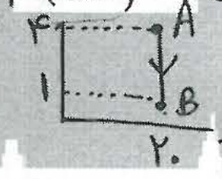
توجه:

پیستون ساکن $W=0$



$W+$ ← ما به گاز ← تراکم ← گاز کار می دهیم

$W-$ ← ما از گاز ← انبساط ← گاز کار می گیریم



$P(atm)$ دمایش k ۱۰۰ است. گاز O_2 در نقطه A $\Delta U_{AB}=?$

$PV=nRT$

$n=\frac{۴\times۱۰^۵\times۲۰\times۱۰^{-۳}}{۸\times۱۰۰}=۱۰$ مول

$Q=nC_V\Delta T=۱۰\left(\frac{۵}{۲}\times۸\right)(-۷۵)=-۱۵۰۰۰$

$T_A=۱۰۰ \rightarrow T_B=۲۵$

$\Delta U=W+Q=۰-۱۵۰۰۰=-۱۵۰۰۰$ J

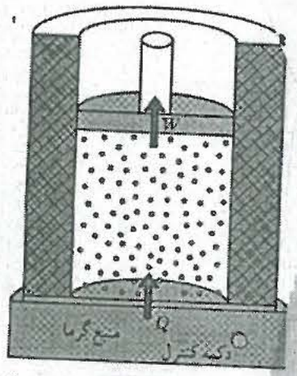
توجه: چه فرایند هم حجم باشد چه نباشد یک رابطه

$\Delta U=W+Q=\frac{۳}{۲}nR\Delta T$

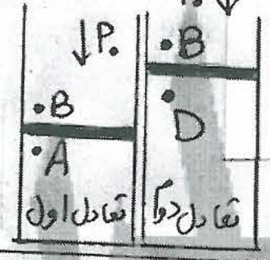
$\Delta U=W+Q=\frac{۵}{۲}nR\Delta T$ دو اتمی

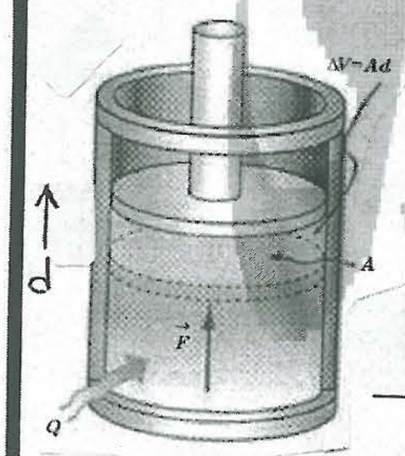
دانلود از اپلیکیشن پادرس

فرایند هم‌فشار: در طی فرایند فشار گاز ثابت می‌ماند و بران اینکه فشار ثابت بماند باید همهٔ اصطکاک‌ها را حذف کنیم



(منبع قابل تنظیم)





چون قرار است گاز متعادل باشد پس پیستون ساکن است و چون هیچ اصطکاکی نداریم

$P_A = P_B = P_0$

$P_D = P_B = P_0$

هم‌فشار $P_A = P_D$

اثبات فرمول کار: $P = \frac{F}{A} \rightarrow F = PA$

$W = F\,d\cos\theta = PAd = P\Delta V$

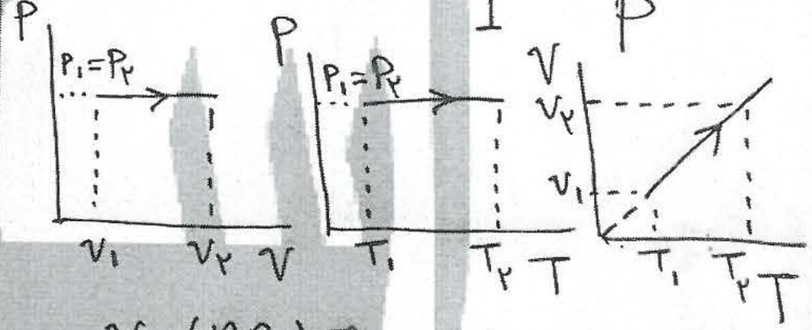
گاز روی محیط

محیط روی گاز: $W = -P\Delta V$

هم‌فشار

در یک فرآیند هم‌فشار اگر در حالت ایستاوار به گاز گرما بدهیم نمودارها را رسم کنید.

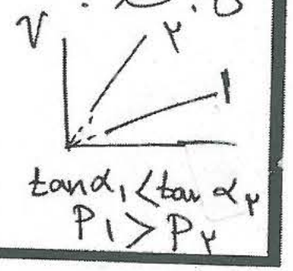
$PV = nRT \rightarrow \frac{V}{T} = \frac{nR}{P} =$ ثابت



در نمودار حجم - دما $V = \left(\frac{nR}{P}\right)T + 0$

$y = (a)x + (b)$

یک خط راست که از مبدأ می‌گذرد و شیب آن $\frac{nR}{P}$ می‌باشد.



گرمای هم‌فشار $Q = nC_P\Delta T$

گاز کامل آرمانی:
- تک‌اتمی $C_P = \frac{5}{2}R$
- دو اتمی $C_P = \frac{7}{2}R$

گرمای ویژه مولی هم‌فشار C_P

دانلود از اپلیکیشن پادرس

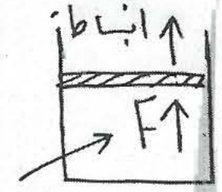
فرمول کار هم فشار

$W = -P\Delta V = -nR\Delta T$

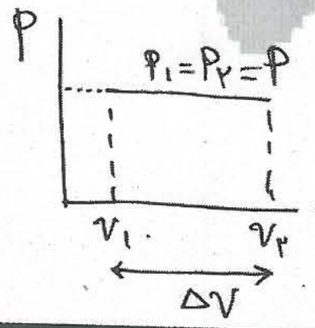
فرمول گرمای هم فشار

$Q = \frac{5}{2}nR\Delta T$ یا $\frac{7}{2}nR\Delta T$

تک اتمی $Q = \frac{5}{2}P\Delta V$ دو اتمی یا $\frac{7}{2}P\Delta V$



یعنی اثبات صفحهٔ قبل همواره درست است.



