چگونه همهٔ آب تبخیر می‌شود؟*

مترجم: احمد توحیدی

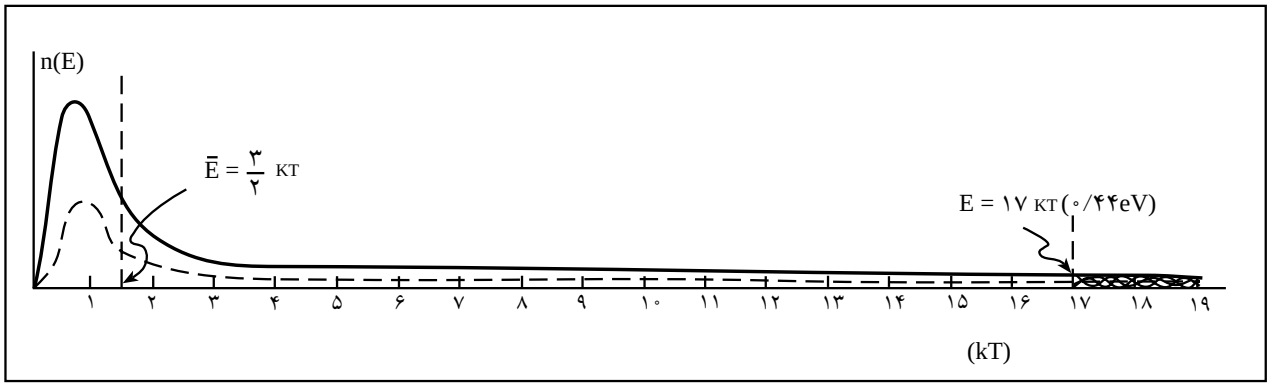
پرسش

اگر مولکول‌های آب مثلاً در دمای ۲۵°C تبخیر بشوند، لازم است که مولکول‌ها نوعاً معادلِ همان انرژی جنبشی مولکول‌های آب در درمای ۱۰۰°C را دارا باشند. می‌دانیم که به علّت توزیع سرعت مولکول‌ها، بعضی از آنها برای تَرک مایع انرژی کافی دارند. امّا چرا سرانجام همهٔ مولکول‌ها تبخیر می‌شوند؟

پاسخ

واقعاً آب یک بشقاب در دمای معمولی کاملاً تبخیر و در شرایط عادی به شکل بخار در می‌آید، مولکول‌های تبخیر شده آنهایی هستند که در سطح مایع واقعند و انرژی جنبشیِ کافی برای غلبه بر نیروی ربایشی واندروالسی مولکول‌های مجاورِ خود در مایع را دارند. حرکتِ مولکولی حاصلِ برخورد کاتوره‌ای مولکول‌ها است. در این برخوردها بعضی از آنها سرعت‌هایی معادل سرعت مولکول‌ها در دماهای اَبَر گرم به دست می‌آورند و بعضی دیگر چنان به حدّ توقف می‌رسند که انرژی جنبشی آنها معادل سرعتِ مولکول‌های نزدیک به دمای صفر مطلق است. به علّت اینکه برخوردها پیوسته باز توزیع می‌شود، ممکن است مولکولهایی با حداکثر انرژی در یک لحظه، در لحظه دیگر حداقل انرژی را به دست آورند.

در شکل زیر توزیع انرژی جنبشی مولکول‌ها در دمایی ویژه نشان داده شده است. محور yها تعداد مولکول‌ها در واحد انرژی n(E) و محور xها انرژی جنبشی مولکول‌ها را بر حسب KT نشان می‌دهند. انرژی جنبشی متوسط مولکول‌ها ($\frac{۳}{۲}$KT) در این گسترهٔ پهن از انرژی دمای آب را معین می‌کند. سرعت متوسط مولکول‌ها در دمای ۲۵°C به حدّی نیست که با این مقدار انرژی جنبشی، مولکول‌ها بتوانند سطح مایع را ترک کنند. زیرا تحرک مولکول‌ها با این مقدار انرژی جنبشی در مقایسه با انرژی جنبشی آنها در دمای ۱۰۰°C



