تعداد و اندازهٔ اتم‌ها در یک نقطهٔ چاپی

بت‌شیفر و همکاران
ترجمهٔ احمد توحیدی

شاگردان مدارس ابتدایی می‌دانند اتم‌ها بسیار بسیار کوچک‌اند. همچنین به آن‌ها یاد می‌دهند که اتم‌ها (و مولکول‌ها) اجزای بنیادی جهان مادی هستند. اغلب تعداد و اندازهٔ آن‌ها هم داده می‌شود امّا با این همه، تجسم اندازهٔ آن‌ها نسبت به چیزهای معمولی دور و بر مشکل است. برای این‌که شاگردان شناختی کمّی از اندازهٔ اتم‌ها به دست آورند، مسئله را با این پرسش بررسی کرده‌ایم که چند اتم در یک نقطهٔ چاپی آخر جمله (.) وجود دارد؟ در این مقاله تعداد اتم‌هایک یک نقطه مشخص و دربارهٔ معادلهٔ تعیین شعاع اتم نیز بحث شده است.

برای تعیین تعداد و اندازهٔ یک اتم، نقطه‌ای را در نظر بگیرید که لیزری یا مرکبی روی یک ورقهٔ کاغذ چاپ کرده است. هر قطرهٔ مرکب شامل کربنِ سیاه حل شده در یک محلول فَرّار است. چند ثانیه پس از چاپ، فقط مقدار بسیار کمی از کربن خالص روی کاغذ باقی می‌ماند. وارسی نقطه به کمک ذره‌بین یا میکروسکوپ نشان می‌دهد که این نقطه تقریباً شبیه یک «پن‌کیک» استوانه‌ای بسیار نازک است. اکنون تعداد اتم‌های این نقطه را برآورد می‌کنیم.

حجم استوانه‌ای نقطه V_{CYL} برابر است با

$$V_{CYL} = \pi R^2 H, \qquad (1)$$

که R شعاعِ نقطه و H ارتفاعِ (ضخامت) آن است. بنابراین، جرم نقطه m_x

$$m_x = \rho_x V_{CYL} \qquad (2)$$

که ρ_x چگالی نقطه است. در رابطه(۲) شاخص پایین X مربوط به ترکیب شیمیایی نقطه است. تعداد مول‌ها M_x در نقطه برابر است با

$$M_x = \frac{m_x}{X} = \frac{\rho_x V_{CYL}}{X}, \qquad (3)$$

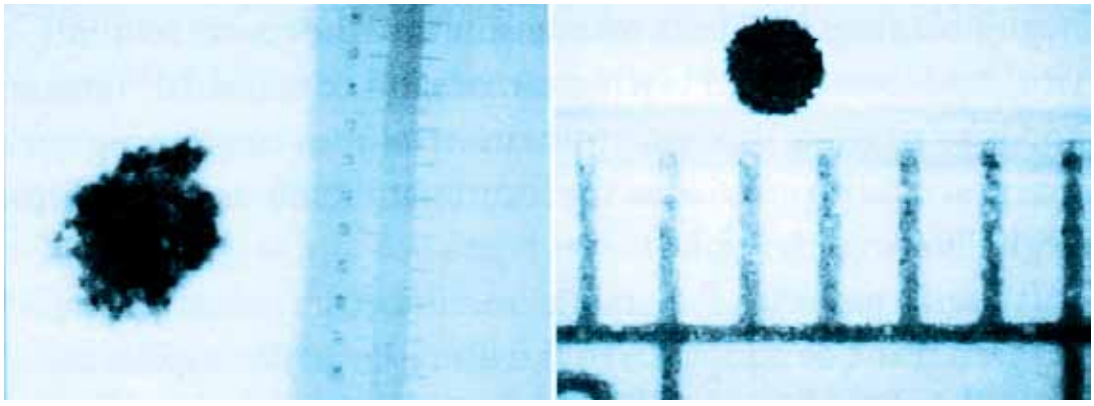
که X وزن مولی اتم (g/mol) است. تعداد اتم‌ها، nx، در نقطه با ضرب کردن رابطهٔ (۳) در عدد آووگادرو، N به‌دست می‌آید.

$$n_x = N.M_x = N.\frac{\rho_x V_{CYL}}{X}. \qquad (4)$$

با قراردادن رابطهٔ (۱) برای حجم در رابطهٔ (۴) و قراردادن $D=2R$ رابطهٔ زیر حاصل می‌شود.

$$n_x = \frac{N \rho_x}{X}\left[\frac{\pi H D^2}{4}\right] \qquad (5)$$

ارتفاع «پن‌کیک»؛ با استفاده از میکروسکوپ به صورت دیداری در حدود ضخامت متوسط یک ورقهٔ کاغذ ۵۰ گرمی



منظره‌های بزرگ شده نقطه‌های چاپی. چپ: فونت۱۲. راست: فونت ۲۸.