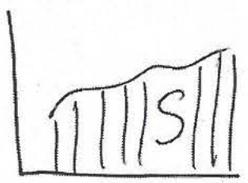
در این نمودار سطح محصور با V معادل چیست؟

$S_{\text{مستطیل}} = P\Delta V$

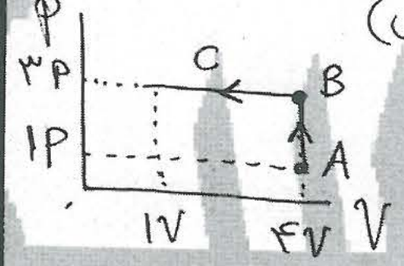
انبساط $W =$ (عدد مثبت) $P\Delta V$

تراکم $W =$ (عدد منفی) $P\Delta V$

می‌توان ثابت کرد که سطح محصور نمودار P و V با قدرمطلق کار همواره برابراست



در نمودار مقابل (تک اتمی)



$W_{AB} = 0$ ($\Delta P = 2P$)

$Q_{AB} = \frac{3}{2}V\Delta P = 6PV$

$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2}V\Delta P = 6PV$

$W_{BC} = -P\Delta V = -P(-3V) = 3PV$

$Q_{BC} = \frac{5}{2}P\Delta V = \frac{5}{2}P(-3V) = -\frac{15}{2}PV$

$\Delta U_{BC} = W + Q = 3PV + (-7/5)PV = -4/5\,PV$

$W_{AC} = S_{\text{ذوزنقه}} = \frac{(1P+3P)(3V)}{2} = 6PV$

$\Delta U_{AC} = \frac{3}{2}(P_{C}V_{C} - P_{A}V_{A}) = \frac{3}{2}(3PV - 4PV)$

یا $\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}$ $\quad \Delta U_{AC} = -1/5\,PV$

$\Delta U_{AC} = -1/5\,PV = 6PV + (-4/5\,PV)$

$\Delta U_{AC} = Q_{AC} + W_{AC} \rightarrow Q_{AC} = -1/5PV + 6PV = 4/5\,PV$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

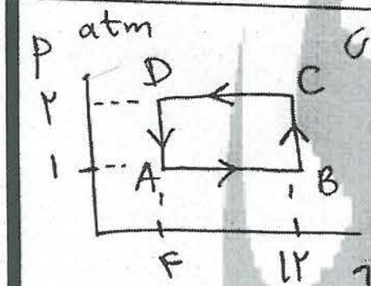
یکای $C_V\left(\frac{J}{mol.k}\right)$ ، $R\left(\frac{J}{mol.k}\right)$

$PV\ (J)$ و $C_P\left(\frac{J}{mol.k}\right)$

یکای فشار در حجم را بدست آورید.

$$P \times V = \frac{F}{A} \times V = \frac{N}{m^2} \times m^3 = Nm = J$$

یک مول گاز کامل تک اتمی دارای نمودار روبرو را طی کرده است جدول را کامل کنید.



$PV = nRT$

$T_A = \frac{1.0 \times 4 \times 10^{-3}}{1 \times 8} = 50$

گرما		از	تا	نام	W	Q	ΔU
A	۵۰	A	B	هم‌فشار	$-nR\Delta T$ -800	$\frac{5}{2}nR\Delta T$ 2000	۱۲۰۰
B	۱۵۰	B	C	هم‌حجم	۰	$\frac{3}{2}nR\Delta T$ ۱۸۰۰	۱۸۰۰
C	۳۰۰	C	D	هم‌فشار	$-nR\Delta T$ $+1600$	$\frac{5}{2}nR\Delta T$ -4000	-2400
D	۱۰۰	D	A	هم‌حجم	۰	$\frac{3}{2}nR\Delta T$ -600	-600
توجه		A	A	چرخه	$+800$	-800	۰

فرایند هم دما: در طی این فرایند دمای گاز ثابت می‌ماند متوجه باشیم که بدنه عایق است ولی با منبع گرمای دمای ثابت در ارتباط می‌باشد.

$\Delta U \propto \Delta T \rightarrow \Delta U = 0$

$\Delta T = 0$

(انرژی درونی گاز ثابت است)

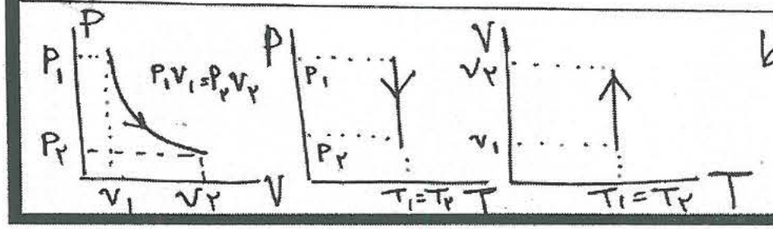
$\Delta U = W + Q = 0 \rightarrow W = -Q$

اگر به گاز گرما بدهیم این گرما موجب انجام کار توسط گاز برای ما می‌شود ولی انرژی کل گاز ثابت می‌ماند.

انباط $\rightarrow W- \rightarrow Q+$

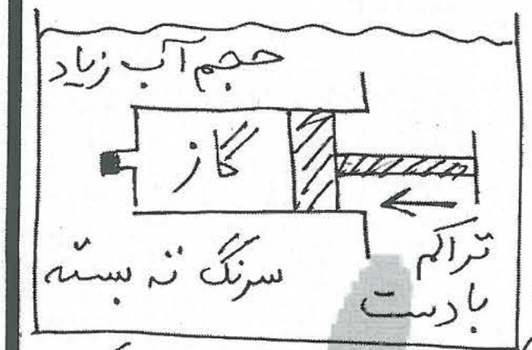
تراکم $\rightarrow W+ \rightarrow Q-$

انباط هم‌دما



دانلود از اپلیکیشن پادرس

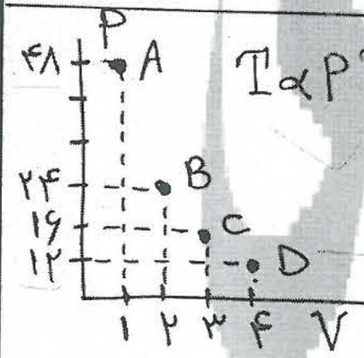
چون حجم آب خیلی زیاد است پس دمای گاز تقریباً ثابت می ماند (منبع گرما آب است)



ماکاری دهم → تراکم

$\rightarrow W+ \rightarrow Q-$

$\Delta U = 0$ و $\Delta T = 0$



$T \propto PV$

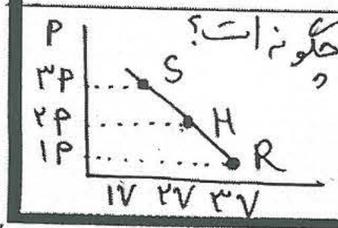
(تحلیل فرایند هم دما)

