فهرست

- فصل 1 (دما)
  - هدف ترمودینامیک
  - دیدگاههای میکروسکوپی و ماکروسکوپی
  - تعادل گرمایی
  - قانون صفرم ترمودینامیک
  - مفهوم دما
  - مقیاس دماسنجی
  - مثالها
- فصل 2 (سیستمهای ترمودینامیکی ساده)
  - تعادل ترمودینامیکی
  - نمودار PV مواد خالص
  - حالت ماده
  - نمودار P مواد خالص
  - چند سیستم ترمودینامیکی ساده
  - مختصاتهای فزونوری و نافزونوری

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

فهرست

- فصل 3 (کار)
  - کار مکانیکی
  - فرایند ایستاوار
  - کار سیستم هیدرواستاتیکی
  - محاسبه کار چند سیستم ترمودینامیکی
  - مثالها
- فصل 4 (گرما و قانون اول ترمودینامیک)
  - گرما
  - کار بی دررو
  - قانون اول ترمودینامیک
  - فرمولبندی قانون اول ترمودینامیک
  - انتقال گرما و ظرفیت گرمایی
  - انتقال گرما: رسانش
  - انتقال گرما: همرفت
  - انتقال گرما: تابش
  - مثالها

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

فهرست

- فصل 5 (گازهای کامل)
  - معادله حالت یک گاز
  - انرژی داخلی یک گاز
  - گاز کامل
  - فرایندهای ایستاورا بی دررو
  - روش روخ هارت برای اندازه گیری ضریب اتمیسیته گازها
  - سرعت موج طولی
  - دماسنج صوتی
  - نظریه جنبشی گازها (دیدگاه میکروسکوپی)
  - معادله حالت یک گاز کامل
- فصل 6 (ماشین، یخچال و قانون دوم ترمودینامیک)
  - تبدیل کار به گرما و بالعکس
  - ماشین استرلینگ
  - ماشین بخار
  - ماشینهای درونسوز
  - قانون دوم ترمودینامیک به بیان کلوین پلانک
  - یخچال
  - هم ارزی بیان کلوین پلانک با بیان کلاوسیوس

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

فهرست

- فصل 7 (برگشت پذیری و مقیاس دمای کلوین)
  - برگشت پذیری و برگشت ناپذیری
  - برگشت ناپذیری مکانیکی خارجی و داخلی
  - برگشت ناپذیری گرمایی خارجی و داخلی
  - برگشت ناپذیری شیمیایی
  - شرایط برگشت پذیری
  - وجود سطوح بی درروی برگشت پذیر
  - مقیاس دمای کلوین و تساوی آن با دمای گاز کامل
- فصل 8 (آنتروپی)
  - مفهوم آنتروپی
  - آنتروپی یک گاز کامل
  - نمودار TS
  - چرخه کارنو
  - آنتروپی و برگشت پذیری و برگشت ناپذیری
  - اصل افزایش آنتروپی
  - آنتروپی و بی نظمی
  - جریان آنتروپی و تولید آنتروپی

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

فهرست

- فصل 9 (مواد خالص)
  - آنتالپی
  - توابع هلمولتز و گیبس
  - روابط ماکسول
  - معادلات TS
  - معادلات انرژی
  - معادلات ظرفیت گرمایی
  - انبساط گرمایی
  - ضریب تراکم
- فصل 10 (مکانیک آماری (فصل 11 کتاب مرجع))
  - اصول اساسی
  - توزیع تعادلی
  - تابع پارش یا افراز
  - تقسیم مساوی انرژی
  - توزیع تندیهای مولکولی
  - تعبیر آماری کار و گرما
  - بی نظمی، آنتروپی و اطلاعات

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

فهرست

بخش اول: مفاهيم اساسي ترموديناميك فصول (1-9)

بخش دوم: كاربرد مفاهيم اساسي مكانيك آماري(فصل 11)

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

فصل اول

دما و مفهوم آن

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

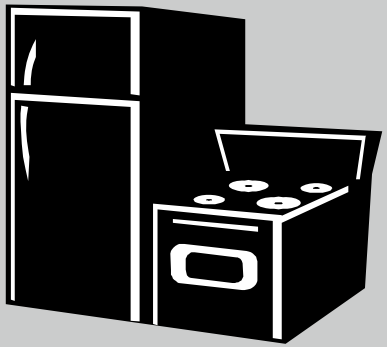
فهرست

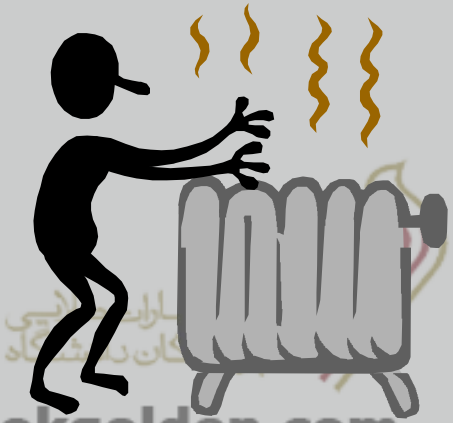
- فصل 1 (دما)
  - هدف ترمودینامیک
  - دیدگاههای میکروسکوپی و ماکروسکوپی
  - تعادل گرمایی
  - قانون صفرم ترمودینامیک
  - مفهوم دما
  - مقیاس دماسنجی
  - مثالها

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

ضرورت مطالعه ترمودینامیك

زندگی روزمره وابسته به انتقال انرژی (از هر نوعی) می باشد



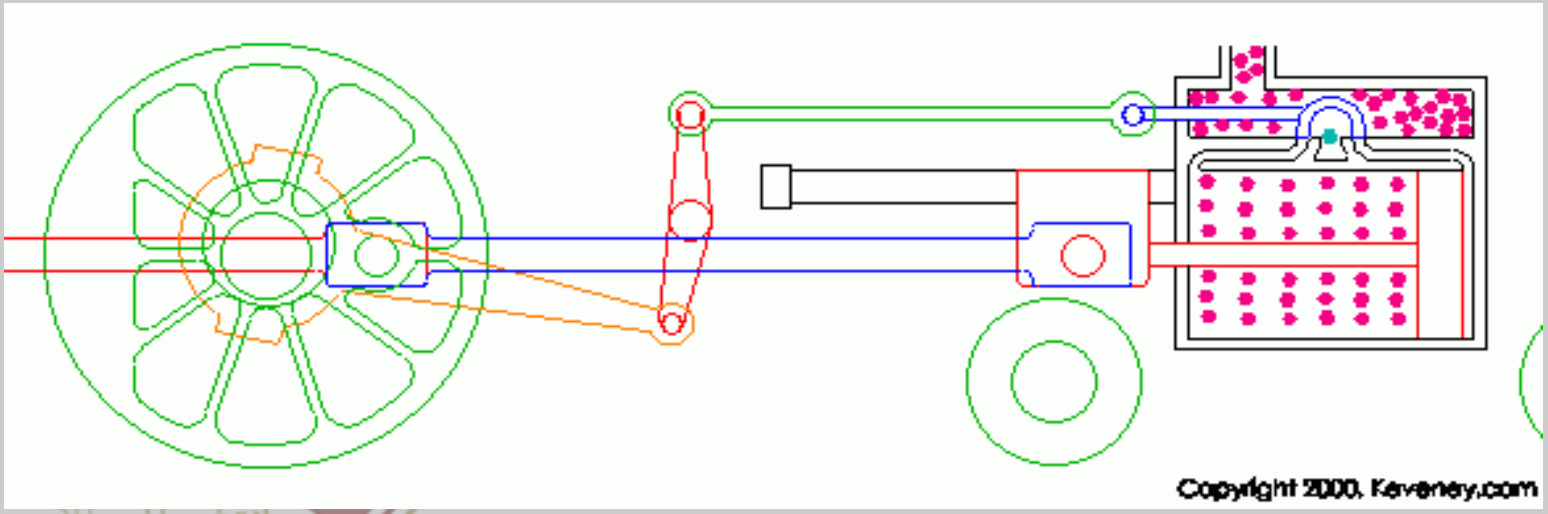


راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
www.bookgolden.com

علي‌اصغر شكري
استادیار گروه فیزیک
دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

ضرورت مطالعه ترموديناميك

نحوه کار کردن پمپها، موتورها و یخچالها بر اساس قوانین ترمودینامیکی استوار است



راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

علي‌اصغر شكري استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

هدف ترموديناميك

توصيف حالت داخل سيستم ترموديناميكي

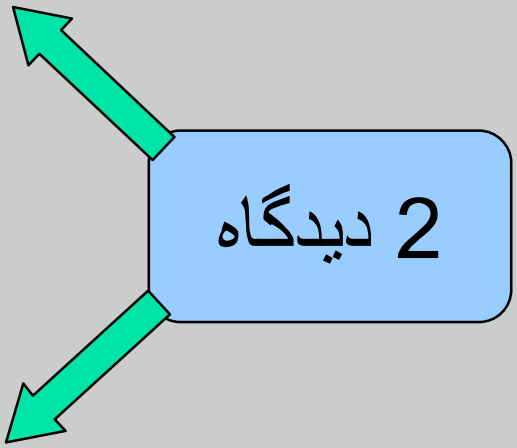
مختصات ترموديناميكي

انرژي داخلي معادله حالت ...

ترمودینامیک علم مربوط به روابط داخلی بین انرژی *گرمایی* و انرژی *مکانیکی*

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
www.bookgolden.com

فصل اول: دما



ماکروسکوپي:

- در نظر نگرفتن ساختار ماده
- کم بودن تعداد آنها
- درك كردن مستقيم با حواس
- اندازه‌گيري مستقيم

ترموديناميك

ميكروسكوپي:

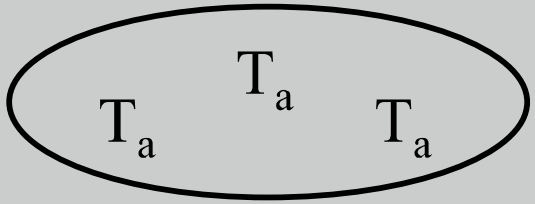
- در نظر گرفتن ساختار ماده
- زياد بودن تعداد آنها
- درك نكردن مستقيم با حواس
- عدم امكان اندازه‌گيري مستقيم

مكانيك آماري

www.bookgolden.com

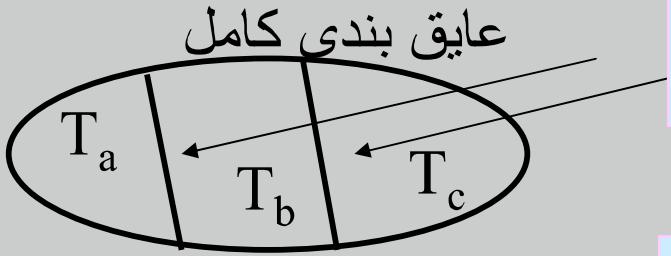
تعادل گرمایی

یک سیستم وقتی در تعادل گرمایی است که:



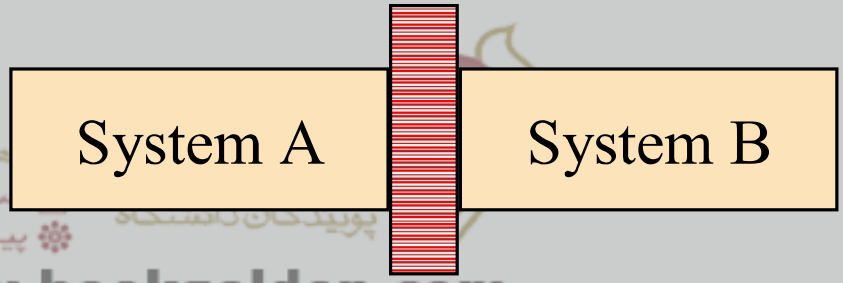
- دمای سیستم و محیط اطرافش یکنواخت باشد.

