دو خطای رایج در آموزش فیزیک

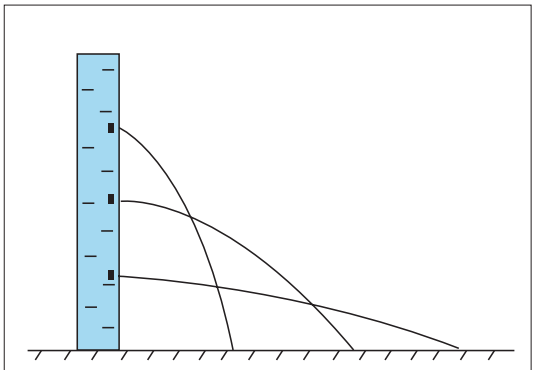
کریشنا اوجانی
krishnaojani@gmail.com

مقدمه

اینکه بیشترین بُرد فواره مربوط به پایین‌ترین سوراخ است و نیز اینکه انرژی درونی همواره با افزایش دما، افزایش می‌یابد، دو خطای متداول در کتاب‌های درسی فیزیک است و ما در این مقاله به آن می‌پردازیم.

کلیدواژه‌ها: فشار آب، برد فواره، انرژی درونی، افزایش دما

۱. در طرح درس پاره‌ای از کتاب‌های فیزیک مقدماتی، در ابتدای مبحث فشار آب، برای درکی شهودی از این موضوع که با افزایش عمق، فشار آب هم زیاد می‌شود آزمایشِ ساده‌ای را در نظر می‌گیرند که در آن از یک بطری (معمولاً) با سه سوراخ استفاده شده است که فواره‌های آب از آن‌ها بیرون می‌زند. با رسم شکلی مشابه شکل ۱، ادعا می‌شود که بیشترین برد فواره‌ها مربوط به پایین‌ترین سوراخ است که این حاکی از آن است که سرعت خروج آب و در نتیجه فشار آب در این حفره از همه بیشتر است.



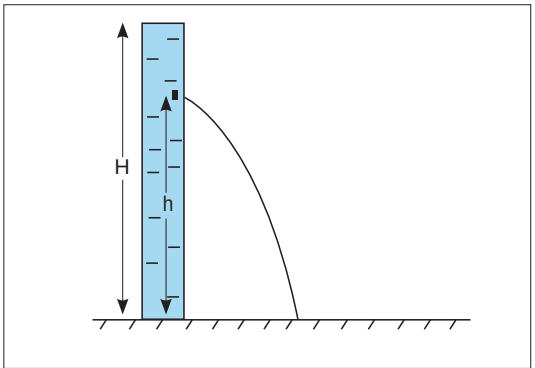
شکل ۱. طرحی که در پاره‌ای از کتاب‌های درسی رسم شده است.

جالب توجه است که در هیچ‌کدام از این کتاب‌ها، عکسی واقعی از این آزمایش چاپ نشده است و طرح درس‌ها همه مبتنی بر نقاشی یا ترسیم ساده‌ای است که ظاهراً ریشهٔ آن به سده‌ها قبل بازمی‌گردد. اما یک جست‌وجوی ساده در گوگل نشان می‌دهد که در واقع چنین اتفاقی نمی‌افتد؛ البته این

آزمایش را می‌توان با یک بطری نوشابهٔ خانواده نیز به سادگی انجام دارد و حقیقت مطلب را به چشم نیز دید. (شکل ۲)

شکل ۲. شکل واقعی از آزمایش.

همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، بیشترین برد فواره مربوط به سوراخ پایین نیست. پس، رمز کار در کجاست؟ به این منظور، ظرفی با یک سوراخ را در نظر بگیرید (شکل ۳). می‌خواهیم رابطه‌ای کلی برای برد فواره به‌دست آوریم.



شکل ۳. ارتفاع بطری آب H، و ارتفاع حفره h است.

با استفاده از اصل برنولی (که در واقع چیزی جز پایستگی انرژی نیست) به‌سادگی سرعت خروج فواره از حفره برابر مقدار زیر به‌دست می‌آید:

$$v = \sqrt{2g(H-h)} \qquad (۱)$$

در واقع، اگر تنها عامل مؤثر در برد پرتابه همین سرعت خروج فواره بود، استدلال کسانی که مدعی تعلق بیشترین برد به پایین‌ترین سوراخ هستند درست می‌بود، اما نکته این است که کمیت دیگری نیز در برد فواره تأثیر دارد و آن زمان پرواز است. از مکانیک کلاسیک می‌دانیم که:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \qquad (۲)$$

پس برای محاسبه برد فواره باید از رابطهٔ $x = \frac{1}{2} a_x t^2 + v_{ox} t$ استفاده کنیم.

