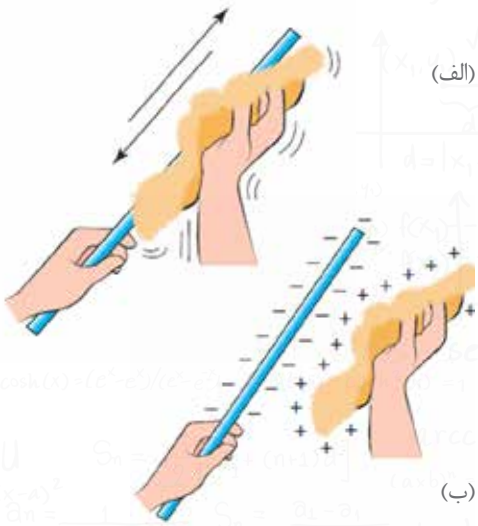
روح‌الله خلیلی‌بروجنی[۱]

چه تعداد الکترون جابه‌جا می‌شود؟

وقتی با شانه‌ای پلاستیکی موهای سر خود را مرتب می‌کنیم، یا هر جسم پلاستیکی دیگری مانند یک نی نوشابه را برای چند لحظه با موهای خود یا پارچه پشمی مالش دهیم (شکل ۱)، مرتبهٔ بزرگی تعداد الکترون‌هایی که بین جسم و موها جابه‌جا می‌شود چقدر است؟ یا وقتی درون خودرو می‌نشینیم و لباس ما روی صندلی کشیده می‌شود چه تعداد الکترون بین لباس و رویهٔ صندلی جابه‌جا می‌شود؟ در کتاب‌های درسی مختلف، معمولاً می‌نویسند در هر یک از این مثال‌هایی که اشاره کردیم بین یک تا ۱۰۰ میلیارد الکترون جابه‌جا می‌شوند بدون آنکه به روش رسیدن به این عددها اشاره‌ای داشته باشند.



شکل ۱ میلهٔ پلاستیکی یا نی نوشابه در حال مالش با پارچهٔ پشمی. (الف) در حال مالش و (ب) پس از مالش. تعداد بارهای منفی روی میله و پارچه به طور نمادین است و تنها برای نشان دادن نوع بار الکتریکی هر جسم است.

به کمک یک ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم گرم که امروزه در بیشتر آزمایشگاه‌های مدارس نیز در دسترس است (شکل ۲) و کمی محاسبهٔ ریاضی در حد ریاضیات دورهٔ متوسطهٔ اول، می‌توان به‌طور تجربی و محاسباتی به این پرسش‌ها پاسخ داد و هم آنچه در برخی از کتاب‌های درسی اشاره می‌شود را راست‌آزمایی کنیم.

شکل ۲. ترازوی دیجیتال و نشان دادن دقت آن

شکل ۳- الف یک نی نوشابه را بالای کفهٔ یک ترازوی دیجیتال نشان می‌دهد که در فاصلهٔ کمی از سطح کفه قرار گرفته است. شکل ۳- ب همان ترازو و نی نوشابه را در نشان می‌دهد ولی این بار ترازو یک مقدار منفی را نشان می‌دهد! به نظر شما چه اتفاقی افتاده است که ترازو مقداری منفی را نشان می‌دهد؟ اگر کمی فکر کنید و به آنچه در علوم هشتم در خصوص الکتریسیته فراگرفتید خوب توجه کرده باشید می‌توانید به این پرسش پاسخی درست بدهید. برای راهنمایی بیشتر، خوب است اشاره کنم که وقتی کفهٔ یک ترازوی دیجیتال به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به طرف بالا کشیده شود مقداری منفی را نشان می‌دهد و این یکی از ویژگی‌های ترازوهای دیجیتال است.

(الف)

(ب)

شکل ۳ در هر دو شکل الف و ب نی نوشابه با کفهٔ ترازو تماسی ندارد و کمی بالاتر از سطح کفه نگه داشته شده است. در شکل الف ترزاو مقدار صفر و در شکل ب مقداری منفی را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در فصل الکتریسیته علوم سال هشتم دیدید وقتی جسمی نارسانا، مانند یک نی نوشابه را با موی سر خود مالش می‌دهیم باردار می‌شود. همچنین وقتی این نی نوشابه باردار را به یک قطعه فلز، مانند کفهٔ فلزی ترازو نزدیک کنیم در آن بار الکتریکی مخالف نی نوشابه القا می‌شود (شکل ۴). به دلیل نیروی جاذبهٔ بین بارهای الکتریکی نی نوشابه و کفهٔ‌ترازو، کفهٔ ترازو اندکی به سمت بالا کشیده می‌شود و ترازو مقداری منفی را نشان می‌دهد. در اینجا فرض کرده‌ایم نی نوشابه هنگام مالش با موی سر دارای بار منفی شده است، یعنی الکترون‌ها از موی سر به نی نوشابه رفته‌اند.

