



درکے بهتر از آنتروپی با چند

پرسش و پاسخ

سید محمد صالحی
معلم شیمی اسلامشهر

برخی تعریف‌هایی که از بررسی آنتروپی بر مبنای توزیع موقعیتی ذره‌ها نتیجه می‌شود، عبارت‌اند از:

- آنتروپی به تعداد میکروحالتهای ربط دارد که سامانه می‌تواند با حالت ماکروسکوپی مشخص (E و V و N) داشته باشد.

- آنتروپی، معرف مقدار احتمال توزیع ذرها در سامانه است، $S=k\ln P$

- آنتروپی، معیاری از اندازه بی‌نظمی یک سامانه است.

- آنتروپی، تعداد حالت‌های درون یک سامانه است و ناظری که از بیرون کمیت‌های ماکروسکوپی این سامانه - مانند جرم، سرعت، بار، ... - را می‌بیند نمی‌تواند تفاوت میان این حالت‌ها را دریابد.

- آنتروپی، تابعی ترمودینامیکی است که تعداد آرایش‌های در دسترس ذرها را در سامانه با یک حالت ترمودینامیکی مشخص، نشان می‌دهد.

برخی از تعریف‌هایی که از بررسی آنتروپی بر مبنای توزیع انرژی نتیجه می‌شوند، به این قرارند:

- آنتروپی، به تعداد راه‌های توزیع انرژی گرمایی روی ترازهای انرژی قابل دسترس - که توسط مولکول‌ها اشغال می‌شوند - مربوط می‌شود.

- آنتروپی را باید شاخصی از پراکندگی انرژی درون یک سامانه، و میان آن با محیط دانست.

- آنتروپی، شاخصی از تعداد راه‌های توزیع انرژی گرمایی

۱ در معادله بولتزمن، $S=k\ln W$ نماد W نمایانگر چیست؟

این معادله منجر به چه تعریف‌هایی از آنتروپی می‌شود؟ نماد W برای هر حالت ماکروسکوپی معین سامانه، نمایانگر تعداد ریز حالت‌ها برای آن دسته از حالت‌های کوانتونمی دسترسی‌پذیر سامانه است که احتمال اشغال شدن بیشتری دارد. بر مبنای توزیع موقعیتی ذرها می‌توان گفت حالت، توصیفی از سامانه است که مکان و اندازه حرکت تک‌تک ذرها را مشخص می‌کند.

ناگفته نماند که ماکروحالات، سامانه را با دقت کمتری توصیف می‌کند به گونه‌ای که فقط تعداد ذرها برای را به دست می‌دهد که خواص آن‌ها در گستره‌ای معین باشد. به طور کلی هر ماکروحالت متناظر با تعدادی زیاد از میکروحالت‌هاست.

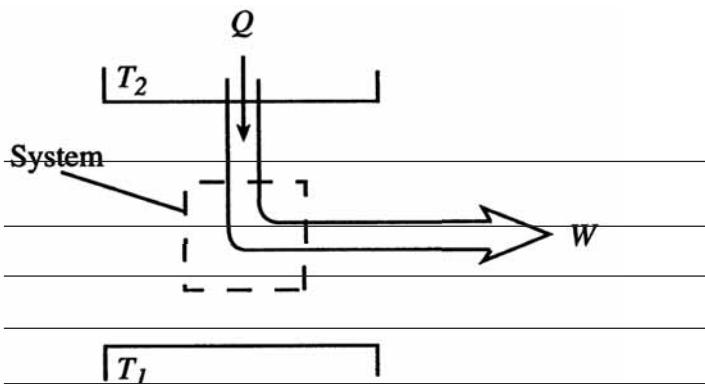
در سامانه‌ای از ذرها یکسان بدون برهم‌کنش، احتمال وقوع همه میکروحالات یکسان است. در نتیجه متحمل ترین ماکروحالات، آن است که بیشترین تعداد میکروحالات را داشته باشد.

با نگرش مولکولی، اغلب تعریف‌های رایج آنتروپی از معادله بولتزمن نتیجه می‌شود. بنابر این معادله، آنتروپی تابعی از پراکندگی است و پراکندگی را می‌توان هم بر مبنای موقعیت ذرها که سامانه و هم بر مبنای رفتار انرژی سامانه بررسی کرد. درک آنتروپی بر مبنای توزیع موقعیتی ملموس‌تر است، ولی گاه قابل اعتماد نیست. برای نمونه در یک سامانه گازی منزوی، هنگامی که سامانه در حجم ثابت گرم می‌شود، بر مبنای میزان توزیع موقعیتی گونه‌های گاز نمی‌توان آفرایش آنتروپی سامانه محظی گاز را توضیح داد؛ زیرا میزان توزیع موقعیتی گونه‌های گاز در یک دما بیشتر از دمای دیگر نیست.