نقطه	P	V	PV
A	۱۲	۴	۴۸
B	۱۶	۳	۴۸
C	۲۴	۲	۴۸
D	۴۸	۱	۴۸

$PV = nRT$

$T = \frac{PV}{nR}$

تغییر انرژی درونی از S تا R چگونه است؟

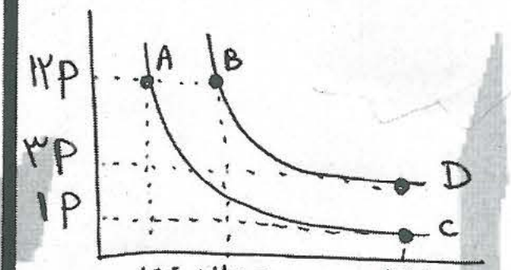


$P_S V_S = 3PV$ ← ΔU زیاد

$P_H V_H = 4PV$

$P_R V_R = 3PV$ ← ΔU کم

$(T_S = T_R < T_H)$



	P	V	PV
A	۱۲	۱	۱۲
B	۱۲	۳	۳۶
C	۱	۱۲	۱۲
D	۳	۱۲	۳۶

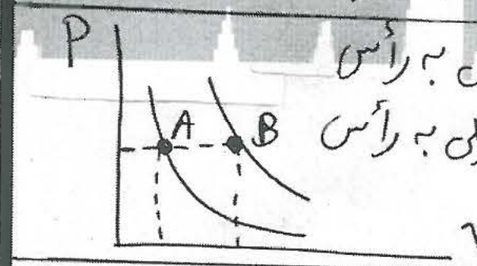
$(T_A = T_C < T_B = T_D)$

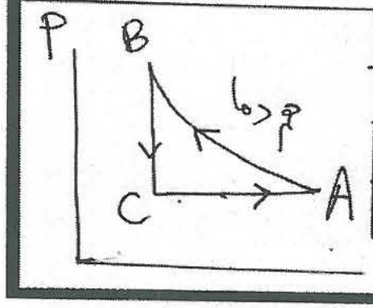
$T_A = T_C$ هم دما

$T_B = T_D$ هم دما

آن نموداری که مساحت بیشتری محصور می کند، مربوط به دمای بیشتر است و کار بیشتری مبادله می کند.

در مثال بالا مستطیلی به زیر B مساحتش از مستطیلی به زیر A بیشتر است.





نوع	نقاط	W	Q	ΔU
هم دما	AB	+	−	•
هم حجم	BC	•	−	−
هم فشار	CA	−	+	+

دانلود از اپلیکیشن پادرس

بی دررو : دراین فرایند بین دستگاه و محیط گرما مبادله نمی شود.

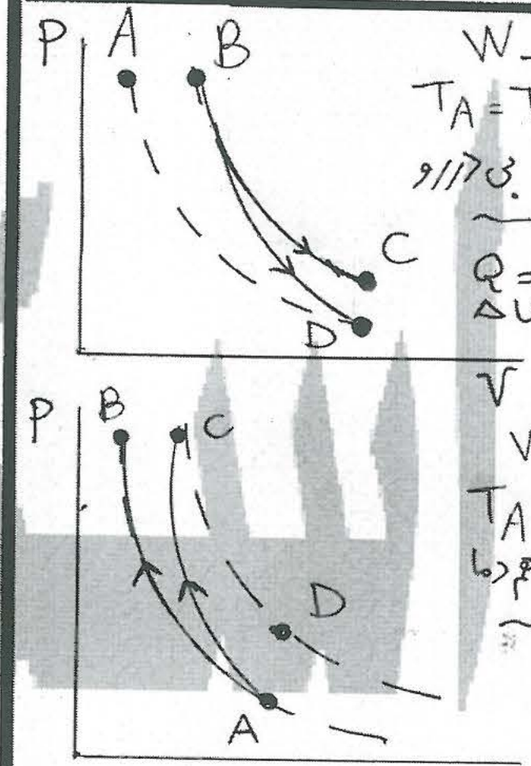
نکته : دورو شدن برای تولید فرایند بی دررو وجود دارد یا اینکه کل محیط عایق باشد و هیچ گرمائی مبادله نشود و یا اینکه پیستون آن قدر سریع حرکت کند که گاز فرصت نکند با محیط گرما مبادله کند.

$$\Delta U = W + Q \xrightarrow{Q=0} \Delta U = W$$

وقتی با در بازکن ، در یک نوشابهٔ خیلی سرد را باز می کنیم هاله و بخار رقیقی تولید می شود زیرا گاز خیلی سریع منبسط می شود یعنی انبساط بی دررو

$$Q=0 \rightarrow W<0 \rightarrow \Delta U<0$$

$$\rightarrow \Delta T<0 \rightarrow$$ رشد قطرات در بخار آب (تولید مه)



انبساط W−

$T_A = T_D < T_B = T_C$

BC هم دما ، BD بی دررو

در مورد BD

$Q=0 \rightarrow W- \rightarrow \Delta U-$

$\Delta U = W$

$\Delta U \propto \Delta T$

$\Delta T-$ (کاهش دما)

تراکم W+

$T_A = T_B < T_B = T_D$

AB هم دما ، AC بی دررو

در مورد AC

$Q=0$ و $\Delta U = W$

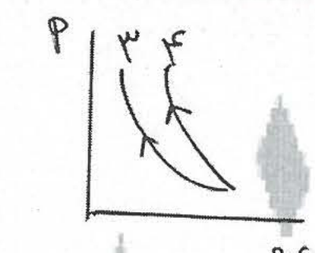
چون W+ ، V

پس $\Delta U+$

$\Delta U \propto \Delta T \leftarrow \Delta T+ \leftarrow$ افزایش دما

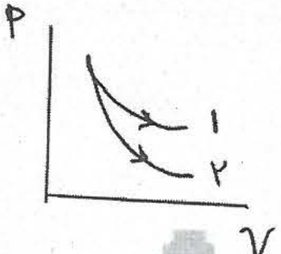
نام	ΔT	W	Q	ΔU
۱ انبساط هم دما	۰	−	+	۰
انبساط بی دررو	−	−	۰	−
تراکم هم دما	۰	+	−	۰
تراکم بی دررو	+	+	۰	+

دانلود از اپلیکیشن پادرس



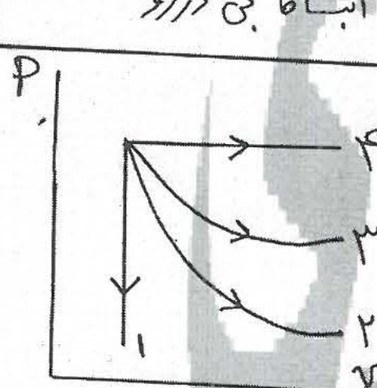
۳ تراکم هم‌دما

۴ تراکم بی‌دررو



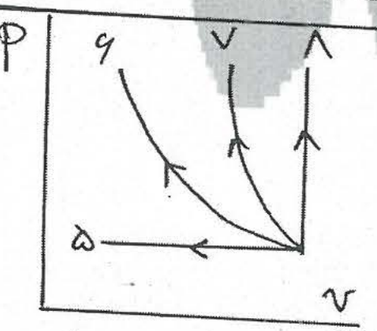
۱ انبساط هم‌دما

۲ انبساط بی‌دررو



شماره	نام	Q	W	ΔU	ΔT
۱	هم‌حجم	−	•	−	−
۲	بی‌دررو	•	−	−	−
۳	هم‌دما	+	−	•	•
۴	هم‌فشار	+	−	+	+

