



کد درس: 3.00 مقطع آموزشی: -	 عنوان درس: ترمودینامیک مواد عنوان بخش:	
استاد مدرس دانشگاه MIT W.C.Carter استاد مترجم دانشگاه شهید بهشتی: مازیار یغمایی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

مرور: نکات مهم

در اینجا فهرست مختصری از مطالبی که در امتحان پایانی باید با آنها آشنا باشید ارائه شده اند ...

- تابع حالت: مستقل از مسیر می باشند (انرژی، آنترپی، آنتالپی، گیس، هلمولتز):

$$\Delta U = \int \bar{d}q + \int \bar{d}w \quad (1)$$

U یک دیفرانسیل کامل است، q و w معمولاً نیستند، مگر اینکه یکی از آنها صفر باشد.

- متغیرهای شدتی: مستقل از اندازه
- متغیرهای مقداری: وابسته به اندازه
- باید قادر به شناسایی انواع سیستم ها باشید: منزوی، بسته، باز، بی دررو
- قانون صفرم: چگونگی کارکرد یک دماسنج را معرفی می کند: دماسنج سیستمی است که خصوصیات آن بر حسب تابعی از دما در یک مسیر قابل پیش بینی تغییر می کنند. که اگر سیستم دیگری در تعادل گرمایی با آن باشد، دمای آن سیستم را می دانیم.
- انواع فرایندها: بی در رو، هم فشار، هم حجم، هم دما
- چندین راه برای انجام دادن کار بر روی سیستم وجود دارد: تراکم، قطبش پذیری، مغناطش، غیره
- قانون اول:





$$\Delta U_{isolated\ system} = 0.$$

- از آنجایی که انرژی یک کمیت پایسته است، همچنین یک دیفرانسیل کامل می باشد و
- گاز ایده آل:

$$PV = nRT$$

انرژی درونی یک گاز ایده ال برابر است با:

$$\Delta \bar{U} = \int_0^T \bar{C}_V dT.$$

کد درس: 3.00 مقطع آموزشی: -	 عنوان درس: ترمودینامیک مواد عنوان بخش:	  
استاد مدرس دانشگاه MIT W.C.Carter : استاد مترجم دانشگاه شهید بهشتی: مازیار یغمایی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

ملاحظه می کنید بدلیل این که انرژی درونی یک تابع حالت است، این عبارت معتبر است، و به نوع فرایند بستگی ندارد
 آنتالپی یک گاز ایده ال:

$$\Delta \bar{H} = \int_0^T \bar{C}_P dT$$

آنتروپی یک گاز ایده ال:

$$d\bar{S} = \frac{\bar{C}_V dT}{T} + \frac{R}{V} d\bar{V}$$

برای یک گاز ایده ال،

$$\bar{C}_P - \bar{C}_V = R$$

• چگونه تغییر آنتروپی یک سیستم برگشت ناپذیر را محاسبه کنیم: با استفاده از ترکیبی از حالت های برگشت پذیر که به همان حالت نهایی منجر شوند.

• توابع حالت مفید:

$$- H \equiv U + PV$$

$$- F \equiv U - TS$$

$$- G \equiv U + PV - TS$$





- می توانید هر تابع حالتی را که فکر می کنید ایجاد کنید. برای مثال یک ماده ی قطبش پذیر را بررسی کنید، کار الکتریکی را چگونه کم می کنید؟ آیا مانند یک آنتالپی الکتریکی عمل می کند؟

قانون دوم: تابع حالتی به نام آنتروپی برای هر سیستمی وجود دارد، که مجموع این تابع حالت برای سیستم و محیط همیشه باید بزرگتر یا مساوی صفر باشد:

$$\Delta S_{Univ.} \geq 0$$

• تبدیل فاز: همیشه تغییر آنتالپی و آنتروپی وابسته به تبدیل فاز وجود دارد:

$$\Delta G_{trans.} = \Delta H_{trans.} - T \Delta S_{trans.}$$

کد درس: 3.00 مقطع آموزشی: -	 عنوان درس: ترمودینامیک مواد عنوان بخش:	  
استاد مدرس دانشگاه MIT W.C.Carter استاد مترجم دانشگاه شهید بهشتی: مازیار یغمایی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

هنگامی که دو فاز در تعادل هستند، تغییرات کل انرژی آزاد گیبس برابر صفر است. در این نقطه دمای تبدیل توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$T_{trans.} = \frac{\Delta H_{trans.}}{\Delta S_{trans.}}$$

• شرایط تعادل: دو راه برای تعریف شرایط تعادل برای یک فرایند وجود دارد: همچنین تغییر کل در آنتروپی جهان را می توانیم محاسبه کنیم و مطمئن شویم که برابر صفر است: یا می توانیم تابع حالتی مانند انرژی گیبس برای تعریف درستی شرایط تعادل موضعی را به کار ببریم:

$$- \Delta S_{Univ.} = 0$$

$$- \Delta G_{Sys.} = 0$$

قانون سوم:

$$S_{pure\ system, 0\ K} = 0.$$

مهم: آنتروپی تنها اندازه گیری "بی نظمی" سیستم نیست.

اصل بیشینه و کمینه: تعریف شرایطی برای تعادل پایدار:

$$(\delta U)_{\delta S, \delta V=0} \geq 0, (\delta G)_{\delta P, \delta P=0} \geq 0, (\delta S)_{\delta U, \delta V=0} \geq 0.$$

منظور این است که انرژی های درونی و گیبس باید نسبت به هر تغییر ممکن در متغیرهای

مقداری مینیمم باشند. آنتروپی باید ماکسیمم باشد

• پتانسیل شیمیایی:

$$\mu_i = \frac{\partial G}{\partial n_i}$$



شرایط تعادل: برای هر سیستم بسته ای که در آن هیچ محدودیتی نسبت به انتقال جرم بین فازها

وجود ندارد، پتانسیل شیمیایی گونه های منفرد باید در همه ی فازها مساوی باشد. عدم تساوی در

پتانسیل شیمیایی نیروی محرکی برای انتقال جرم تشکیل می دهد.

• مخلوط گاز ایده ال: هنگامی که مخلوط یک گاز ایده ال را در نظر می گیریم، پتانسیل

شیمیایی همه ی گونه های منفرد را می توان بدین طریق تعیین کرد:

کد درس: 3.00 مقطع آموزشی: -	 عنوان درس: ترمودینامیک مواد	 دوره های آزاد رایانه ای SBU-MIT OCW Joint Project
استاد مدرس دانشگاه MIT W.C.Carter : استاد مترجم دانشگاه شهید بهشتی: مازیار یغمایی	عنوان بخش:	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

$$\mu_i = \mu_{i,P_0}^0(T) + RT \ln\left(\frac{P_{Tot.}}{P_0}\right) + RT \ln(X_i)$$

- دو عبارت اول متناظر با پتانسیل شیمیایی همه ی اجزای خالص می باشند: عبارت اول، انرژی گیس گونه ها در فشار استاندارد ($P=P_0$) می باشد، در حالی که عبارت دوم مشارکت فشار در انرژی گیس می باشد. معنی آن این است با افزایش فشار، پتانسیل شیمیایی گاز خالص باید افزایش یابد.

- عبارت آخر متناظر با آنتروپی مخلوط شدن است.

عبارت بالا را می توان ساده تر کرد:

$$\mu_i = \mu_{i,P_0}^0(T) + RT \ln\left(\frac{P_i}{P_0}\right)$$

که P_i فشار جزئی گونه ی i در مخلوط گاز است:

این رابطه از آنجایی می آید که می توانیم فشار جزئی یک گاز ایده آل را به تعداد مول های همان گاز ارتباط دهیم:

به یاد آورید که یک مخلوط گاز ایده آل مخلوطی از ذرات غیر برهم کش کننده است.

• برای یک واکنش، تغییراتی متناظر در انرژی آزاد گیس داریم:





$$\Delta G_{rxn} = cG_C^0 + dG_D^0 - aG_A^0 - bG_B^0$$

ثابت تعادل این واکنش بدین طریق بیان می شود:

$$K_{eq} = \frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b} = \exp\left(\frac{-\Delta G_{rxn}}{RT}\right)$$

• ژاکوبین: توابع حالتی نظیر U, G, H, F دیفرانسیل کامل هستند. بنابراین

$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_y + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_x, \text{ and } \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x}.$$

کد درس: 3.00 مقطع آموزشی: -	 عنوان درس: ترمودینامیک مواد	
استاد مدرس دانشگاه MIT W.C.Carter : استاد مترجم دانشگاه شهید بهشتی: مازیار یغمایی	عنوان بخش:	معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

مفهوم این روابط این است که مرتبه ای که در آن مشتق دوم یک تابع دیفرانسیل کامل را می گیریم مستقل از مرتبه است.