تعداد راههای توزیع ذره‌ها دارد؟

آ. برای مواد جامد که هر ذره سازنده آن در مکان خاصی مستقر است و توانایی جابه‌جا شدن ندارد، لازم است ذره‌ها از هم تمیز داده شوند؛ در حالی که برای سیال‌ها – که مکان ذره‌های سازنده آن‌ها تغییر می‌کند و موقعیت هر ذره مشخص نیست – تمیزپذیری معنایی ندارد و باید آن‌ها را به صورت ذره‌های تمیزناپذیر در نظر بگیریم.

ب. فرض می‌کنیم سامانه‌ای شامل دو ذره است که می‌توانند در هر یک از سه حالت ممکن، A، B و C باشند. برای تعیین تعداد آرایش‌های ممکن این دو ذره هنگام توزیع، دو حالت در نظر می‌گیریم:



برای ذره‌های یک سامانه است.

- آنتروپی، نمایانگر تعداد راههای توزیع انرژی گرمایی می‌باشد. شیوه‌های حرکتی ذره‌های یک سامانه است.

- آنتروپی برای سامانه‌ای با حالت ماکروسکوپی مشخص (E و V و N)، به تعداد حالت‌هایی از ترازهای انرژی دسترسی‌پذیر بیان شود.

- آنتروپی، معیاری برای بیان تغییر در بنی‌نظمی انرژی گرمایی توزیع شده میان شیوه‌های حرکتی ذره‌های یک سامانه است.

﴿ روی سنگ آرامگاه بولتزمن، چنین حکاکی شده است که معادله $S=k\ln W$ روش‌تر از معادله $S=k\ln P+\alpha$ است؛ زیرا مفهوم احتمال (P) در این معادله نسبتاً مهم است. (۱۹۰۶-۱۸۴۴)

﴿ توزیع بولتزمن برای ذره‌های بدون برهم‌کنش مطرح می‌شود، پس – تعداد ترازهای قابل دسترسی، باید به مراتب از تعداد ذره‌های سامانه بیشتر باشد.

۱. چنانچه

ذره‌ها به صورت ذره‌های کلاسیکی تمیزپذیر باشند که با دو نشانه رنگی مختلف مشخص شده‌اند، برای این دو ذره، ۹ آرایش متفاوت امکان خواهد داشت که در سامانه توزیع شوند، جدول ۱.

۲. چنانچه

ذره‌ها به صورت ذره‌های کوانتومی تمیزپذیر باشند، نشانه‌های رنگی هر دو ذره مشابه است و برای این دو ذره، ۶ آرایش متفاوت امکان خواهد داشت که در سامانه توزیع شوند، جدول ۲.

۲. منظور از انرژی درونی سامانه چیست؟

انرژی درونی سامانه از جمله انرژی‌های ماکروسکوپی است و از حرکت گونه‌های موجود در فضای سامانه و در حضور میدان‌های خارجی که روی آن گونه‌ها عمل می‌کنند نتیجه می‌شود این انرژی شامل انرژی‌های گرمایی مربوط به حرکت‌های گونه‌ها و انرژی پتانسیل ناشی از برهم‌کنش بین گونه‌ها در سامانه است. انرژی درونی یک سامانه قابل اندازه‌گیری نیست بلکه تغییرات آن را می‌توان اندازه‌گیری کرد.

۳. آ. ضرورت شناسایی ذره‌ها به صورت تمیزپذیر، برای کدام حالت ماده قابل طرح است؟

ب. تمیزناپذیر یا تمیزپذیر بودن ذره‌ها چه تأثیری در

جدول ۱

آرایش	دو ذره	دو ذره	دو ذره
۱	●○	○●	○○
۲	○●	●○	●●
۳	●●		
۴	●○	○●	
۵	●●		
۶	○●	●○	
۷	○○		
۸	●○	○●	
۹	○●	●○	

جدول ۲

آرایش	دو ذره	دو ذره	دو ذره
۱	●●	○○	○○
۲	○●	●○	●●
۳	●●		
۴	●○	○●	
۵	●●		
۶	●○	○●	
۷	●●		
۸	●●		
۹	●●		

با مقایسه جدول‌های ۱ و ۲، ملاحظه می‌کنیم اگر دو ذره را به صورت ذره‌های کوانتومی تمیزناپذیر در نظر بگیریم، دیگر نمی‌توانیم



آرایش‌های ۴ و ۶ را به عنوان امکان‌های جداگانه در نظر بگیریم؛ زیرا هر دو آرایشی واحد را می‌رسانند. به این ترتیب دو آرایش ۵ و ۷، و دو آرایش ۸ و ۹ نیز یک آرایش واحد به شمار می‌آیند.