برآورد شـد (به سـختی می‌توان مرکـب را در طرف دیگر آن دید) ضخامت متوسط کاغذ ۵۰ گرمی ۰/۰۱۰cm=۱۰mm/۰ به‌دست می‌آید. قطر نقطه را می‌توان با یک خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیـری کـرد. تصویر اندازه‌هـای دو نقطه بـا فونت‌های (قلم‌های) مختلف در شکل (۱) نشان داده شده است.

بـرای یـک نقطـه بـا فونـت ۱۲، قطـر تقریبـاً D=۰/۰۵۲mm=۰/۰۵۲cm به‌دسـت آمـد. چگالی، ρ_c ، کربنِ سـیاه به اندازهٔ قطر بستگی دارد، اندازهٔ ذرات کربن سیاه در مرکب (در مقایسـه با ذرات موجود در تایرهای لاسـتیکی کوچـک اسـت) و چگالـی آن در حـدود $2/01 \frac{g}{cm^3}$ فرض می‌شـود. وزن مولی کربـن ۱۲/۰۱۱ g/mol و عدد آووگادرو $N = 6/023 \times 10^{23}$ اتم/mol اسـت. با قرار دادن این مقدارها در رابطه (۵) رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

$$n_c = \frac{6/023\times10^{23}\ /\mathrm{mol} \times 2/01\ \mathrm{g/cm^3}}{12/01\ \mathrm{g/mol}} \left[\frac{\pi(0/052\mathrm{cm})^2(0/01\mathrm{cm})}{4}\right] = 2/14\times10^{18}$$

(۶)

بنابرایـن، در یک نقطه تقریباً $2/14 \times 10^{18}$ اتم وجود دارد؛ یعنـی یک میلیارد، میلیارد اتم کربن در یک نقطه وجود دارد. اتم‌ها واقعاً کوچک‌اند.

اکنون با اطلاعات پیشین فقط یک گام کوچک تا محاسبه قطر یک اتم کربن فاصله داریم. همچنین فرض شـده است که مرکب روی کاغذ پخش می‌شود و تقریباً استوانه‌ای را تشکیل می‌دهد. اتم‌های کربن در زمینهٔ کاغذ جذب شده‌اند. فرض شده است استوانه فقط شامل اتم‌های کربن است. قطر یک اتم کربن را می‌توان به آسانی با تقسیم حجم استوانه، رابطهٔ (۱)، بر تعداد اتم‌ها، معادلهٔ (۶) برآورد کرد.

$$V_c = \frac{V_{CYL}}{n_c} = \frac{V_{CYL}}{n_c} = \frac{V_{CYL}}{\frac{N\rho_c}{X_c}V_{CYL}} = \frac{X_c}{N\rho_c} = 9/92\times10^{-24}\ \mathrm{cm^3} \quad (۷)$$

$$d_c = \sqrt[3]{V_c} = \sqrt[3]{9/92\times10^{-24}\ \mathrm{cm^3}} = 2/1\times10^{-8}\ \mathrm{cm}$$

این مقـدار قطر تقریبی یک اتم کربن اسـت. توجه کنید که در معادلهٔ (۷) لازم نیسـت ابعاد نقطه را بدانیم تا شعاع آن را پیدا کنیم. فقط بایـد مقدارهای تقریبی چگالی کربنِ به‌کار رفته را بدانیم.

شـعاع کووالانسـی اندازه‌گیـری شـده برای اتـم کربن $r \sim 0/70\times10^{-10}\ \mathrm{m}$

بنابراین، برآوردی که در این مقاله برای شـعاع اتم کربن به دسـت آمـده اسـت $r \sim 1\times10^{-10}\ \mathrm{m}$ ، سـازگاری خوبی با مقدارهای منتشر شده دارد.

سرانجام، هدف اصلی مقاله این بود که نشان دهیم چگونه و اتم‌ها در مقایسـه با به جهان «روزمرهٔ» ما کوچک‌اند. احتمالاً شاگردان از درک این موضوع شگفت‌زده می‌شوند که حتی در موجودی کوچک مانند «نقطه» تقریبـاً میلیاردها میلیارد اتم

پی‌نوشت

1. An Estimation of the Number and Size of Atoms in a Printed Period.

منابع

1. The Physics Teacher Vol. 49, october 2001