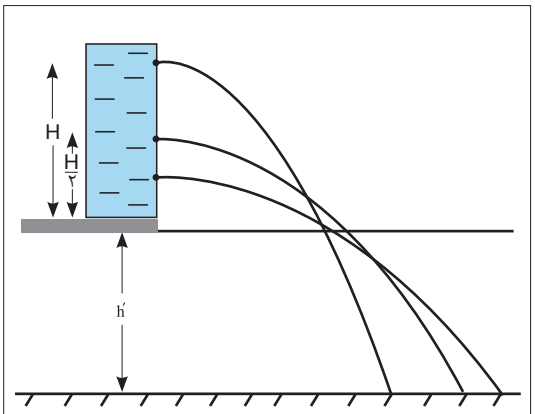
چون شتابی در راستای X نداریم، با فرض خروج افقی آب، خواهیم داشت:

$$R = vt = \sqrt{2g(H-h)(\frac{2h}{g})} = 2\sqrt{h(H-h)}$$

از این رابطه، به سادگی نتیجه می‌گیریم که بیشترین برد پرتابه مربوط به سوراخ میانی $h = H/2$ است، که این در شکل ۲ نیز دیده می‌شود [۱].

البته این مسئله، وقتی که بطری را روی پایه‌ای (مثلاً به ارتفاع h') قرار دهیم برطرف خواهد شد (شکل ٤) و در آن صورت به رابطهٔ زیر برای برد فواره خواهیم رسید [۲]:

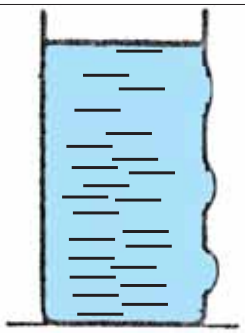
$$R = 2\sqrt{(h+h')(H-h)}$$



شکل ٤. با گذاشتن پایه، مشکل برطرف شده است. ولی این آزمایش بار آموزشی ندارد.

ولی شخصاً معتقدم چنین آزمایشی نباید صورت بگیرد، چرا که جنبهٔ آموزشی ندارد و دوباره این امر بر دانش‌آموزان مشتبه می‌شود که بیشترین برد مربوط به پایین‌ترین سوراخ

اســت. کتاب‌های درسی روسی برای اجتناب از این مشکل و برای آنکه زمان پرواز را از محاســبات کنار بگذارند پیشــنهاد داده‌انــد که روی حفره‌ها پرده‌های نازک کشســانی قرار داده شــود [۳]. پیداســت، پرده‌هایی که ســوراخ‌های پایین‌تر را گرفته‌اند بیشتر باد خواهند کرد و بدین ترتیب مشکل برطرف خواهد شد (شکل ۵).



▲ شکل ۵. پردهٔ کشسان در ارتفاع‌های کمتر، بیشتر باد می‌کند (شکل با اندکی اغراق رسم شده است). این آزمایش، بار آموزشی دارد.

۲. در کتــاب فیزیک (۱) و آزمایشــگاه [٤] دو عبارت، که ظاهراً همدیگر را نقض می‌کنند، همواره مورد پرســش دانش‌آموزان و دبیران فیزیک بوده اســت. در صفحهٔ ۹ این کتاب آمده است که وقتی مخلوط آب و یخ را گرم می‌کنیم، با اینکه انرژی درونی مخلوط افزایش می‌یابد، ولی دماسنج تغییر دمایی را نشــان نمی‌دهــد؛ در حالی‌که در صفحهٔ ۳۳ آمده است که با گرم شدن، انرژی درونی افزایش می‌یابد.

ایــن دو عبــارت، هــر دو در جــای خــود صحیح‌انــد، ولــی ظاهــراً با هم جمع نمی‌شــوند. به اعتقــاد نگارنده، تا هنگامی‌کــه منحنی‌های انرژی پتانســیل تدریس نشــود، پاســخ‌گویی به پرســش‌هایی از این دســت ناممکن است. تدریــس منحنی‌هــای انرژی‌های پتانســیل، نه‌تنها در این مورد بلکه در توضیح بسیاری از پدیده‌های مربوط به شاره، ترمودینامیک، الکتریســیته و مغناطیس و حتی هســته‌ای راه‌گشاست. متأسفانه مثال‌هایی از ترمودینامیک باعث این برداشــت نادرست شده است که تغییر انرژی درونی لزوماً با تغییر دما همراه است.

