

فیزیک - گروه اندیشه

نیم سال نخست ۱۳۹۴

۱ دما و گرما

۱.۱ قانون صفرم ترمودینامیک

ترمودینامیک؛ به توصیف سیستم‌های بس ذره‌ای می‌پردازد.

چگونه و چرا دما را تعریف می‌کنیم؟

مثال: یک ذغال را در نظر بگیرید. با تعداد ذرات ثابت. توان تابشی برابر P دارد. تجربه به ما ثابت کرده که یک این ذغال می‌تواند مقادیر مختلفی از توان تابشی را داشته باشد. می‌تواند سیاه یا برافروخته باشد

$$P = f(X)$$

که X خاصیتی است که ما از آن بی‌اطلاعیم.

مثال: یک میله از جنس مس، نیز می‌تواند مقادیر مختلفی از طول داشته باشد. (به دلیل انبساط و انقباض)

$$L = g(Y)$$

و Y نیز خاصیتی مجهول از جسم است.

در تعادل ترمودینامیکی^۱ بین دو ذغال کاملاً یکسان دیده‌ایم که $P_1 = P_2$ (اگر f یک به یک باشد)^۲ $X_1 = X_2$. و به طور مشابه در تعادل بین دو میله مشابه نیز؛ $Y_1 = Y_2$

حال اگر یک میله و ذغال در تعادل ترمودینامیکی باشند و توان ذغال P باشد و طول میله L ؛ این دو مقدار از هم مستقل نیستند و تابعی از یکدیگر اند.^۳ پس X و Y نیز تابع یکدیگرند پس تعریف تنها X کافی است.

یکی از این خواص متغیر (مانند توان تابشی و طول) فشار گاز کامل (یا رقیق) است. دما (T) را تعریف می‌کنیم؛

$$T = \frac{PV}{Nk_B} \quad (۱)$$

که P فشار گاز رقیق، V حجم گاز رقیق و N تعداد ذرات گاز رقیق و k_B ضریب بولتزمن است.

^۱ تعادل ترمودینامیکی؛ به این معنی است که بین دو جسم تبادل جرم و انرژی صورت نپذیرد. (چون به شکل‌های تبادل انرژی آگاهییم فهمیدن این تعادل زیاد کار سختی نیست)

^۲ چون X پارامتری مجهول است که ما تعریف کرده‌ایم می‌توانیم آن را به گونه‌ای تعریف کنیم که f یک به یک باشد.

^۳ اگر ذغال توانی برابر P_1 داشته باشد و طول میله L_1 باشد و در حالت دیگری این دو مقادیر P_2 و L_2 باشند، اگر $P_1 = P_2$ آن‌گاه دو ذغال در تعادل اند و چون هر کدام از میله‌ها با ذغال‌ها در تعادل اند، دو میله نیز با هم در تعادل اند پس $L_1 = L_2$ و همین اثبات بالعکس نتیجه می‌دهد P و L تابعی یک به یک از یکدیگرند.

۲.۱ انقباض، انبساط و دیگر خاصیت‌های دماسنجی

با توجه به تعریف دما برای توان تابشی ذغال (جسم تقریباً سیاه) رابطه‌ای بر حسب دما به شکل کاملاً نظری به دست آورده‌اند اما برای L بسیاری از پارامترهای مرتبط به دمای دیگر نیز فرمول تجربی یا تئوری به دست نیآورده‌اند. به این دلیل برای L داریم؛ اگر در دمای T_1 جسم طولی برابر L_1 داشته باشد، می‌توانیم تابع $L(T)$ را در حوالی نقطه (L_1, T_1) به شکل تقریبی خطی در نظر بگیریم با شیب m . آن‌گاه برای مقادیر T_2 وقتی نزدیک T_1 باشد (ΔT کوچک باشد) داریم

$$m(T_2 - T_1) = L_2 - L_1$$

$$m\Delta T = \Delta L \quad (۲)$$

حالا اگر دو میله، هر دو با طول L_1 وجود داشته باشد و تغییر طول هر کدام در فرایند مشخصی ΔL باشد، به سادگی می‌پذیریم که اگر میله‌ای طول اولیه‌ای برابر $2L_1$ داشته باشد، در همان فرایند (با همان ΔT) تغییر طولی برابر $2\Delta L$ خواهد داشت. پس با دو برابر شدن طول اولیه؛ شیب خط (m) نیز دو برابر شد به همین ترتیب در می‌یابیم

$$m = \alpha L_1 \quad (۳)$$

که α ضریبی مربوط به جنس میله و پارامترهای مرتبط دیگر است و L_1 طول اولیه میله است. حال با ترکیب دو معادله ۲ و ۳ در می‌یابیم.