یا



- قسمتی از هر سیستم که دمای یکنواختی دارند به وسیله مرز با مقاومت حرارتی نامحدود عایق بندی شود.

تعادل گرمایی = بدون برهمکنش حرارتی



www.bookgolden.com

تعادل گرمایی

تعادل گرمایی:
حالتی است که دو سیستم (یا بیشتر) که با مقادیر محدود مختصاتشان مشخص شده اند، پس از اینکه توسط دیواره های گرمابر با یکدیگر در تماس قرار گرفتند، به آن می رسند.

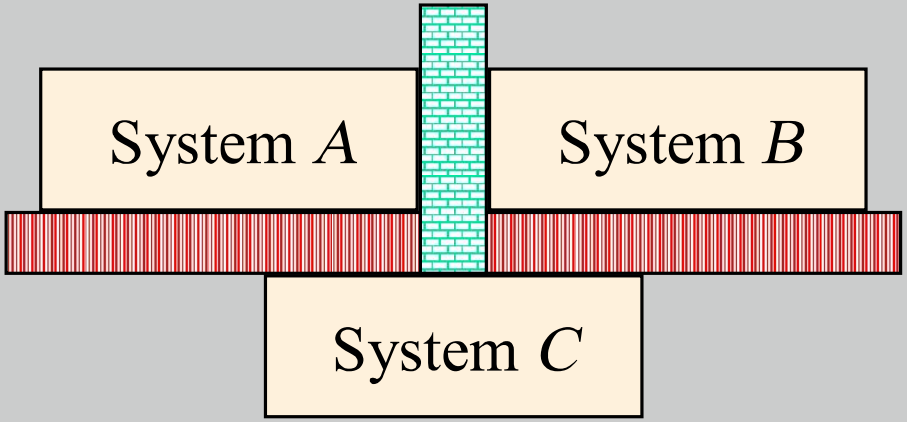
وقتی یک سیستم در حالت تعادل است که هیچ خاصیت ماکروسکوپی]ن وابسته به زمان نباشد

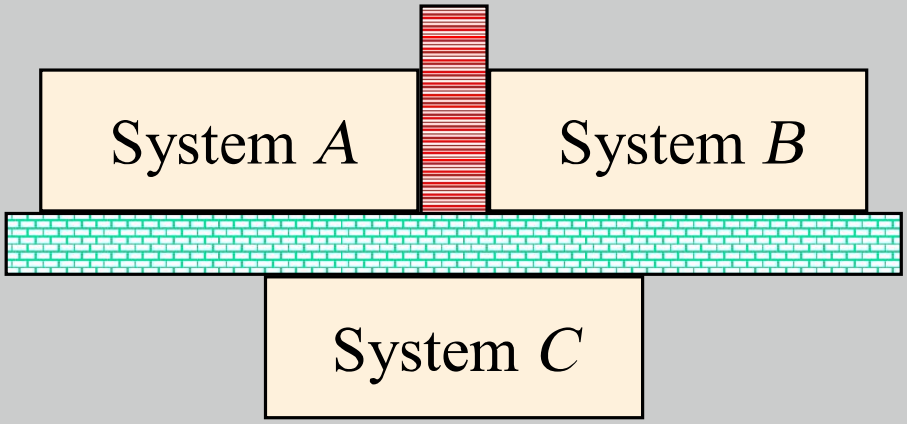
اگر برهمکنش بین سیستم و محیط اش فقط بوسیله کار انرژی مبادله شود (Q=0)
فرایند آدیاباتیک یا بی دررو می نامند

www.bookgolden.com

تعادل گرمایی و قانون صفرم ترمودینامیکی

قانون صفرم ترمودینامیک





راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

تعادل گرمایی و قانون صفرم ترمودینامیکی

قانون صفرم ترمودینامیکی

سه سیستم A، B و C را در نظر بگیرید:
اگر سیستمهای A و C
و همچنین
سیستمهای C و B در تعادل ترمودینامیکی با هم باشند

سپس ... سیستمهای C و B در تعادل ترمودینامیکی با هم هستند

کاربرد قانون صفرم ترمودینامیکی:

- ساختن دماسنجها
- توجیه اثرات فیزیکی دیگر مانند تغییرات در حجم، تغییر در مقاومت الکتریکی

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
www.bookgolden.com

مفهوم دما

- اندازه ای از انرژی جنبشی ماده
- درجه ای از گرمی و سردی ماده
- با دماسنج اندازه گرفته می شود

دمای یک سیستم ویژگی است که تعیین می کند آیا یک سیستم با سیستمهای دیگر در تعادل گرمایی قرار دارد یا خیر.

$$\theta(X) = aX \quad (Y = cte)$$

$$\theta(X) = 273.16(^{o}K)\frac{X}{X_{TP}}$$

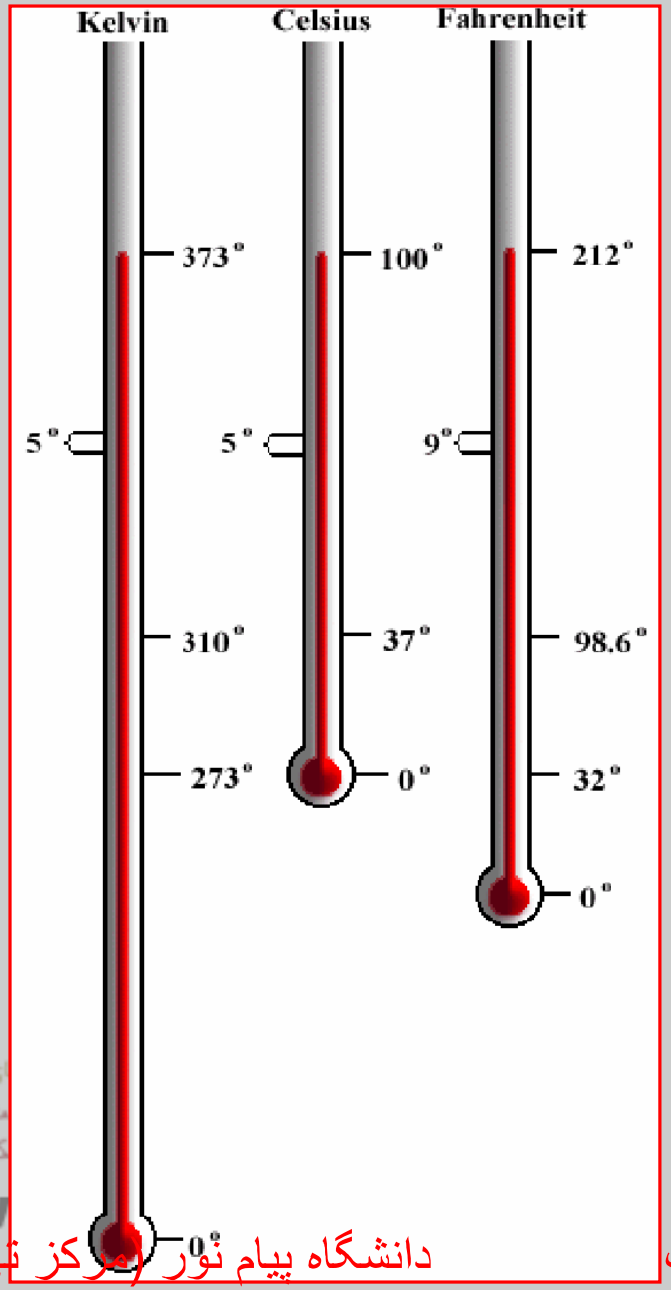
راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

اندازه گیری دما

خواص دماسنجی	دماسنج
فشار	گاز(حجم ثابت)
مقاومت الکتریکی	مقاومت الکتریکی(کشش ثابت)
نیروی محرکه الکتریکی گرمایی	ترموکوپل (کشش ثابت)
فشار	بخار هلیوم
خودگیری مغناطیسی	نمک پارامغناطیسی
گسیل تابنده	تابش جسم سیاه

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

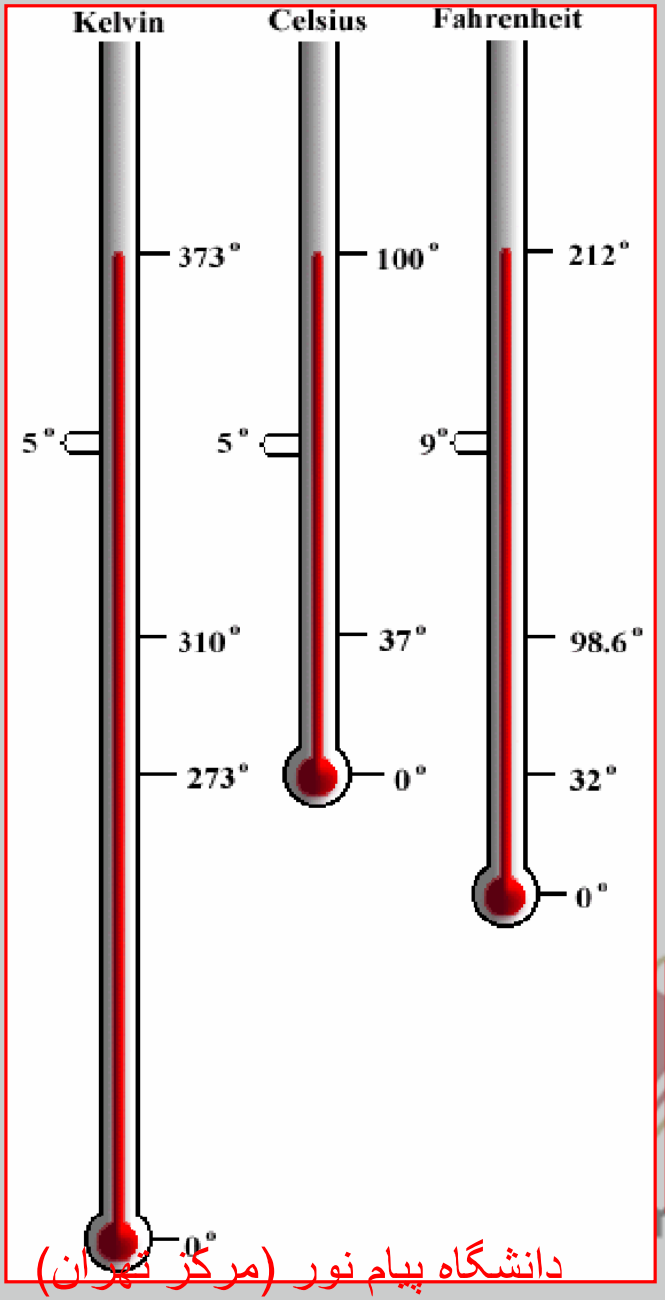
مقیاس دماسنجها



- دماسنج سلسیوس (C)
- دماسنج فارنهایت (F)
- دماسنج کلوین (K)
- دماسنج رانکین (R)

ای‌طلایی
ت‌طلایی
ک‌طلایی
ww

مقیاس دماسنجها



تبدیلات:

$$t(^\circ C) = \theta(K) - 273.15$$

$$t(F) = \frac{9}{5}t(^\circ C) + 32$$

$$t(R) = t(F) + 459.67$$

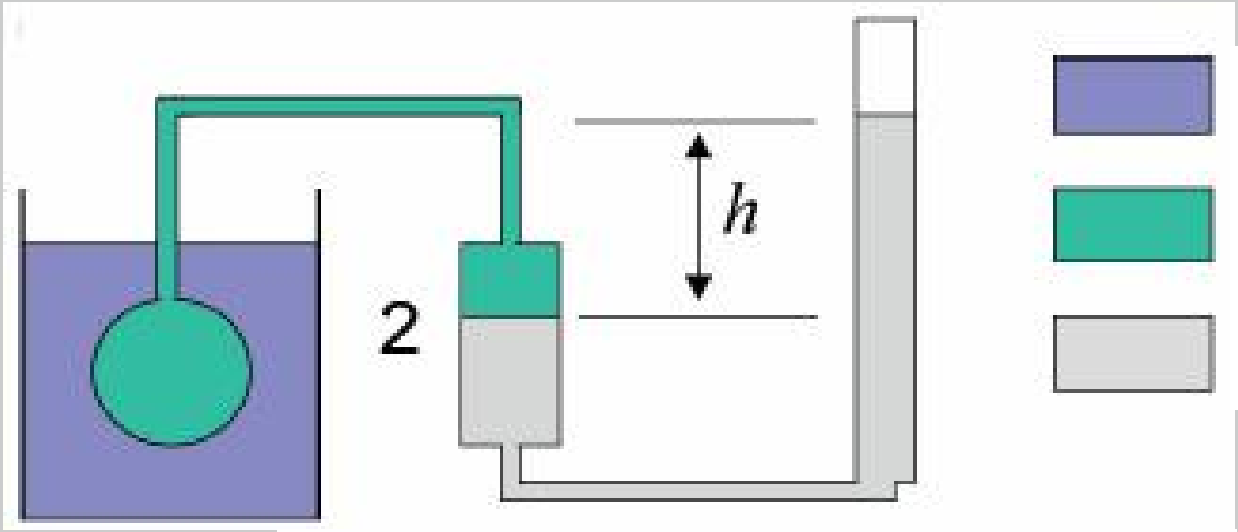
در دمای صفر مطلق $\theta_K = T = 0\,K$

اتمها و مولکولها انرژی جنبشی ندارند و ماده در حالت جامد است.

در دماسنج فارنهایت و سلسیوس مبتنی بر نقاط جوش و انجماد آب هستند.

دماسنج کلوین و رانکین مبتنی بر نقطه صفر مطلق هستند.

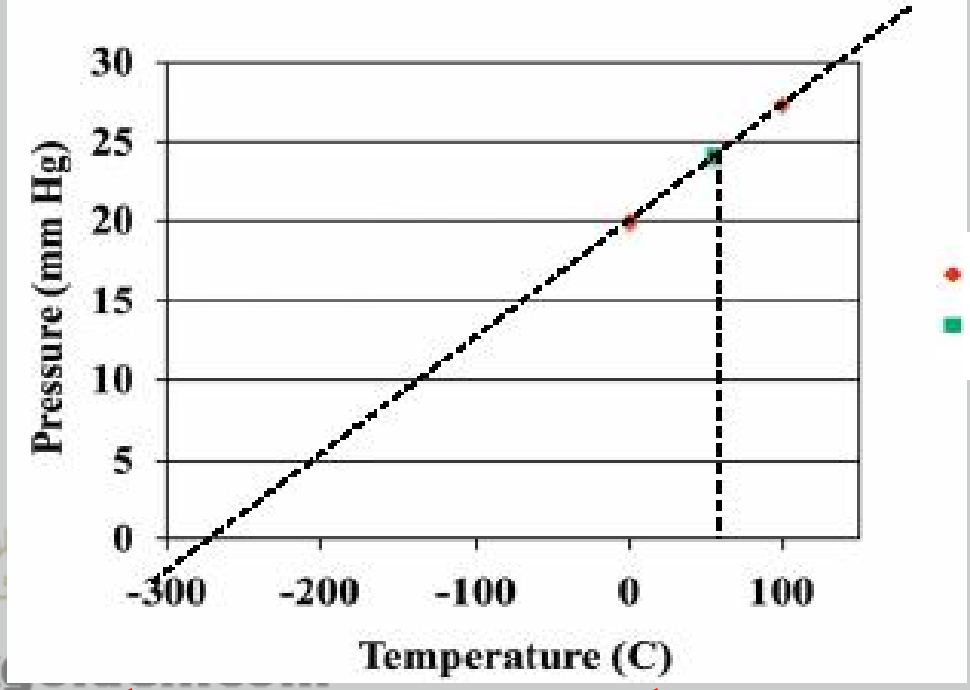
دماسنج گازی ساده شده با حجم ثابت



دما اندازه گیری شده

گاز

مخزن جیوه



دمای معلوم

دمای نامعلوم

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
www.book

دانشگاه پیام نور (مرکز تهران) استادیار گروه فیزیک علی‌اصغر شکری

دمای گاز کامل

نتایج آزمایشها بر روی تعدادی از دماسنجهای گازی مختلف با حجم ثابت نشان می دهد که گرچه دمای مربوطه در فشار نقطه سه گانه آب به جنس گاز بستگی دارد، ولی وقتی مقدار این فشار کاهش داده شود تا به صفر برسد، تمام گازها یک دما را نشان می دهند. یعنی:

$$\theta = 273.16(^{\circ}K)\lim_{P_{TP}\to 0}\left(\frac{P}{P_{TP}}\right)$$

دمای یک گاز کامل

www.bookgolden.com

مثال 1

دو سيستم نمك پارامغناطيسي A و B ويك سيستم گازي C در تعادل گرمايي اند. تعادل A و B و تعادل B و C به صورت زير مي‌باشند كه در آن n ، R ، C_c ، C'_c و ✈ مقادير ثابت و معيني هستند. كدام عبارت متناسب با دماي دستگاه مورد نظر نيست.

تعادل A و B : ⟶ $4\pi nRC_cH - MPV = 0$

تعادل B و C : ⟶ $nR\Theta M' + 4\pi nRC'_cH' - M'PV = 0$

(الف) $\frac{PV}{nR}$

(ب) $\frac{4\pi C_cH}{M}$

(ج) $\frac{4\pi C'_cH'}{M'}$

(د) $\Theta + \frac{4\pi C'_cH'}{M'}$

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

حل مثال 1

دو سيستم نمك پارامغناطيسي A و B ويك سيستم گازي C در تعادل گرمايي اند. تعادل A و B و تعادل B و C به صورت زير مي‌باشند كه در آن n ، R ، C_c ، C'_c و ✈ مقادير ثابت و معيني هستند. كدام عبارت متناسب با دماي دستگاه مورد نظر نيست.

تعادل A و B : $4\pi nRC_cH - MPV = 0$

تعادل B و C : $nR\Theta M' + 4\pi nRC'_cH' - M'PV = 0$

$4\pi C_c \frac{H}{M} = \frac{PV}{nR}$

$\Theta + 4\pi C'_c \frac{H'}{M'} = \frac{PV}{nR}$

$\frac{PV}{nR} = 4\pi C'_c \frac{H}{M} = \Theta + 4\pi C'_c \frac{H'}{M'} = \theta$

(الف) $\frac{PV}{nR}$

(ب) $\frac{4\pi C_c H}{M}$

(ج) $\frac{4\pi C'_c H'}{M'}$

(د) $\Theta + \frac{4\pi C'_c H'}{M'}$

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
www.bookgolden.com

علي‌اصغر شكري — استاديار گروه فيزيک — دانشگاه پيام نور (مركز تهران)

مثال 2

سه سيستم گازي A، B و C در تعادل گرمايي‌اند. اگر تعادل گرمايي بين سيستمها به صورت زير داده شوند، كدام عبارت متناسب با دماي دستگاه مورد نظر نيست.

تعادل A و C : $PV - nbP - P''V'' = 0$

تعادل B و C : $P'V' - P''V'' + \dfrac{nB'P''V''}{V'} = 0$

(الف) $P''V''$

(ب) $P(V - nb)$

(ج) $\dfrac{P_c'V'}{1 - nB'/V'}$

(د) PV

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

حل مثال 2

سه سيستم گازي A، B و C در تعادل گرمايي‌اند. اگر تعادل گرمايي بين سيستمها به صورت زير داده شوند، كدام عبارت متناسب با دماي دستگاه مورد نظر نيست.

تعادل A و C : $PV - nbP - P''V'' = 0$

تعادل B و C : $P'V' - P''V'' + \dfrac{nB'P''V''}{V'} = 0$

$P(V - nb) = P''V''$

$\dfrac{P'V'}{1 - nB'/V'} = P''V''$

(الف) $P''V''$

(ب) $P(V - nb)$

(ج) $\dfrac{P_c'V'}{1 - nB'/V'}$

(د) PV

$$P''V'' = P(V - nb) = \frac{P'V'}{1 - nB'/V'} = \theta$$

www.bookgolden.com

دانشگاه پيام نور (مركز تهران) استاديار گروه فيزيک علي‌اصغر شكري

فصل دوم

سيستمهاي ترموديناميكي ساده

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

علي‌اصغر شكري
استاديار گروه فيزيک
دانشگاه پيام نور (مركز تهران)

فهرست

- فصل 2 (سیستمهای ترمودینامیکی ساده)
  - تعادل ترمودینامیکی
  - نمودار PV مواد خالص
  - حالت ماده
  - نمودار P❑ مواد خالص
  - چند سیستم ترمودینامیکی ساده
  - مختصاتهای فزونوری و نافزونوری
  - مثالها

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

تعادل ترموديناميكي(مكانيكی)

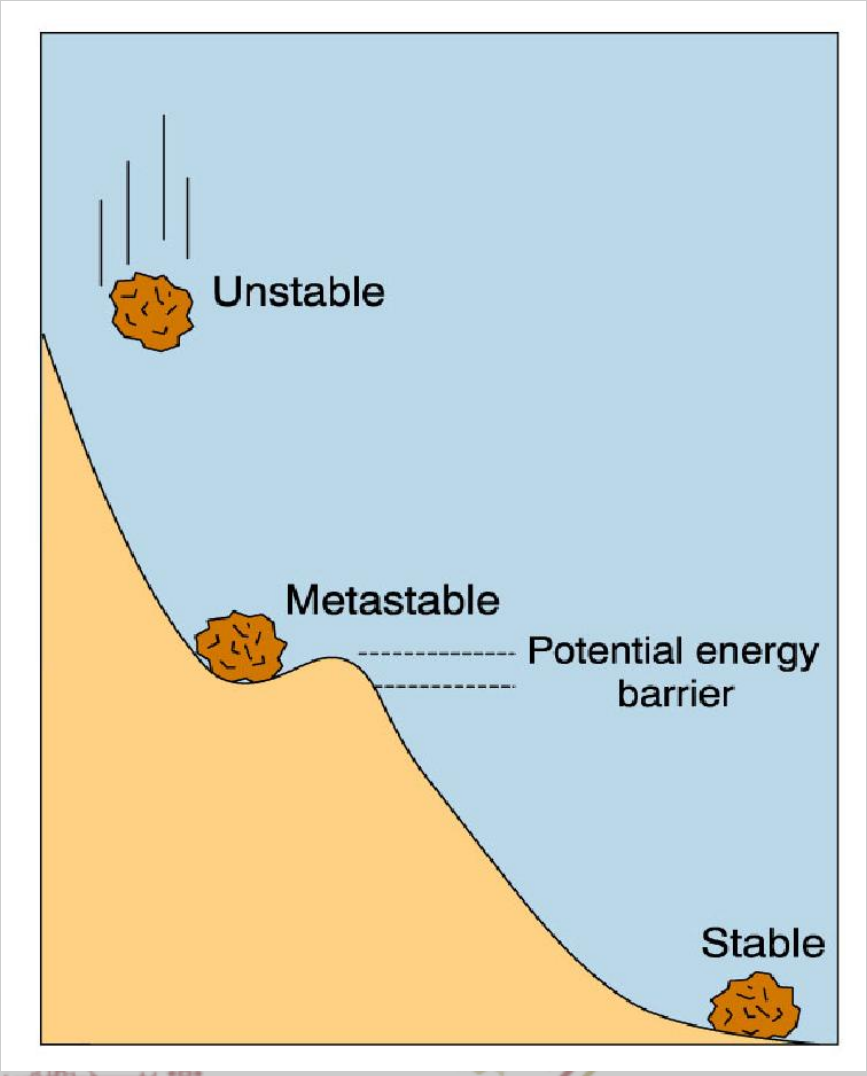


Figure 5-1. Stability states. Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

حالت انرژی

ناپایدار (Unstable): غلتیدن یا افتادن

پایدار (Stable): ساکن ماندن با کمترین انرژی

شبه پایدار (Metastable): پایین افتادن با یک کمی انرژی

www.bookgolden.com

تعادل ترموديناميكي

شرايط تعادل ترموديناميكي :

- تعادل مکانیکی
- تعادل شیمیایی
- تعادل گرمایی

حالتهای تعادل ترمودینامیکی را می توان برحسب مختصات ماکروسکوپی که تابع زمان نیستند، یعنی برحسب مختصات ترمودینامیکی توصیف کرد

اگر هیچ یک از شرایط مربوط به سه نوع تعادل **(تعادل ترمودینامیکی)** برقرار نباشد، سیستم ناپایدار خواهد شد

www.bookgolden.com

علي‌اصغر شكري استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

تعادل ترمودینامیکي

حالتهای تعادل ترمودینامیکی را می توان برحسب مختصات ماکروسکوپی که تابع زمان نیستند، یعنی برحسب مختصات ترمودینامیکی توصیف کرد

در بررسی حالتهای عدم تعادل، باید سیستم را به تعداد زیادی زیر سیستم تقسیم کرد به طوری که این زیر سیستمها در تعادل به سر می برنند و می توان با نوشتن مختصات ماکروسکوپی، آنها را توصیف کرد

هر سیستم ترمودینامیکی، **سه** مختصه ترمودینامیکی دارد

2 متغیر مستقل

1 متغیر وابسته

از معادله حالت تعیین می شود

www.bookgolden.com

علي‌اصغر شكري
استادیار گروه فیزیک
دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

نمودار PV (ماده خالص)

شکل صفحه 39 کتاب مرجع درسی (زیمانسکی) را ببینید

نقطه بحرانی :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{\theta} = 0$$

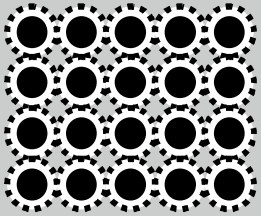
$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{\theta} = 0$$

نقطه بحرانی (نقطه عطف منحنی همدمای بحرانی)

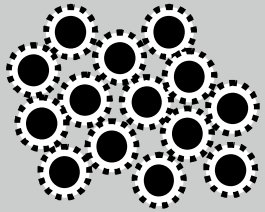
منحنی همدمای مربوط به دمای بحرانی را منحنی **همدمای بحرانی** می گویند.

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

حالت ماده چیست؟

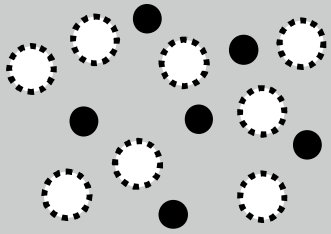


جامد (Solid)



مایع (Liquid)

گاز (Gas)



پلاسما (Plasma)

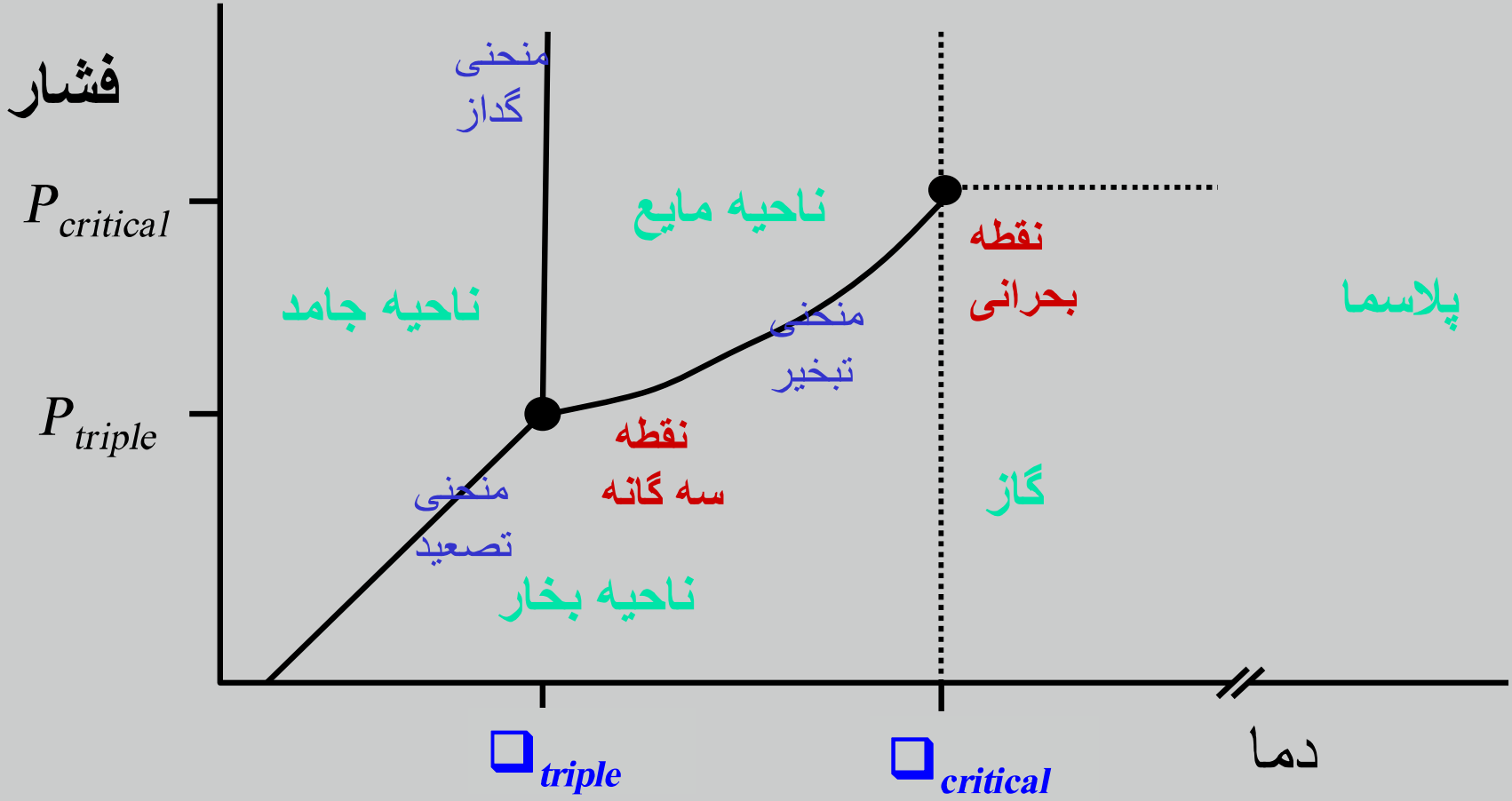
راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