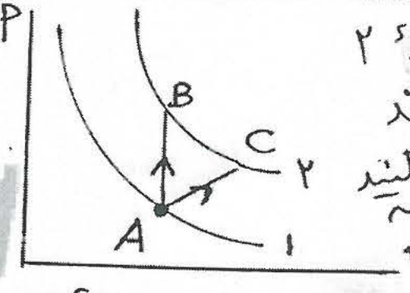
قدر مطلق $W_۴ > W_۳ > W_۲$



۵	هم‌فشار	−	+	−	−
۶	هم‌دما	−	+	•	•
۷	بی‌دررو	•	+	+	+
۸	هم‌حجم	+	•	+	+

قدر مطلق $W_۷ > W_۶ > W_۵$

در شکل شاخهٔ ۱ و شاخهٔ ۲ فرایند هم‌دمای مستقلی هستند کنید ΔU_{AB} و ΔU_{AC} را مقایسه



تغییر انرژی درونی ارتباطی به مسیر ندارد فقط تابع تغییر دماست

$\Delta T_{AB} = T_۲ - T_۱$

$\Delta T_{AC} = T_۲ - T_۱$

$\longrightarrow \Delta T_{AB} = \Delta T_{AC}$

(یعنی برای همهٔ فرآیندها یکی است) $\Delta U_{AB} = \Delta U_{AC}$

$\Delta U = W + Q$

هم‌حجم $W = ۰$ $\longrightarrow \Delta U = Q$

$Q = n C_V \Delta T \longrightarrow \Delta U = \frac{۳}{۲} nR\Delta T$

هم‌حجم — همواره — تک‌اتمی

$\Delta U = \frac{۵}{۲} nR\Delta T$

دواتمی

$\Delta U = \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$

همواره — تک‌اتمی

$\Delta U = \frac{۵}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

تک اتمی

$C_P - C_V = ?$

$C_P - C_V = \frac{5}{2}R - \frac{3}{2}R = R$

دو اتمی

$C_P - C_V = \frac{7}{2}R - \frac{5}{2}R = R$

در نمودار مقابل تغییر انرژی درونی را بدست آورید. (تک اتمی)

$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$

$PV = nRT \rightarrow T = \frac{PV}{nR}$

$\Delta U = \frac{3}{2}nR\left(\frac{P_2V_2}{nR} - \frac{P_1V_1}{nR}\right) = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$

سرنگ آتش زنه

در این شکل اگر پیستون خیلی سریع پائین آید هوا گرم می‌شود (آتش می‌گیرد) پنبه

فرآیند خیلی سریع رخ می‌دهد تراکم بی‌دررو است که دمای گاز خیلی زیاد می‌شود

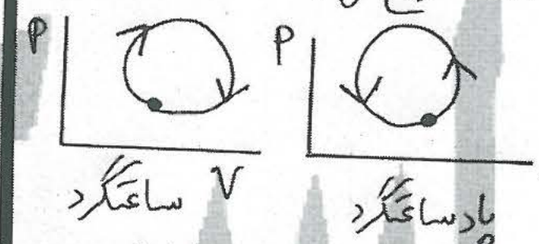
نقطه اشتعال خیلی کم ← (کاغذ نیترو سلولز)

چرخه ترمودینامیکی: دستگاه پس از چند فرایند مجدداً به نقطه شروع می‌رسد.

چون ابتدا و انتهای چرخه یک نقطه است

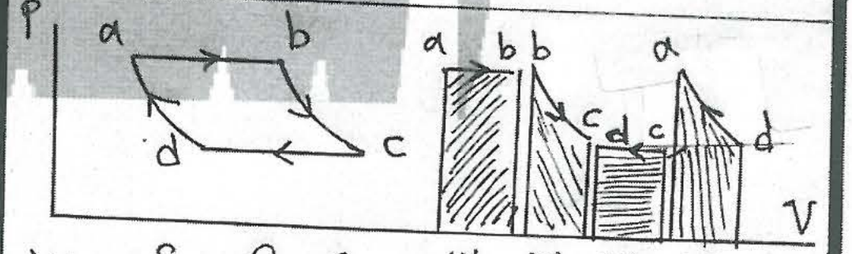
$\Delta T = 0$

$\Delta U = 0$



ساعتگرد: $\Delta U = 0$ ، $S(W-)$ ، $W+$

پادساعتگرد: $\Delta U = 0$ ، $S(W+)$ ، $Q-$



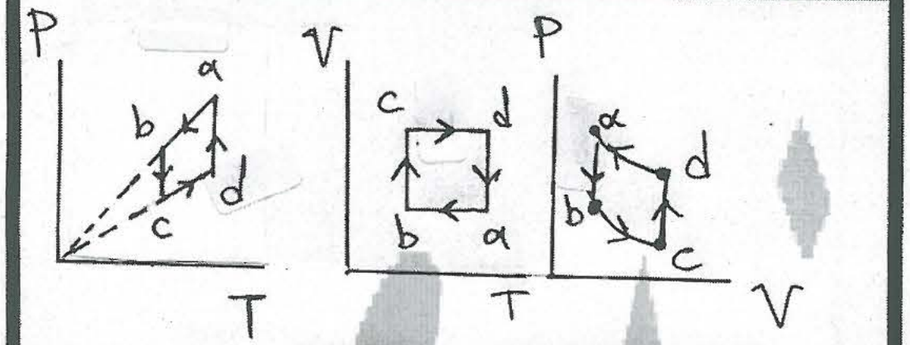
$W_t = S_{ab} + S_{bc} + S_{cd} + S_{da} \rightarrow W_t = S_{abcd}$

که در این مثال W_t عددی منفی می‌شود.

یادآوری: انبساط (W منفی) تراکم (W مثبت)

توجه: در این مثال اندازه مساحتهای ۴ قسمت برابر نیست

دانلود از اپلیکیشن پادرس



شاخه	نوع	P	V	T	W	Q	ΔU
AB	هم حجم	↓	ثابت	↓	•	−	−
BC	هم دما	↓	↑	ثابت	−	+	•
CD	هم حجم	↑	ثابت	↑	•	+	+
DA	هم دما	↑	↓	ثابت	+	−	•

ماشین های گرمائی

امروزه بیشتر انرژی مورد نیاز انسان از طریق ماشین گرمائی به دست می آید.