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta T \quad (۴)$$

برای انبساط و انقباض سطحی به شکل مشابه داریم، اگر S_1 مساحت اولیه، و β ضریبی مربوط به جنس باشد و ΔS نیز تغییرات مساحت باشد

$$\Delta S = S_1 \beta \Delta T \quad (۵)$$

اگر مربعی به اضلاع L_1 و مساحت S_1 فرض کنیم؛ آن‌گاه

$$S_1 = L_1^2$$

$$\Delta S = (L_1 + \Delta L)^2 - L_1^2$$

$$\Delta S = 2L_1 \Delta L + \Delta L^2$$

از آن‌جا که ΔT کوچک است پس ΔL نیز نسبت به طول اولیه جسم (L_1) کوچک است پس می‌توان از جمله ΔL^2 در مقابل $L_1 \Delta L$ صرف نظر کرد

$$\Delta S = 2L_1 \Delta L \quad (۶)$$

با ترکیب معادلات ۴ و ۵ و ۶ داریم

$$\beta = 2\alpha$$

همچنین برای انبساط و انقباض حجمی داریم؛

$$\Delta V = V_1 \gamma \Delta T$$

که V_1 حجم اولیه، γ ضریبی مربوط به جنس جسم و ΔV تغییرات حجم است و

$$\gamma = 3\alpha$$

۲ تحلیل ابعادی

۱.۲ ابعاد

در فیزیک؛ اعداد معمولاً چیزی فراتر از یک عدد هستند و همراه خود اطلاعات بیشتری از اعداد در ریاضی دارند. مثلاً وقتی در فیزیک می‌گوییم «یک متر»، این یعنی اگر همین عدد در دستگاه سانتی‌متر بیان شود، می‌شود «یک‌صد سانتی‌متر» در حالی که دیگر عدد «یک» در ریاضی، فقط به معنای «یک» (تعداد) است. همچنین «یک متر» در فیزیک نماد یک طول است. از همین جهت در فیزیک «یک متر» یا همان «صد سانتی‌متر»، با «یک کیلوگرم» تفاوت دارد، زیرا یکی نماد یک طول و دیگری نماد یک جرم هستند. یک عدد در فیزیک می‌تواند نماد هر کمیتی باشد مثل سرعت، شتاب، نیرو، زمان، دما... در عین حال یک عدد در فیزیک می‌تواند نماد تعداد باشد، مثل اعداد در ریاضی که در این صورت هیچ کمیتی ندارد (اصطلاحاً بی‌بعد هستند). این اعداد در فیزیک، با تغییر واحد و دستگاه محاسباتی (مجموعه واحدها) تغییر نمی‌کنند و همواره ثابت می‌مانند. از این رو برای هر عدد یا پارامتر، در فیزیک، کمیت یا بُعد در نظر می‌گیریم. وقتی دو عدد (یا پارامتر) در فیزیک با هم جمع می‌شوند باید هم‌کمیت (هم‌بُعد) باشند، این هم جنبه فلسفی دارد^۴ و هم تجربه به ما ثابت کرده‌است. همچنین همواره دو طرف یک تساوی نیز همواره باید هم‌بعد باشند، به همان دلایل فلسفی و تجربی.^۵

۲.۲ کمیت‌های اصلی و فرعی

دیدیم که در فیزیک، پارامترها و اعداد، هرکدام کمیتی دارند یا بی‌بعد هستند. همچنین می‌دانیم، بین این پارامترها نیز روابطی برقرار است، بعضی از این روابط تعریف یک پارامتر هستند، مثل تعریف سرعت^۶

$$v_v := \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

که در آن Δx تغییرات مکان و Δt نیز تغییرات زمان متناسب با آن است. می‌دانیم که بُعد Δx طول است و بُعد Δt زمان است، پس بُعد...

^۴ وقتی یک متر به علاوه یک متر؛ می‌شود دو متر. همچنین یک متر به علاوه یک صد سانتی‌متر. اما جمع یک متر با یک کیلوگرم، هیچ معنی و نتیجه‌ای ندارد.
^۵ محدودیت‌های دیگری درباره ابعاد در عملگرهای ریاضی و توابع وجود دارد، مثلاً

$$2^X = Y$$

اگر X ، کمیتی بعددار باشد، می‌توان با تبدیل واحد، X را به αX و Y را به βY تغییر داد و ۲ نیز چون عددی بی‌بعد است تغییر نمی‌کند. (ممکن است α یا β یک باشند یا تابعی از هم باشند) حالا

$$2^{\alpha X} = \beta Y$$

$$(2^X)^\alpha = \beta Y$$

$$Y^\alpha = \beta Y$$

چون X هر عددی ممکن است باشد، Y نیز هر مقداری ممکن است بگیرد و تساوی فوق باید برای همه مقادیر Y درست باشد، پس α و β هر دو باید یک باشند. چون تعبیر فوق برای همه تبدیل‌ها درست است، این دو متغیر باید به‌ازای همه تبدیل‌ها درست باشند، پس باید X و Y هر دو بی‌بعد باشند تا همواره α و β یک شوند.

^۶ درباره این کمیت و تعریف آن بعدها بیشتر می‌آموزید.
^۷ علامت $:=$ معمولاً برای تعریف استفاده می‌شود.