با به کار بردن این قاعده برای عبارت انرژی گیس، خواهیم داشت:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_{T, N_i} = \left(-\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{P, N_i}$$

ژاکوبین یک ابزار ریاضی مفید برای ارتباط بین روابط ماکسول است، بنابراین می توانیم رابطه ای بین خصوصیات مواد پیدا کنیم، مانند C_p و C_v و غیره.

$$\frac{\partial(u, v)}{\partial(x, y)} = \det \begin{pmatrix} \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_y & \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_x \\ \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y & \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x \end{pmatrix}$$

• معادله ی گیس - دوم: شاید، دومین معادله ی مهم این دوره. که بیان می کند هنگامی که یک فاز در تعادل است، متغیرهای شدتی چگونه باید تغییر کنند.
چگونه این را اثبات کنیم؟

1. با نوشتن معادله ی دیفرانسیل انرژی گیس شروع می کنیم، با تعریف

$$\bar{G} = \sum \mu_i n_i: d\bar{G} = \sum \mu_i dn_i + \sum n_i d\mu_i.$$

2. سپس تعریف dG از مشتق را با استفاده از قانون اول را می نویسیم.





$$dG = VdP - SdT + \sum \mu_i dn_i$$

3. هر دو عبارت را از همدیگر کم می کنیم.

4. در نهایت، $0 = SdT - VdP + \sum n_i d\mu_i$ بدست می آید. مفهوم این رابطه این است که برای

مثال، اگر T افزایش یابد، آنگاه همه ی متغیرهای شدتی باقیمانده باید مطابق آن تغییر کنند تا تساوی برقرار باشد.

• مثالی از نزول نقطه ی ذوب

کد درس: 3.00 مقطع آموزشی: -	 عنوان درس: ترمودینامیک مواد عنوان بخش:	  
استاد مدرس دانشگاه MIT W.C.Carter : استاد مترجم دانشگاه شهید بهشتی: مازیار یغمایی		معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT

• قاعده ی فاز گیبس: خیلی خیلی مهم. $D + f = C + 2$ واضح است که قاعده ی فاز گیبس بیان می کند که هنگامی که تعداد گونه ها و فازها ثابت است چه تعداد درجات آزادی دارید. برای مثال نمودار فاز تک جزئی $T - P$ را در نظر بگیرید.

• نمودارهای فاز دوتایی

- چگونگی بدست آوردن پتانسیل شیمیایی گونه ها را باید بدانید، با بدست آوردن شیب منحنی متناظر با پتانسیل شیمیایی کل فاز.

- باید مفهوم ساختار خط مماس را درک کنید.

- با استفاده از منحنی گیبس و ساختار خط مماس، باید قادر باشید تا غلظت های تعادلی متناظر با مرز فاز را بدست آورید.

- درک رفتار حدی منحنی انرژی گیبس و پتانسیل شیمیایی


$$f^{\alpha} = \frac{X_B^{\beta} - X}{X_B^{\beta} - X_A^{\alpha}}$$

- دانستن چگونگی به کار بردن قاعده اهرم:

• نمودارهای فاز

- کاربرد قاعده ی فاز

- چگونگی به کار بردن قاعده ی اهرم

<p>کد درس: 3.00 مقطع آموزشی: -</p>	<p>بیشتر عنوان درس: ترمودینامیک مواد عنوان بخش:</p>	
<p>استاد مدرس دانشگاه MIT W.C.Carter : استاد مترجم دانشگاه شهید بهشتی: مازیار یغمایی</p>		<p>معاونت فناوری اطلاعات و ارتباطات پروژه مشترک دانشگاه شهید بهشتی و دانشگاه MIT</p>

- درک مفهوم خط - گره

اگر همه ی مفاهیم را درک کنید، در مرحله ی خوبی قرار دارید و قادر به گرفتن نمره ی بالا در امتحان پایانی می باشید.:-)