ماشین گرمائی ، گرمای حاصل از سوخت را به کار تبدیل می کند

مانند لوکوموتیو - کشتی بخار - هواپیما - فضاپیما زیردریائی - خودرو

گرمای سوخت → نیروگاه → انرژی الکتریکی

نوعی ماشین گرمائی است

از نظر تاریخی اولین ماشین های گرمائی برون سوز بودند

موتور خودروها (بنزینی و گازوئیلی) درون سوزند

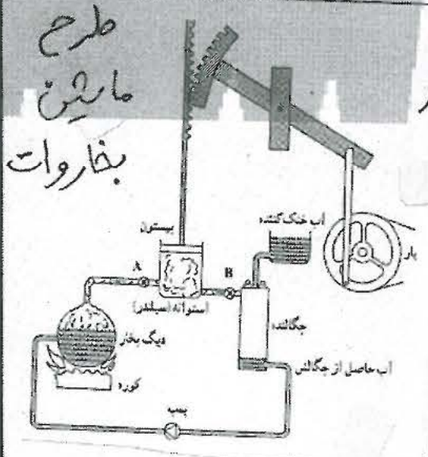
در ماشین های گرمائی بعد از چند فرایند معین که چرخه کامل رخ می دهد ، ماشین قسمتی از انرژی دریافتی را به کار تبدیل می کند

ماشین نیوکامن یک ماشین برون سوز ابتدائی است

ماشین نیوکامن برای بالا کشیدن آب از معادن استفاده می شد

ماشین استرلینگ و ماشین بخار ، برون سوز و جدیدترند

طرح ماشین بخاروات



✓ ماشین بخاروات دستگاهی که چرخه را طی می کند

✓ آب است .

✓ چون گرما از بیرون توسط کوره به آب داده می شود (علم تماس مستقیم)

ماشین برون سوز است

دانلود از اپلیکیشن پادرس

① آب در دیگ به جوش می آید و به بخار داغ تبدیل می شود (شیر A و B بسته)

② شیر A باز و شیر B است ، بخار با فشار زیاد وارد سیلندر (استوانه) می شود و پیستون بالا می رود . وقتی پیستون به بالای سیلندر رسید ابتدا A بسته و بلافاصله (همزمان) B باز می شود.

③ بخار وارد چگالنده می شود و پیستون پائین می آید درست وقتی پیستون به پائین ترین حد خود رسید مجدداً B بسته و A باز می شود

④ علاوه بر آن آبی که به عنوان دستگاه در چرخش است یک مقدار آب هم برای خنک کردن چگالنده وجود دارد که سبب میعان در چگالنده می شود (این آب همواره مانند رادیاتور ماشین در گردش دور چگالنده است)

⑤ پس از تبدیل بخار به آب ، آب توسط پمپ (تلمبه) مجدداً به دیگ برگردانده می شود و چرخه تکرار می گردد

توجه : چرخهٔ آرمانی چرخه ای ایستاوار و بدون اصطکاک و هر نوع اتلاف انرژی است .

چرخهٔ آرمانی ماشین بخار رانکین نام دارد.

هر ماشین بخار با دو منبع گرما ارتباط دارد.

دیگ بخار (منبع دمای بالاتر) چگالنده (منبع دمای پائین تر)

Q_H گرمائی که ماشین از منبع با دمای بالاتر دریافت می کند

$|Q_L|$ گرمائی که ماشین به منبع با دمای پائین تر می دهد

$|W|$ کاری که بطور خالص در یک چرخه به محیط داده می شود

نیروگاه برق حرارتی درست مانند ماشین بخار کار می کند فقط وقتی بخار داغ پرفشار تولید شد ، بوسیله آن توربین که به ژنراتور وصل است می چرخد و بعد میعان و ...

قایق پوت - پوت مانند ماشین برون سوز است (اسباب بازی)

حرارت آب را جوش آورده و خروج بخار طبق قانون سوم نیوتون ، عامل حرکت

دانلود از اپلیکیشن پادرس

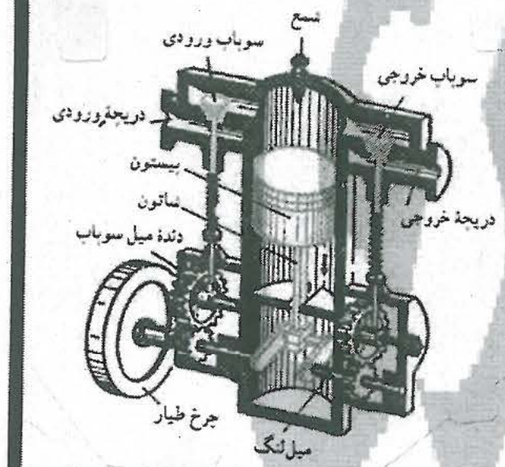
ماشین‌های گرمائی درون سوز

بیشتر خودروهای سواری ـ هواپیماها ـ برخی کشتی‌ها قطارها و مولدهای کوچک برق (ژنراتور) درون سوزند

دونوع متداول ماشین‌های گرمائی: بنزینی و دیزلی

موتور بنزینی:

قسمتی از گرمای تولید شده از سوختن سوخت، پیستون را حرکت می‌اندازد و این حرکت توسط شاتون و میل لنگ به حرکت چرخشی تبدیل می‌شود.



(سیلندر و اجزای جانبی موتور)

قسمتی دیگر از این گرما از طریق رادیاتور (خنک کننده) و از طریق اگزوز (لولهٔ خروج دود) مستقیماً به هوا داده می‌شود

ماشین بنزینی چرخه‌ای شامل شش فرایند طی می‌کند

چرخهٔ ماشین بنزینی شش فرایند دارد، چهار فرایند با حرکت پیستون توأم است که به ضربه معروف هستند. در دو فرایند پیستون ساکن است

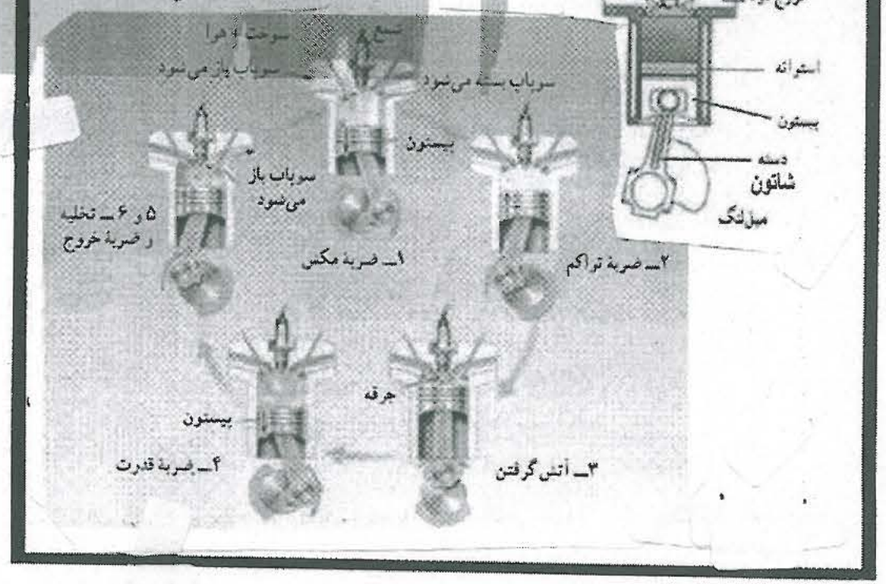
① ضربهٔ مکش ← ② ضربهٔ تراکم ← ③ آتش گرفتن