۴. سامانه‌ای متشكل از سه ذره تمیزپذیر ($N=3$) در حجم ثابت مفروض است. چنانچه مقدار کل انرژی سامانه برابر $E=3EJ$ باشد:

الف. این سامانه دارای چند حالت توزیع و هر حالت دارای چند راه برای توزیع ذره‌ها روی ترازهای انرژی است؟

ب. مقدار انرژی هر حالت توزیع چقدر است؟

پ. آنتروپی هر حالت توزیع چگونه حساب می‌شود؟

ت. احتمال وقوع کدام حالت در سامانه بیشتر است؟

ث. میزان اطلاع ما از نحوه توزیع ذره‌ها روی ترازهای انرژی در هر حالت چگونه است؟

الف. بنا به شکل‌های زیر، هر کدام از حالت‌های ۱ و ۲ و ۳، به ترتیب دارای یک و سه و شش راه برای توزیع ذره‌ها روی ترازهای انرژی دسترس پذیر هستند.

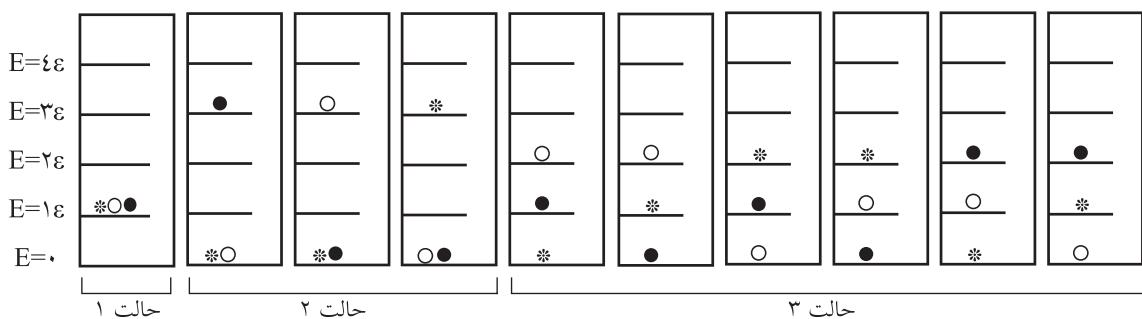
ب. مقدار انرژی هر حالت به مقدار کل انرژی سامانه مربوط می‌شود که برای همه حالت‌ها یکسان بوده، برابر $E=3EJ$ است.

پ. بنابر معادله بولتزمن $S=k\ln W$ ، مقدار آنتروپی هر حالت به

۵. منظور از اینکه آنتروپی به عنوان معیاری از افت کیفیت انرژی معرفی می‌شود، چیست؟

می‌دانیم کمیت انرژی در هر فرایند واقعی همیشه پایستار است (قانون اول)، در حالی که کیفیت آن کاهش می‌یابد (قانون دوم). این کاهش کیفیت همواره با افزایش آنتروپی همراه است. یکی از تعبیرهای آنتروپی با نگرش ماکروسکوپی این است که، آنتروپی به عنوان معیاری برای افت «انرژی با کیفیت زیاد» به «انرژی با کیفیت کم» معرفی می‌شود. منظور از انرژی با کیفیت زیاد، انرژی پتانسیل ناشی از برهم‌کنش‌های بین ذره‌های سامانه از اینکه جنبشی مربوط به حرکت‌های گرمایی ذره‌ها را شامل می‌شود.

در سامانه‌های با ساختار سازمان یافته، انرژی‌ای که وارد سامانه می‌شود، ذخیره می‌شود. وقتی این سامانه از هم می‌پاشد امکان



توزیع انرژی سامانه از حالت متمرکز به حالت غیرمتمرکز فراهم می‌شود به گونه‌ای که انرژی پتانسیل ذخیره شده در آن آزاد، و به صورت انرژی گرمایی پراکنده می‌شود. در چنین حالتی سامانه، انرژی پتانسیل کمتری برای انجام کار در اختیار خواهد داشت، یعنی توان انجام کار یا ایجاد تغییر در سامانه از دست می‌رود.

افت کیفیت انرژی و تغییر آنتروپی در فرایندهای

برگشت‌ناپذیر و برگشت‌پذیر

فرایندهای برگشت‌ناپذیر خودبه‌خودی، باعث از بین رفتن

تعداد راههای توزیع ذره‌ها روی ترازهای انرژی آن حالت مربوط می‌شود، بنابراین مقدار آنتروپی حالت ۱ برابر با $S=k\ln 1$ ، برای حالت ۲ برابر $S=k\ln 3$ و برای حالت ۳ برابر با $S=k\ln 6$ است.

ت. احتمال وقوع حالت ۳ بیشتر است؛ زیرا تعداد راههای در دسترس برای یافتن حالت ۳ در سامانه زیادتر است.