هدف اصلی این نوشته آن است که ببینم هنگام مالش نی نوشابه با موی سر، بار الکتریکی آن از چه مرتبه‌ای است و چه تعداد الکترون از موی سربه نی نوشابه رفته است. به این منظور از مقداری که ترازو در شکل ۴ نشان می‌دهد شروع می‌کنیم. به این ترتیب داریم:

$$m = ۰/۴۴\ g$$

$$F = mg = (۰/۴۴\times۱۰^{-۳}\ kg)(۹/۸\ \frac{N}{kg}) \sim ۵\ mN$$

شکل ۴ نی نوشابهٔ باردار، سبب القای بارالکتریکی در کفهٔ فلزی ترازو می‌شود. نیروی جاذبهٔ بین بارهای الکتریکی، سبب می‌شود کفهٔ ترازو به بالا کشیده شود و مقداری منفی را نشان دهد.

این محاسبهٔ ساده نشان می‌دهد اندازهٔ نیروی الکتریکی بین دوجسم باردار، یعنی نی نوشابه و کفهٔ ترازو از مرتبهٔ میلی‌نیوتون است (علامت ~ نشان دهندهٔ مفهوم از مرتبه است؛ برای مثال وقتی گفته می‌شود کمیتی در فیزیک از مرتبهٔ $۱۰^{۴}$ است به این معناست که ضریب این عدد توان‌دار، عددی کوچک‌تر از ۵ است مثلاً $۴/۸\times۱۰^{۴}$). اگر بار الکتریکی در سر نی نوشابه و کفهٔ ترازو را نقطه‌ای فرض کنیم در این صورت از قانون کولن می‌توان استفاده کرد.

$$F = k\frac{q_۱q_۲}{r^{۲}} \Rightarrow ۵\times۱۰^{-۳}\ N = (۹\times۱۰^{۹}\ \frac{N.m^{۲}}{C^{۲}})\frac{q^{۲}}{۱۰^{-۶}\ m^{۲}}$$

در نتیجه داریم $q^{۲} \sim ۱۰^{-۱۸}\ C^{۲} \Rightarrow q \sim ۱۰^{-۹}\ C$

پس همان‌طور که نتیجهٔ محاسبه نشان می‌دهد بار الکتریکی ایجاد شده هنگام مالش نی نوشابه یا شانهٔ پلاستیکی با موی سر تقریباً از مرتبهٔ نانوکولن است (هر $۱۰^{-۹}$ برابر یک نانو است). برای آنکه تعداد الکترون جابه‌جا شده بین دو جسم نارسانا (مانند شانه پلاستیکی یا نی نوشابه با موی سر) که به یکدیگر مالش داده می‌شوند را پیدا کنیم از رابطهٔ $q = ne$ استفاده می‌کنیم. در این رابطه، e بار الکترون (که برابر منفی $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$ است) و n تعداد الکترون است. به این ترتیب با نتیجه‌ای که پیش از این به دست آوردیم خواهیم داشت

$$q = ne \Rightarrow ۱۰^{-۹}\ C = n(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C) \Rightarrow n \sim ۱۰^{۱۰}$$

توجه کنید که در اینجا با اندازهٔ بارهای الکتریکی سرو کار داریم و به همین دلیل در رابطهٔ بالا همه را به صورت مثبت در نظر گرفته‌ایم. به این ترتیب، همان‌طور که دیده می‌شد از مرتبهٔ ۱۰ میلیارد الکترون هنگام مالش دو جسم نارسانا (مانند شانه پلاستیکی یا نی نوشابه با موی سر) جابه‌جا می‌شود. به همین دلیل در برخی از کتاب‌های درسی در فرایند مالشی دو جسم نارسانا به یکدیگر، بین یک تا ۱۰۰ میلیارد الکترون جابه‌جا می‌شود.

پی‌نوشت

۱. گروه علوم تجربی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی متوسطهٔ نظری، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی