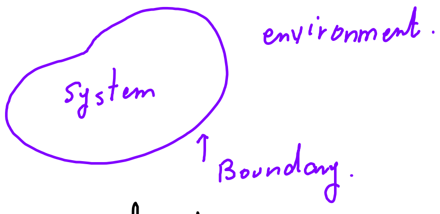
Statistical physics-1

درس اول : دما و قانون صفرم ترمودینامیک

Note Title 07/02/2009

- □ - دیدگاه ماکروسکوپیک
- □ - دیدگاه میکروسکوپیک
- □ - مختصات ترمودینامیکی
- □ - تعادل گرمایی و قانون صفرم.
- □ - مفهوم دما
- □ - اندازه‌گیری دما

□ دیدگاه ماکروسکوپی



مثال : پیستون ، یک دریاچه ، یک مخلوط شیمیایی.

open or closed.

دیدگاه ماکروسکوپی : Human scale.

دیدگاه میکروسکوپی : Molecular scale.

مثال : پیستون : جرم گاز + ترکیب گاز + حجم + فشار + دما.

مختصات ماکروسکوپی

۱) تعداد آن‌ها کم است.

۲) به راحتی قابل اندازه‌گیری‌اند.

۳) قابل لمس هستند.

۴) هیچ فرضی درباره جزئیات ساختمان میکروسکوپی ماده ندارند.

وجود دما در بین مختصات وجه تمایز ترمودینامیک از بقیه شاخه‌های فیزیک مثل اپتیک، مکانیک، و الکتریسیته و مغناطیس است.

□ دیدگاه میکروسکوپی   سرعت + مختصات، یا سطوح انرژی ....

۱) تعداد متغیرها زیاد است.   ۳) قابل حس نیستند.

۲) به آسانی قابل اندازه‌گیری نیستند.   ۴) یک تصور مشخص درباره جزئیات ساختمانی دارند.

مقایسه دو دیدگاه: در نظر اول کاملاً از هم جدا هستند ولی ←

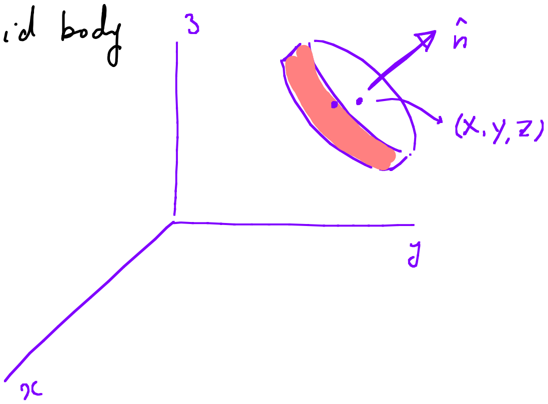
$\langle$ microscopic $\rangle$ = Macroscopic

$\langle$ Mom. exchange $\rangle$ ≡ فشار

$\langle$ Kinetic energy $\rangle$ ≡ دما   → Note: if the microscopic picture changes, the macroscopic picture remains intact.

$\langle \sum_i m_i \rangle \equiv M.$

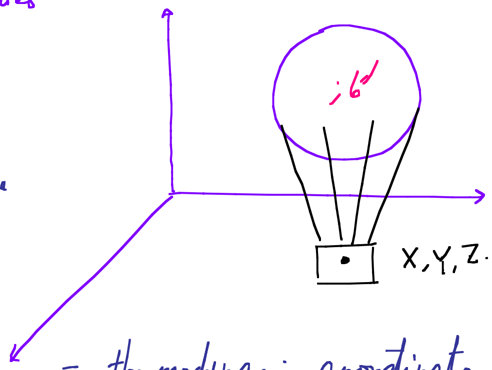
Mechanics of a rigid body



□ مختصات ترمودینامیکی :

$(x, y, z, \hat{n}, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \omega) \equiv$ External Energy & External work.

↑ Mechanical Coordinates



Macroscopic Coordinates related to the inter of the system & the work & energy in the inter ≡ thermodynamic coordinate

(V, P, T, σ, A) → May be included or not in the set of thermodynamic coordinates.

مثال دیگر: برای یک ستاره: حجم، فشار گاز، دما، فشار تابش، ... مختصات ترمودینامیکی هستند.

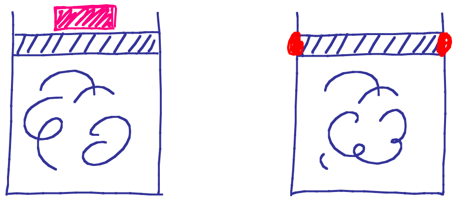
شار جرم + تکانه زاویه‌ای، تکانه، مختصات مکانیکی هستند.

میدان مغناطیسی سطح، اندازه‌ی تابان مغناطیسی، مختصات اخترشناسی هستند.

□ دما و قانون صفرم ترمودینامیک

متغیرهای مستقل ترمودینامیکی کدام‌ها هستند؟

مشاهدات تجربی ← برای یک گاز، P, V متغیرهای مستقل هستند، یعنی هرکدام را می‌توان با ثابت نگه داشتن دیگری، به دلخواه تغییر داد.



فشار ثابت
حجم دلخواه

حجم ثابت
فشار دلخواه

مثال‌های دیگر:

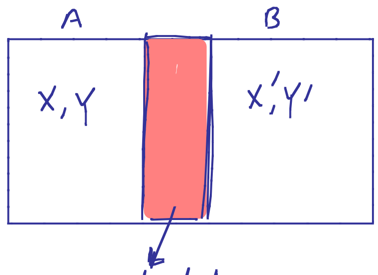
نوع سیستم	متغیر جابجایی (فزونور) X	متغیر نافزونور (نیرو) Y
دی‌الکتریک	P	E
مغناطیس	M	H
سیم	L	T
رویه	A	σ

بسادگی در بحث فعلی خود را محدود به سیستم‌هایی می‌کنیم که دو متغیر مستقل دارند و آن‌ها را با X و Y نشان می‌دهیم.

تعریف: حالتی از سیستم که در آن X و Y مقادیر معینی دارند که با زمان تغییر نمی‌کند یک حالت تعادل نامیده می‌شود.

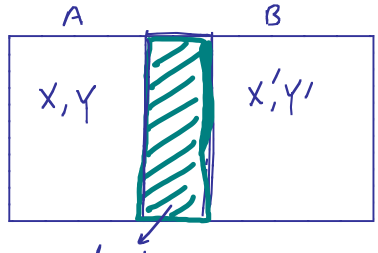
مشاهدات تجربی: حالت تعادل یک سیستم بستگی به حضور سیستم‌های دیگر و نوع دیواره‌هایی دارد که آن‌ها را از سیستم مورد نظر جدا می‌کند.

دیواره‌ی ایده‌آل → { بی‌دررو (Adiabatic) ؛ هادی (Diathermic).



adiabatic

هر مقداری از X، Y با هر مقداری از X'، Y' ممکن است.



diathermic

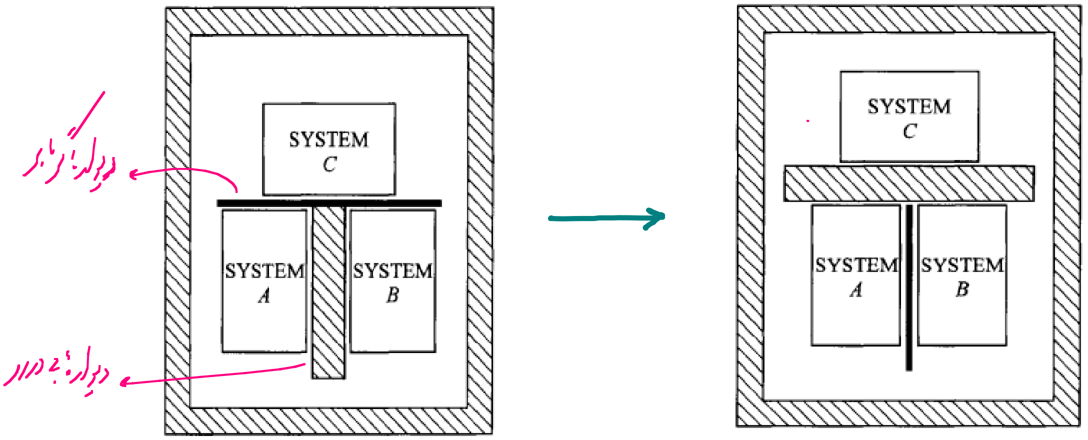
هر مقداری از X، Y با هر مقداری از X'، Y' ممکن نیست. به عبارت دیگر این مقادیر تغییر کرده و به مقادیری می‌رسند که در رابطه‌ای به شکل $f(X,Y,X',Y')=0$ صدق کنند. در این حالت می‌گوییم دو سیستم A و B با هم به تعادل گرمایی رسیده‌اند.

diathermic walls ∈ { لایه‌ی نازکی از فلزات }

adiabatic walls ∈ { لایه‌ی ضخیم از چوب، پشم شیشه، یونولیت، دیواره‌ی دو جداره‌ی خلأ و صیقلی }

اگرچه ما مفهوم گرما را هنوز تعریف نکرده‌ایم، ولی با احساس حسی که داریم، به دلیلی می‌توانیم بگوییم که یک دیواره‌ی بی‌دررو گرما را از خود عبور نمی‌دهد ولی یک دیواره‌ی هادی یا diathermic گرما را به راحتی از خود عبور می‌دهد.

قانون صفرم ترمودینامیک: مشاهدات تجربی فراوان نشان داده است که اگر دو سیستم A و B به طور جداگانه با سیستم C به تعادل رسیده باشند، آنگاه اگر این دو سیستم را در تماس با هم قرار دهیم، با یکدیگر در تعادل خواهند بود. شکل زیر:



دو سیستم A و B به طور جداگانه با C به تعادل گرمایی رسیده اند.

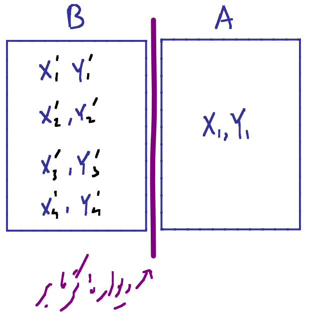
بعد از تعویض دیواره‌ها، دو سیستم A و B هم در حال تعادل باقی می‌مانند.

کمی تاریخچه:

قانون دوم ترمودینامیک	سادی کارنو	۱۸۲۴
قانون اول ترمودینامیک	هلمهولتز و مایر	۱۸۴۸.
قانون صفرم ترمودینامیک	رالف فاولر	۱۹۳۰.

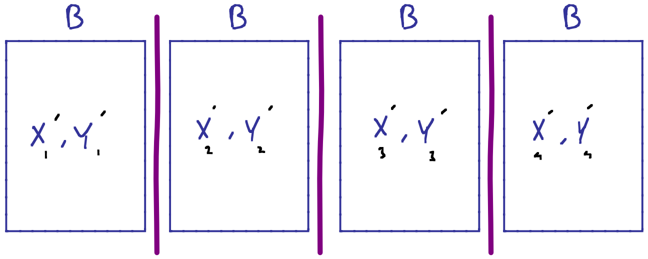
□ مفهوم دما. اگرچه به لحاظ حسی و عملی، درک نسبتاً روشنی از دما داریم، ولی بیان مفهوم دقیق و علمی دما تنها با اتکا بر قانون صفرم ترمودینامیک امکان‌پذیر است.

سیستم شاره A را با مختصات ترمودینامیکی X و Y در نظر بگیرید. به سیستم شاره B با مختصات ترمودینامیکی X', Y'