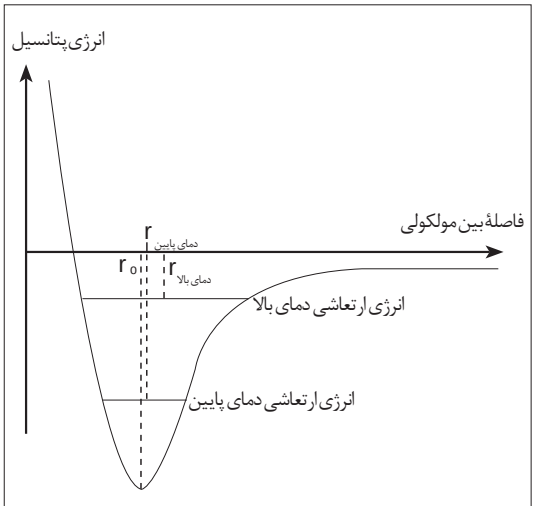
دوباره به مثال خود برگردیم و ببینیم با افزایش دما چه بر سر یخ می‌آید. به این پرسش بدون توجه به منحنی‌های انرژی پتانســیل بین‌مولکولی نمی‌توان پاســخ گفت. من در اینجا نمی‌خواهم به تشریح خودِ این منحنی‌ها بپردازم [۵].

صرفاً اشــاره می‌کنم که این منحنی‌ها (در اینجا) نیروهای بین مولکولی را توضیح می‌دهند. فاصلهٔ r_0 مربوط به حالت تعادل $F = 0$ است و با انحراف از r_0، نیروهای بین مولکولی می‌کوشند تعادل را بازگردانند. با افزایش r، بین مولکول‌ها نیروی جاذبه ظاهر می‌شــود، در حالی‌که با کاهش r نیروی دافعه بروز پیدا می‌کند.

امــا تأثیر دما بر این منحنی چیســت؟ با افزایش دمای یخ، عمق چاه پتانسیل (نمود قدرت پیوند بین مولکولی) کم می‌شــود که این ناشی از افزایش بسامد نوسان مولکول‌های یخ اســت. با افزایش تدریجی دامنهٔ این نوسان‌ها، سرانجام به وضعیتی می‌رســیم که جدا شدن یک مولکول H_2O از سطح یخ ساده می‌شود (شکل ٦).

پس، گرما، نه صــرف افزایش دمای یخ، بلکه صرف کم شــدن عمق چاه پتانســیل مولکولی می‌شود. اکنون پس از جدا شدن مولکول‌های H_2O از سطح یخ، تازه می‌توان وارد این بحث جدید شــد و پرســید که: انرژی درونی آب صفر درجه بیشتر است یا یخ صفر درجه؟

توجه کنید که در اینجا باز دما یکســان است و با وجود این از دو انرژی درونی صحبت می‌کنیم که یکی بیشــتر از دیگری اســت. در این مورد به کرّات اســتدلال شــده است کــه چون در یــخ صفر درجه فقط ارتعاش‌هــای مولکولی و در آب صفــر درجه علاوه بر ارتعــاش، انتقال و چرخش نیز داریم، انرژی درونی آب صفر درجه از یخ صفر درجه بیشتر است [٦].



▲ شکل٦. با افزایش دما، دامنهٔ نوسان مولکولی افزایش می‌یابد و عمق چاه پتانسیل کم می‌شود.

منابع

۱. در این مقاله با نگاهی دیگر به همیــن مســئله پرداخته شــده اســت: بیشــترین X مربوط به کدام سوراخ است؟ مجلهٔ رشــد آموزش فیزیک، شمارهٔ ۷۵، صفحهٔ ۱٦.

2. http://education.epsdivions.org/muse/G.Planisic,C.Uke and L.Viennot, February 2011

۳. مثــلاً نگاه کنید بــه: دورهٔ درســی فیزیــک، گ. س. لندســبرگ، انتشارات فاطمی ۱۳۸۰، صفحهٔ ۲۷۲.

٤. فیزیــک (۱) و آزمایشــگاه، ۱۳۹۲، دفتــر برنامه‌ریــزی و تألیف کتب درسی، صفحه‌های ۹ و ۳۳.

۵. بــرای یک مرور عالی بر این منحنی‌ها، مقالهٔ زیر را ببینید: مولکول‌هــا، اتم‌ها، و ســاختار داخلی اتم‌ها، مجلهٔ رشد آموزش فیزیک، شمارهٔ ۷۲، صفحهٔ ۹.

٦. گرمــای نهــان ذوب و گرمای ویــژهٔ آب، لیانکزی و فنگ‌لی. رشد آموزش فیزیک، شمارهٔ ۱۰۲. صفحهٔ ۲٦.