④ ضربهٔ قدرت ← ⑤ تخلیه ← ضربهٔ خروج

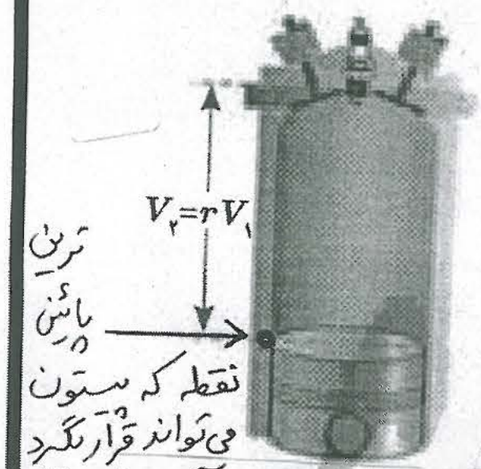
⑥ گاز

طرحی از موتور بنزینی

شش فرایند ماشین بنزینی



دانلود از اپلیکیشن پادرس

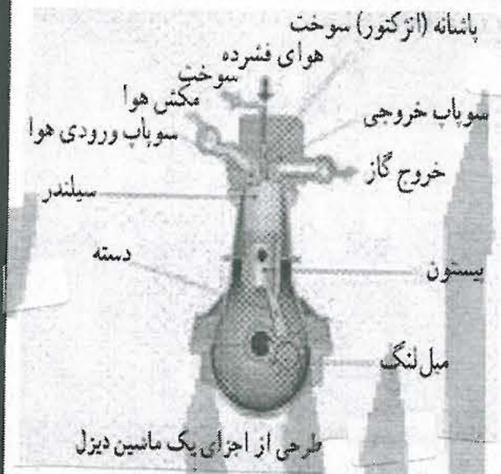


$V_2 = 2\ V_1$

۲ یک عدد است که به نسبت تراکم یا نسبت انبساط معروف است. هرچه ۲ بیشتر شود بازدهٔ ماشین بیشتر می‌شود ولی در عمل نمی‌توان ۲ را بطور دلخواه بالا برد: نسبت تراکم ماشین‌های

۱۴ ≈ ۲ بنزینی مدرن ۱۰ ≈ ۲ بنزینی معمولی

اگر نسبت تراکم از حدی خاص بیشتر شود، مخلوط سوخت و هوا در ضربهٔ تراکم پیش از جرقه زدن شمع آتش می‌گیرند (شبیه سرنگ آتش زنه)



کارل دیزل مهندس آلمانی موتور درون سوز گازوئیلی (دیزلی) را اختراع کرد که ۲ تا ۲۳ هم زیاد می‌شود و تفاوت مهم در این است که به جای مخلوط هوا و سوخت، ابتدا فقط هوا به طوری در رو متراکم می‌شود و دما و فشار آن خیلی زیاد می‌شود آنگاه گازوئیل به داخل سیلندر پاشیده می‌شود (این موتورها شمع ندارند) چون دما خیلی زیاد است گازوئیل مشتعل می‌شود و تقریباً هم فشار پیستون را به پائین هُل می‌دهد و از آنجا به بعد درست مثل ماشین بنزینی؛ ضربهٔ قدرت

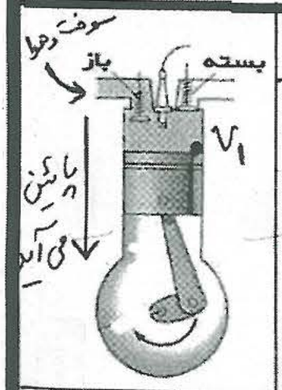
(البته بطور آرمانی)
(بدون آنالیز اتلافی)

خروج گاز از دریچه ↓
ضربهٔ خروج

دانلود از اپلیکیشن پادرس

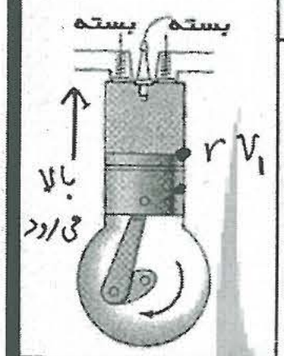
فرایندهای شش گانه بنزینی

۱ - ضربهٔ مکش



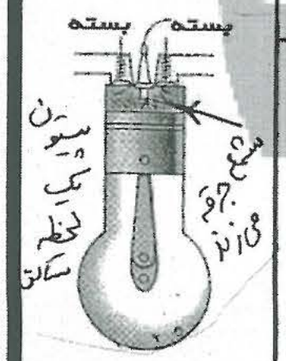
پیستون پائین می آید حجم مفید سیلندر از V_1 به $2V_1$ می رسد و مخلوط هوا و سوخت وارد می شود

۲ - ضربهٔ تراکم



پیستون بالا می آید و به سرعت، مخلوط را متراکم می کند (تراکم بی دررو) از $2V_1$ به V_1 افزایش دما و فشار مخلوط

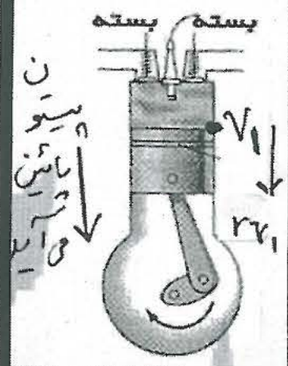
۳ - آتش گرفتن



وقتی پیستون به بالاترین نقطه رسید برای یک لحظه می ایستد و شمع جرقه می زند. در حجم ثابت V_1 فشار و دما بسیار زیاد می شود

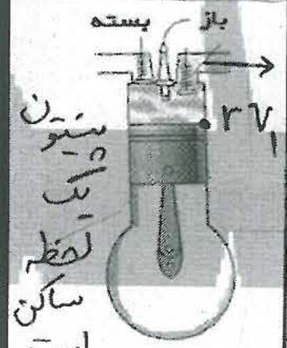
نکته: مخلوط از بیرون گرما نگرفت و مستقیماً جرقهٔ شمع آن را آتش زد (علت درون سوز بودن)