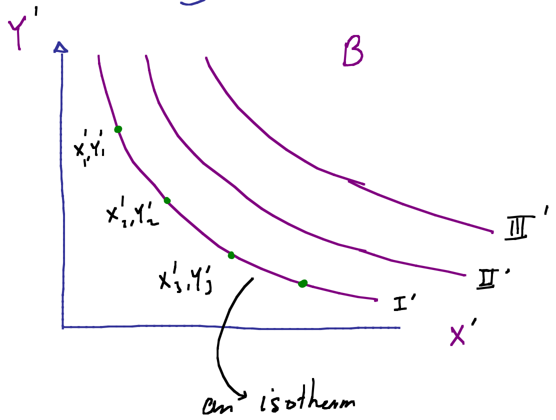


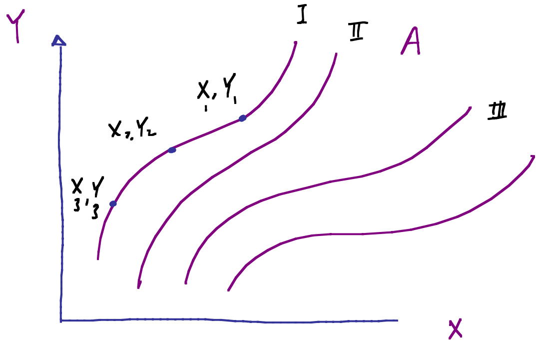
در حال تعادل است . ← شکل روبرو

آزمایش نشان می‌دهد که در حالت تعادل وقتی که سیستم A دارای
مختصات ترمودینامیکی (X_1, Y_1) است، سیستم B می‌تواند دارای
مختصات ترمودینامیکی (X'_1, Y'_1) ، (X'_2, Y'_2) ، (X'_3, Y'_3) . باشد. بنابراین سیستم B می‌تواند بی‌نهایت
وضعیت ترمودینامیکی داشته باشد که همگی با سیستم A در حال تعادل باشند. بنابراین اصل صفرم ترمودینامیک حکم می‌کند این وضعیت‌های متفاوت
از سیستم B ، با یکدیگر در حال تعادل خواهند بود؛ شکل زیر!



مجموعه تمام نقاطی از سیستم B که با یک وضعیت از سیستم A و در نتیجه با یکدیگر در حال تعادل‌اند روی یک منحنی قرار می‌گیرند.





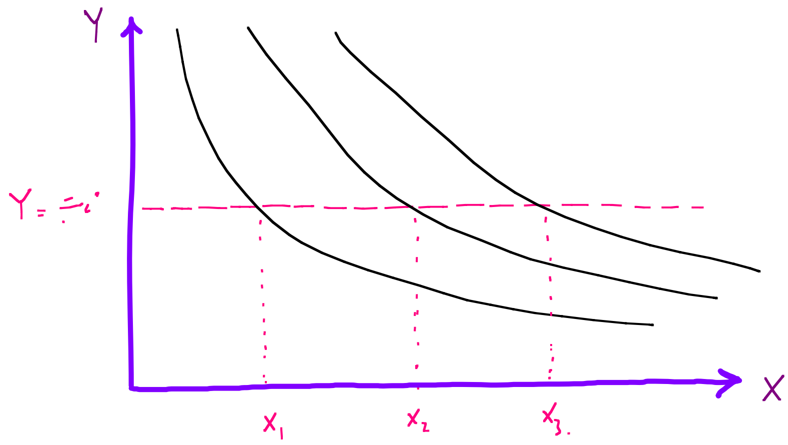
به این منحنی، یک منحنی هم‌دما یا isotherm می‌گوییم. بنابراین یک منحنی هم‌دما مکان هندسی همه
نقاطی از یک سیستم (در فضای مختصات ترمودینامیکی) است که با هم در حال تعادل خواهند بود. همین این
وضعیت برای سیستم A نیز صادق است.

منحنی‌های I، I'، ... ؛ II، II'، ... منحنی‌های همدمای متناظر خوانده می‌شوند. می‌توان به این ترتیب برای هر سیستم، ترازبندی منحنی‌های همدمای متناظر را تعیین کرد.

بنابراین سیستم‌هایی که در روی منحنی‌های همدمای متناظر هستند، دارای دمای یکسان هستند. چنین سیستم‌هایی اگر در تماس گرمایی با یکدیگر قرار گیرند، در حال تعادل با یکدیگر خواهند بود.

□ اندازه‌گیری دما. علی‌الاصول می‌توانیم به طور کاملاً دلخواه، به منحنی‌های همدمای دسته‌ی متناظر، اعدادی نسبت دهیم و این اعداد را دما بخوانیم. می‌توانیم به منحنی‌های (I, I', I'', ...) عدد مثلاً 1، به منحنی‌های (II, II', II'', ...) عدد مثلاً 2.5 و به منحنی‌های (III, III', III'', ...) عدد مثلاً 3.37 نسبت دهیم. به این روش کاملاً دلخواه هیچ ایراد منطقی وارد نیست. ولی از لحاظ عملی بهتر است که یک روش منظم‌تر را برای «نسبت دادن دما» به منحنی‌های همدما به کار ببریم.