حالت ماده

- دیاگرام فاز (Phase Diagram)
  - رسم نمودار فشار بر حسب دما
- نقطه سه گانه (Triple Point)
  - نقطه محل تلاقی سه فاز (جامد، مایع و گاز) روی دیاگرام فاز
- نقطه بحرانی (Critical Point)
  - نقطه ای روی دیاگرام فاز که چگالی فازهای مایع و بخار یکسان است

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

نمودار $P\square$ (حالت یک ماده خالص)



با زیاد شدن فشار، منحنی گداز

- *در آب و یخ با نقطه ذوب کم می شود (تمایل منحنی گداز کمی به چپ)*
- *در دی اکسید کربن نقطه ذوب زیاد می شود (تمایل منحنی گداز کمی به راست)*

www.bookgolden.com

معادله‌هاي حالت

معادله گاز كامل $Pv = R\theta$

در فشارهای پایین و در نواحی بخار و گاز معتبر است (معادله **بتی - بریجمن**)

$$P = \frac{R\theta(1-\varepsilon)}{v^2}(v+B) - \frac{A}{v^2}$$

$$A = A_0\left(1-\frac{a}{v}\right); \quad B = B_0\left(1-\frac{b}{v}\right); \quad \varepsilon = \frac{c}{v\theta^3}$$

معادله گاز حقیقی $\left(P+\frac{a}{v^2}\right)(v-b) = R\theta$

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

معادله‌هاي حالت

مختصات ترمودینامیکی مختصات ماکروسکوپی هستند

حل معادله حالت برای حجم :

$$V = f(\theta, P)$$

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial \theta}\right)_P d\theta + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_\theta dP$$

ضریب انبساط حجمی

$$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial \theta}\right)_\theta$$

ضریب تراکم پذیری همدما

$$\kappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_\theta$$

بعد ضریب تراکم پذیری عکس فشار است

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

معادله‌هاي حالت

حل معادله حالت برای فشار :

$$P = f(\theta, V)$$

$$dP = \left(\frac{\partial P}{\partial \theta}\right)_V d\theta + \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_\theta dV$$

حل معادله حالت برای دما :

$$\theta = f(P, V)$$

$$d\theta = \left(\frac{\partial \theta}{\partial P}\right)_V dP + \left(\frac{\partial \theta}{\partial V}\right)_P dV$$

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

دو قضیه ریاضی

فرض : $f(x,y,z)=0$

$$dx=\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z dy+\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y dz$$

$$dy=\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z dx+\left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x dz$$

$$dx=0;\quad dz\neq 0 \Rightarrow \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z=\frac{1}{\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z}$$

$$dx\neq 0;\quad dz=0 \Rightarrow \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y=-1$$

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

چند سیستم ترمودینامیکی ساده

سیستم هیدرواستاتیکی ($P, V, \square$)

از قضیه دوم :

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_\theta \left(\frac{\partial V}{\partial \theta}\right)_P = -\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_\theta$$

ضریب انبساط حجمی

$$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial \theta}\right)_\theta$$

ضریب تراکم پذیری همدما

$$\kappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_\theta$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial \theta}\right)_V = \frac{\beta}{\kappa}$$

$$P = f(\theta, V)$$

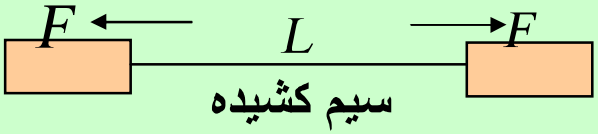
$$dP = \left(\frac{\partial P}{\partial \theta}\right)_V d\theta + \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_\theta dV \rightarrow dP = \frac{\beta}{\kappa} d\theta - \frac{1}{\kappa V} dV$$

$$\Delta P = \frac{\beta}{\kappa}\Delta\theta - \frac{1}{\kappa}\ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com

چند سیستم ترمودینامیکی ساده

سیم کشیده (❑ $F, L,$)



سیم کشیده:

- کشش سیم برحسب نیوتن F
- طول سیم برحسب متر L
- دمای گاز کامل ❑

ضریب انبساط خطی $\alpha = \frac{1}{L}\left(\frac{\partial L}{\partial \theta}\right)_F$

مدول همدمای یانگ $Y = \frac{L}{A}\left(\frac{\partial F}{\partial L}\right)_\theta$

راهنمای طلایی
تست طلایی
پیک طلایی
انتشارات طلایی پویندگان دانشگاه
www.bookgolden.com