۴ - ضربهٔ قدرت



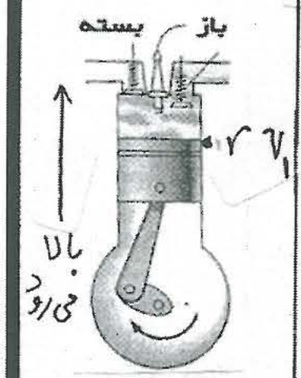
در اثر فشار زیاد، مخلوط که آتش گرفته، با سرعت زیاد منبسط می شود (انبساط بی دررو) در نتیجه دما و فشار ناگهان کاهش می یابد. پیستون که سریع پائین می آید کار انجام می دهد و کار از طریق میل لنگ به خودرو می رسد

۵ - تخلیه



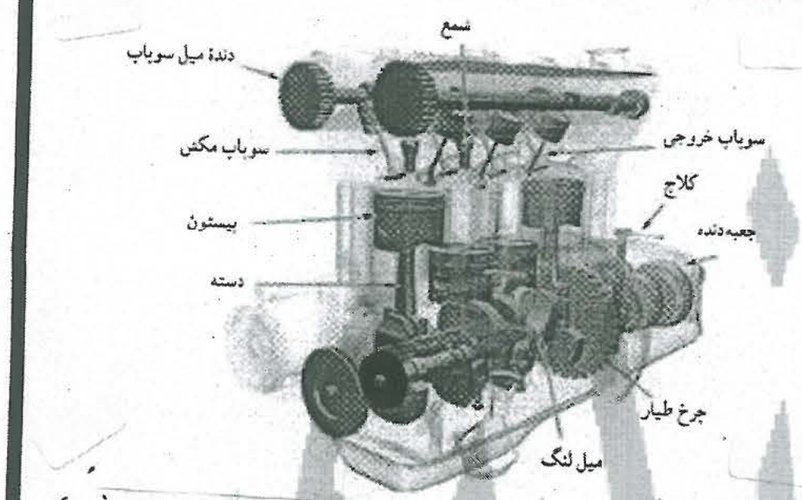
پیستون در پائین ترین وضعیت یک لحظه ساکن می ماند. قسمتی از محصولات احتراق فرصت خروج پیدا می کنند و فشار درون سیلندر به فشار جو خواهد رسید

۶ - ضربهٔ خروج گاز



پیستون بالا می رود و همهٔ محصولات احتراق که در مرحلهٔ تخلیه باقی مانده بود را از سیلندر خارج می کند (از $2V_1$ به V_1)

دانلود از اپلیکیشن پادرس



(طرح اجزای درونی یک ماشین بنزینی)

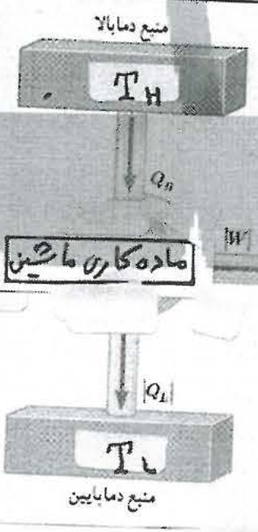
اگر ماشین بنزینی را به صورت آرمانی تحلیل کنیم به چرخه‌ای آرمانی به نام اتو خواهیم رسید.

گاز به جای مرحلهٔ آتش گرفتن، گرمای Q_H را از محیط (منبع با دمای بالا) دریافت می‌کند.

به جای مرحلهٔ تخلیه و خروج گاز، گرمای $|Q_L|$ را به محیط (منبع با دمای پایین) تحویل می‌دهد

در ادامه، گاز سرد شده در فشار ثابت جوابستوانه خارج می‌شود و در کل چرخه کار خالص $|W|$ به محیط تحویل می‌شود

نکته: وقتی ماشین‌ها یا پدیده‌ها را بررسی می‌کنیم و همه چیز را آرمانی فرض می‌کنیم و هیچ اتلافی را در نظر نمی‌گیریم، منظور این نیست که بازده صددرصد است، بلکه منظور این است که از اتلاف‌های موجود در مسیرها صرف‌نظر می‌شود



قانون اول ترمودینامیک (پایستگی انرژی)

$$\Delta U = W + Q$$

تغییر انرژی درونی در یک چرخه صفر است:

$$0 = Q_H + Q_L + W$$

$$Q_H = |W| + |Q_L|$$

گرمای داده شده از منبع دما بالا = کار گرفته شده از ماشین + گرمای گرفته شده از منبع دما پایین

Q_H + : گرمای گرفته شده از منبع دما بالا

Q_L − : گرمای داده شده به منبع دما پایین

W − : کار گرفته شده از ماشین

بازده ماشین گرمایی آرمانی

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

بازده ماشین گرمائی واقعی (آنچه واقعا در تکنولوژی وجود دارد) کمتر از آرمانی است.

	بازده واقعی	
درون سوز بنزینی	درون سوز دیزلی	برون سوز بخار
۲۰ تا ۳۰ درصد	۳۰ تا ۳۵ درصد	۳۰ تا ۴۰ درصد

یک ماشین آرمانی گرمائی که با توان $4\,kW$ و بازده ۲۵٪ کار می کند در مدت یک ربع ساعت چند ژول گرما به منبع دما پائین تحویل می دهد؟

$t = 15\,min = 15 \times 60 = 900\,s$

$P = \frac{W}{t} \rightarrow W = Pt = 4000 \times 900 = 36 \times 10^5\,J$

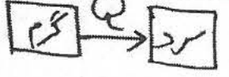
$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow \frac{25}{100} = \frac{36 \times 10^5}{Q_H} \rightarrow$

$Q_H = 144 \times 10^5\,J$

$Q_H = |W| + |Q_L| \rightarrow |Q_L| = 108 \times 10^5$

قانون دوم ترمودینامیک:

گرما همیشه خود به خود از مکانی با دمای بالاتر به مکانی با دمای پائین تر حرکت می کند.



قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمائی:

* ممکن نیست دستگاهی چرخه ای را طی کند و مقداری گرما از منبع با دمای بالا دریافت کند و تمام آن را به کار تبدیل کند (بیان کلوین - پلانک قانون دوم)
* ممکن نیست بازده یک ماشین گرمائی ۱۰۰٪ شود

$Q_L = 0 \rightarrow Q_H = |W|$ ممکن نیست

نکته: اگر ماشینی بتواند Q_H را به W تبدیل کند، قانون اول (پایستگی انرژی) نقض نمی شود ولی قانون دوم (بازده کمتر از یک) نقض می شود.