ساده‌ترین روش آن است که یک سیستم معین با مختصات X و Y که برحسب اندازه‌گیری می‌شوند اختیار کنیم و مطابق یک قاعده به منحنی‌های همدمای آن اعدادی را نسبت دهیم. پس از آن این اعداد را به منحنی‌های همدمای متناظر برای تمام سیستم‌های دیگر به کار ببریم. مثلاً می‌توانیم یک منحنی معمولاً خطی Y = ثابت را در صفحه‌ی XY در نظر بگیریم (مطابق با شکل زیر).



و بعد دما θ ، تابعی معین مثل $\theta = \theta(X)$ اختیار کنیم. معمولاً این تابع یک تابع خطی اختیار شده یعنی قرار می‌دهیم: $Y = cte.$ $\theta = aX$.

بسته به منظور ترمومتر، دماسنج می‌گزینیم. به X مختصهٔ دماسنجی یا ترمومتری می‌گوییم. ثابت‌ها، X را شامل $Y = ct$ کاملاً اختیاری هستند.

چند نکته:

۱- می‌توانستیم به جای $Y = ct$ ، یک منحنی دیگر را انتخاب کنیم. مادام که بخشی از این منحنی تمام منحنی‌های همدما را قطع می‌کند.

۲- اگر دماسنج، خاصیت دماسنجی، منحنی $Y = cte$ ، یا تابع $\theta = \theta(X)$ یا ثابت a را عوض کنیم، تمام مقادیر دماها عوض خواهند شد، ولی هم‌چنان به هر منحنی همدما متناظر یک عدد نسبت داده خواهد شد.

مثال‌هایی از دماسنج‌ها و خاصیت‌های دماسنجی:

	دماسنج	خاصیت دماسنجی	نماد خاصیت دماسنجی
نوع گاز می‌تواند متفاوت باشد. ←	گاز در حجم ثابت	فشار	P
طول یا جنس می‌تواند متفاوت باشد. ←	پلاتین در کشش ثابت	مقاومت	R
Wikipedia. ←	ترموکوپل	ولتاژ: emf	ε
	...	....	...

مرحلهٔ بعدی آن است که ثابت مناسب a را تعیین کنیم. بدین کار یک نقطهٔ مرجع انتخاب می‌کنیم و آن را X_0 می‌نامیم.

$$\theta(X_0) = \theta_0 \implies \theta = aX \Rightarrow \theta_0 = aX_0$$

$$\Rightarrow a = \frac{\theta_0}{X_0} \implies \boxed{\theta = \theta_0 \frac{X}{X_0}}.$$

بنابراین، پس از انتخاب دماسنج با عمل بالا یعنی انتخاب X_0 و θ_0، دماسنج درجه‌بندی هم می‌شود.

مثال: امروزه همه دماسنج‌ها استاندارد زیر را به کار برند:

$X_0 = X_{Tp} = X$ (در نقطه سه‌گانه آب)

$\theta_0 = 273.16 \text{ K}$.

$$\theta = 273.16 \frac{X}{X_{Tp}}$$

اگر این استاندارد به کار برده شود، همه دماسنج‌ها مستقل از نوع ماده دماسنجی و خاصیت دماسنجی خود به نقطه سه‌گانه آب دمای 273.16 K را نسبت خواهند داد. ولی این دماسنج‌های مختلف، به منحنی‌ها و دماهای معین می‌گذارند دماهای مختلف نسبت دهند ولی هیچ اشکالی ندارد. فعلاً یک قدم در راه استانداردسازی پیش رفتیم، دیگر اینکه مطابق با قرارداد بالا توافق کرده‌ایم که همه دماسنج‌ها به نقطه سه‌گانه آب یک عدد معین یعنی 273.16 را نسبت دهند.

دماسنج گازی:

$$\theta = 273.16 \frac{P}{P_{Tp}} \quad \text{Const Vol.}$$

طبیعی است که دماسنج‌های گازی مختلف به یک منحنی دماهای معین، بسته به نوع گاز و چگالی آن اعداد مختلفی نشان می‌دهند. ولی نکته جالب و در عین حال مهم آن است که اگر چگالی گاز را به سمت صفر میل دهیم یعنی وقتی که گاز خیلی رقیق است، همه دماسنج‌های گازی مستقل از نوع گاز، با هم در توافق کامل خواهند بود. بدین ترتیب دماسنج گازی ایده‌آل را به شکل زیر تعریف می‌کنیم و آن را با T نشان می‌دهیم.

$$T = 273.16 \lim_{P_{Tp}\to 0} \frac{P}{P_{Tp}}$$