بسیار کم است. آن دسته از مولکول‌ها می‌تواند تبخیر شوند که انرژی جنبشی آنها متناظر با دمای بالاتر از ۳۴۰۰k باشد! چرا؟ زیرا مولکول‌ها باید بَر «تابع تبخیری» بالای آب غلبه کنند ـ گرمای ویژهٔ نهان تبخیر آب در دمای $100^{\circ}C$ برابر با $22/6 \times 10^5$ ژول بر کیلوگرم (۵۴۰ کالری بر گرم) و در دمای $25^{\circ}C$ کمی از این مقدار بیشتر است. این مقدار در دماهای بالا در حدود ۰/۴ev برای هر مولکول آب و برای آب در دمای $25^{\circ}C$ کمی بیش از ۱۷KT است که این مقدار در انتهای منحنی توزیع انرژی قرار دارد. بنابراین، تنها تعداد بسیار کمی از مولکول‌ها که دارای انرژی بیش از ۱۷KT هستند می‌توانند تبخیر شوند. جای هیچ شگفتی نیست که تبخیر بسیار آهسته صورت می‌گیرد.

با ادامهٔ تبخیر، دمای مایع کاهش می‌یابد. زیرا مولکول‌های پُر انرژی بخار می‌شوند و مایع را ترک می‌کنند و آنها که باقی می‌مانند انرژی کمی دارد. اگر سرد شدن ادامه پیدا کند، منحنی توزیع انرژی به سوی انرژی‌های کمتر جابه‌جا می‌شود و آهنگ تبخیر هم با همین قیاس کاهش می‌یابد. امّا چون بشقاب عایق گرمایی نیست، این اتفاق روی نمی‌دهد. زیرا گرما از محیط به آب کمی سرد شده می‌رسد. بنابراین مولکول‌هایی از توزیع اولّیه جای مولکول‌های تبخیر شده را می‌گیرند. در نتیجه اساساً گسترهٔ توزیع انرژی در هنگام فرآیند ثابت باقی می‌ماند. منحنی نقطه‌چین مشخص کنندهٔ توزیع مولکول‌ها هنگامی است که نیمی از مقدار آب تبخیر شده است. با کاهش منبع تأمین کننده انرژی برای بقیهٔ مایع تعداد کمی از مولکول‌هایی که انرژی‌هایی بزرگ‌تر از KT دارند باقی می‌مانند. حتی چند تا مولکول‌های آخری هم به حالت بخار در می‌آیند و انرژی لازم اضافی برای غلبه بر نیروی ربایشی متقابلشان را از محیط تأمین می‌کنند.

آنچه را که ما فرآیند تبخیر می‌نامیم، در واقع اثر خالص دو فرآیند است. در همان زمان که مولکول‌ها از سطح مایع بیرون می‌آیند، دیگر مولکولهایی آب که در بخار بالای سطح مایع هستند، به داخل مایع کشیده می‌شوند. این مبادله پیوسته است. هنگامی که آهنگ مولکول‌هایی که از مایع بخار می‌شوند، با آهنگ مولکول‌هایی از بخار که به مایع برمی‌گردند برابر شود، حالت تعادل برقرار می‌شود. اگر چگالی بخار را کم کنیم، میعان کاهش می‌یابد و حالت تعادل از بین می‌رود. اثر خالص این رویداد رفتن مولکول‌های بیشتری از مایع به حالت بخار است. اگر به محض تشکیل بخار، سریعاً برداشته شود به طوری که حالت میعان کاملاً از بین رَود، بیشینه آهنگ تبخیر را برای یک دمای ویژه به دست می‌آوریم.

بر پایهٔ نکته‌های بالاست که برای سرد کردن یک فنجان چای، آن را فوت می‌کنیم. با خروج بخار آب از هوای بالای فنجانِ چای، تبخیر سریع‌تر انجام می‌شود. اگر به فوت کردن ادامه دهیم زمانِ رسیدنِ دمای چای به دمای معمولی بسیار کوتاهتر می‌شود. امّا نمی‌توان این روش را برای سرد کردن چای به طور نامحدود ادامه داد. زیرا گرمای محیط مانع تلاش ما خواهد شد. امّا اگر به فوت کردن خود ادامه دهیم چای سریعتر از زمانی که فوت نمی‌کنیم، تبخیر می‌شود.

* How is it that all the water evaporates?

مرجع:

The Physics Teacher, October 1981, P. 492-493