بازده نسبت دو کمیت هم یکا است پس یکای بازده یک می باشد اصطلاحا می گویند بازده یکا ندارد

$\text{بازده} = \frac{\text{ژول}}{\text{ژول}} = 1$

دانلود از اپلیکیشن پادرس

ماده‌ٔ کاری یعنی ماده‌ای که در ماشین به عنوان دستگاه در نظر گرفته می‌شود مثلاً در ماشین بخار، آب است

ماشین کارنو: ماشینی فرضی و آرمانی و سازگار با قانون دوم ترمودینامیک است که بیشترین بازده ممکن (max = بیشینه) را دارد و چرخه‌ٔ آن از ماده‌ٔ کاری ماشین مستقل است

$\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L \text{ (دمای منبع پایین (کلوین)}}{T_H \text{ (دمای منبع بالا (کلوین)}}$

(این بازده فقط به T_H و T_L بستگی دارد)

بازده یک ماشین گرمایی که بین دو منبع T_H و T_L کار می‌کند هرگز نمی‌تواند از بازده ماشین کارنوئی که بین همان دو دما کار می‌کند بیشتر شود ($\eta \leqslant \eta_{\text{کارنو}}$)

در یک نیروگاه برق $T_L=300$ و $T_H=800$ بازده کارنو:
$\eta = 1 - \frac{300}{800} = 62/5\ \%$

(بازده واقعی توربین‌های بخار در حدود ۴۰٪)

در یک ماشین $T_L=300^K$ و $T_H=600^K$ است در مورد محدودهٔ Q_L و Q_H اگر $W=5000$ J باشد چه می‌توان گفت؟

$\eta = 1 - \frac{300}{600} = \frac{300}{600} = 50\ \%$

$W=5000$ اگر $Q_H=10000$ $\Big\} \rightarrow Q_L \geqslant 5000$

$W=5000$ اگر $Q_L=5000$ $\Big\} \rightarrow Q_H \geqslant 10000$

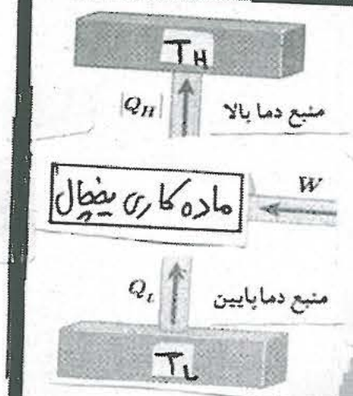
کارنو (ایده‌آل) $W=5000$, $Q_H=10000 \rightarrow Q_L=5000$

یک ماشین کارنو بین دو نقطه ثابت دما سنج سانتی‌گراد کار می‌کند بازده چند است؟

$\eta = 1 - \frac{0+273}{100+273} = 1 - \frac{273}{373} = \frac{100}{373}$

(حدأکثر ۲۶/۸۰ درصد)

دانلود از اپلیکیشن پادرس



یخچال دستگاهی است که با دریافت کار، گرما را از منبعی با دمای پائین می گیرد و به منبعی با دمای بالا می دهد

$\Delta U = W + Q \longrightarrow 0 = Q_H + Q_L + W$
قانون اول

$|Q_H| = Q_L + W$
(یخچال هم مانند ماشین حرارتی می کند)

قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی:
(بیان کلاسیوس قانون دوم ترمودینامیک)
ممکن نیست گرما بطور خود به خود از جسم با دمای پائین به جسم با دمای بالا منتقل شود

توجه: برای انتقال گرما از جسم سرد به جسم گرم باید کار انجام داد

قانون دوم ماشینی و قانون دوم یخچال در واقع دو بیان از یک واقعیت هستند.

اگر قانون دوم به بیان یخچالی نقض شود حتماً قانون دوم به بیان ماشینی هم نقض شده است و برعکس

یخچال وارونه ماشین گرمائی کار می کند.

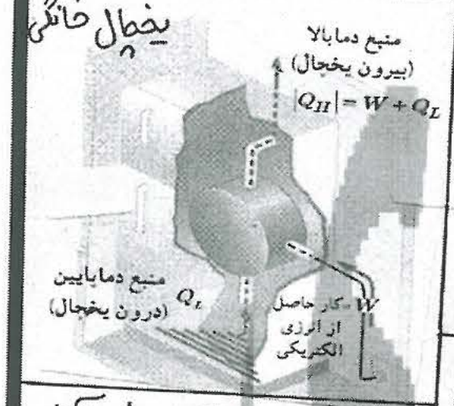
دستگاهی می توان ساخت که همهٔ گرما را به کار تبدیل کند ← غلط (نقض قانون دوم ماشینی)

دستگاهی می توان ساخت که همهٔ کار دریافتی را به گرما تبدیل کند ← درست (ماشینی که بازده صفر درصد داشته باشد و یخچالی که ضریش باز باشد)

اگر در یخچال باز بماند دمای آشپزخانه زیاد می شود زیرا $|Q_H|$ همواره بیش از Q_L است (آشپزخانه بیش از گرمائی که اتاق یخچال از آن می گیرد، از موتور یخچال دریافت می کند)

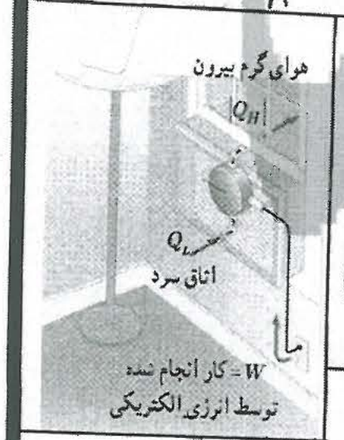
دانلود از اپلیکیشن پادرس

یخچال های خانگی ـ کولرهای گازی و تلمبه های گرمائی مثال هائی از یخچال هستند



در یخچال های خانگی انرژی الکتریکی سبب انجام کار W توسط متراکم ساز (کمپرسور) می شود

از هوا و مواد داخل یخچال گرمای Q_L گرفته می شود و گرمای Q_H تحویل هوای آزاد



کولر گازی شبیه یخچال خانگی است : W (انرژی الکتریکی)
Q_L (گرما از هوای اتاق) (دما پایین)
Q_H (گرما به هوای خارج) (دما بالا)
اتاق

$$|Q_H| = W + Q_L$$

کولر گازی

ضریب عملکرد یخچال $K = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{|Q_H| - Q_L}$

(البته بطور آرمانی و ایستاوار و بدون اتلاف)

هرچه K بیشتر شود استفاده از آن یخچال به صرفه تر است.

همان طور که برای بازده یک ماشین گرمائی حد بالائی وجود دارد $\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

برای ضریب عملکرد یخچال هم حد بالائی وجود دارد

ضریب عملکرد یخچال کارنو $K_{\text{کارنو}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$

در یک کولرگازی کارنو برای بالا بردن ضریب عملکرد بهتر است در منطقه معتدل باشیم یا گرم؟

اگر $T_H - T_L$ کم شود K زیاد می شود پس در منطقه معتدل که T_H کمتر است K بیشتر است

دانلود از اپلیکیشن پادرس