ث. در حالت ۱، از نحوه توزیع سه ذره روی ترازهای انرژی اطلاع دقیقی داریم؛ زیرا در این حالت فقط یک راه برای توزیع



چهره‌ای سخت‌کوش در دنیای شیمی

آشنایی با پروفسور مجتبی شمسی‌پور

حمید احمدی

دانشجوی دکترای علم اطلاعات و دانش‌شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

اشاره

ما انسان‌ها همواره در پی الگویی شایسته برای خود در زمینه‌های گوناگون علمی، اجتماعی و... هستیم و چه بسیار بر خود می‌بالیم اگر این الگو، یکی از شخصیت‌های بزرگ هم کیش و هم میهن ما باشد. برای دانش‌آموزان و معلمان ما در حوزه شیمی نیز جالب و مهم است که بدانند تلاش‌های علمی کشور ما در این حوزه چنان بوده است که دانشمندان این رشته در ردیف یک تا ده نویسنده برتر ایران قرار دارند. یکی از این شخصیت‌های بر جسته، پروفسور مجتبی شمسی‌پور است که در تمام حوزه‌های شیمی فعالیت دارد و افتخارهای فراوان در کشور و جهان آفریده است.

مجتبی شمسی‌پور در سال ۱۳۲۸ در کرمانشاه به دنیا آمد و تحصیلات خود را تا دیپلم، در زادگاهش به پایان رساند. در سال ۱۳۵۲ مدرک کارشناسی خود در شیمی را از دانشگاه صنعتی شریف دریافت کرد و پس از کسب مدرک کارشناسی ارشد در گرایش تجزیه از همین دانشگاه در سال ۱۳۵۴، برای ادامه تحصیل راهی خارج کشور شد. وی در سال ۱۳۵۸ از

کیفیت انرژی می‌شوند و آنترپوپی جهان را افزایش می‌دهند. در حالی که در فرایندهای برگشت‌پذیر خود به خودی که سامانه در هر مرحله با محیط‌اش در تعادل است، افت کیفیت انرژی اتفاق نمی‌افتد و آنترپوپی ایجاد نمی‌شود ولی انتقال آنترپوپی از یک قسمت جهان به قسمت دیگری ممکن است.

بنابر قانون دوم، کل آنترپوپی سامانه‌های منزوی هیچ‌گاه نمی‌تواند کم شود؛ آنترپوپی یا ثابت می‌ماند (فرایندهای برگشت‌پذیر) یا زیاد می‌شود (فرایندهای برگشت‌ناپذیر).

۶. در هر مورد، علت چیست؟

آ. هرگاه یک سامانه منزوی گاز با انرژی ثابت به حال خود رها شود، تمایل دارد به حالت تعادل نزدیک شود.

ب. هرگاه یک سامانه منزوی گاز ایده‌آل با انرژی ثابت به تعادل ترمودینامیکی می‌رسد، آنترپوپی ماکزیمم است.

آ. در چنین حالتی امکان توزیع انرژی سامانه از حالت متمرکز به حالت غیرمتمرکز فراهم می‌شود و میکروحالتهای بیشتری برای توزیع مولکول‌های گاز تشکیل دهنده سامانه در دسترس خواهد بود. پس می‌توان گفت حالت تعادل، ماکروحالتهایی است که حداقل تعداد میکروحالتهای را دارد و محتمل ترین حالت در دسترس به شمار می‌آید.

ب. از آنجا که مولکول‌های گازها همواره تمایل دارند در همه فضای سامانه‌ای که در اختیار دارند به طور یکنواخت جریان یابند، فقط در حالت تعادل است که راههای ممکن برای جریان یافتن یکنواخت انرژی‌های گرمایی در سامانه، بسیار بیشتر از راههای جریان یافتن آن در هر حالت ممکن دیگر خواهد بود.

۱. ایرالوین، شیمی فیزیک، ترجمه دکتر غلام‌رضا اسلام‌پور و دکتر غلام‌عباس پارسافر...، انتشارات فاطمی، چاپ پنجم، ۱۳۸۸.

۲. پیتر اتکینز، شیمی فیزیک (۱)، ترجمه دکتر سیف‌الله جلیلی، انتشارات علمی و فنی، چاپ دوم، ۱۳۸۸.

۳. دکتر سیف‌الله جلیلی، ترمودینامیک شیمیابی، انتشارات مدرسه، چاپ اول، ۱۳۸۷.

۴. دکتر غلام‌عباس پارسافر، بازتعریف آنترپوپی با رویکردی آموزشی، مجله رشد آموزش شیمی، شماره ۱۰۰.

۵. معصومه شاه‌محمدی، درک آنترپوپی به دور از کج فهمی، مجله رشد آموزش شیمی، شماره ۹۳.

۶. دکتر غلام‌عباس پارسافر، شیمی با نگرش تحلیلی، انتشارات فاطمی، چاپ اول، ۱۳۸۸.