آموزشی

حرکت مایع‌ها در لوله‌های مویین

اسداله مرادخانی، فاطمه احمدی
دانشگاه شهید رجایی تهران

چکیده: در فیزیک سال دوم دبیرستان دانش‌آموزان با اثر مویینگی[1] آشنا می‌شوند. اما متأسفانه چون این مبحث فقط به صورت توضیحی در کتاب ارائه شده است دانش‌آموزان نمی‌توانند به خوبی درک کنند که مثلاً مایع تا چه اندازه در لوله‌ی مویین بالا می‌رود یا پایین می‌آید. در این مقاله ابتدا به توضیح اثر مویینگی می‌پردازیم و می‌بینیم چرا بعضی مایعات در لوله‌ی مویین بالا می‌روند و بعضی دیگر در لوله‌ی مویین پایین می‌آیند و سپس می‌کوشیم ثابت می‌کنیم مایع‌ها تا چه اندازه در لوله‌ی مویین بالا یا پایین می‌آیند.

کلیدواژه‌ها: لوله مویین، چسبندگی سطحی، اثر مویینگی.

مقدمه

یکی از اثرهای چسبندگی سطحی[2] پدیده‌ی مویینگی است. این پدیده بر اثر اختلاف بین اندازه‌ی نیروی چسبندگی سطحی با چسبندگی[3] به وجود می‌آید. هرگاه قسمتی از یک لوله با قطر کم (لوله‌ی مویین) را به طور عمودی وارد یک مایع کنیم با توجه به نوع مایع، ارتفاع مایع درون لوله تغییر می‌کند و مایع درون لوله بالا یا پایین می‌رود. به طور کلی:

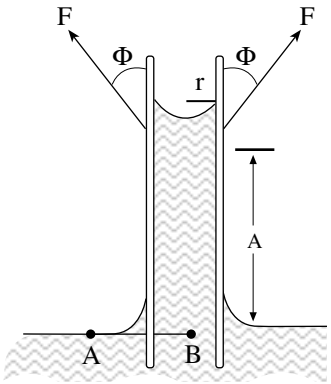
مایعی که لوله‌ی مویین را تر می‌کند (مانند آب) در لوله بالا می‌رود و مایعی که لوله را تر نمی‌کند (مانند جیوه) در آن پایین می‌رود.

شکل ۱ یک لوله‌ی مویین را نشان می‌دهد که قسمتی از آن وارد یک ظرف محتوی آب شده است. با توجه به شکل می‌توان این پرسش‌ها را مطرح کرد:

۱. چرا آب در لوله‌ی مویین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد؟

۲. چرا سطح آب در لوله‌ی مویین دارای فرورفتگی است؟

۳. آب تا چه اندازه در لوله‌ی مویین بالا می‌رود؟



شکل ۱

پاسخ پرسش ۱:

علت این رویداد این است که نیروی چسبندگی سطحی بین مولکول‌های آب و شیشه که در شکل الف با F نشان داده شده است، قوی‌تر از چسبندگی مولکول‌های آب به یکدیگر است. در نتیجه، مولکول‌های آب در داخل لوله را مولکول‌های سطحی لوله به بالا می‌کشند.

پاسخ پرسش ۲:

همین کشش (برایند نیروهای چسبندگی سطحی که به طرف بالا می‌باشد) به همراه وزن، باعث می‌شود که سطح آب در داخل لوله اندکی گود باشد.

پاسخ پرسش ۳:

با توجه به شکل ۱ برایند نیروهای چسبندگی سطحی به طرف بالا می‌باشد چون مؤلفه‌های افقی نیروهای چسبندگی سطحی یکدیگر را خنثی می‌کنند. اگر برایند نیروهای چسبندگی سطحی را با R نشان دهیم، برای فشار در دو نقطه‌ی A و B می‌توان چنین نوشت

$$P_A = P_\circ$$

$$P_B = \rho g h + P_\circ - \frac{R}{S}$$

S مساحت سطح مقطع لوله است.

اصل هم‌فشـــاری در نقطه‌های هم‌تـــراز یک مایع:
نقطه‌های هم‌تراز درون یک مایع یعنی نقطه‌هایی که در یک سطح قرار دارند هم‌فشارند.

با توجه اصل هم‌فشـــاری در نقاط هم تراز یک مایع چون دو نقطه‌ی A و B در یک سطح قرار دارند. بنابراین داریم:

$$P_A = P_B \Rightarrow P_\circ = \rho g h + P_\circ - \frac{R}{S} \Rightarrow \frac{R}{S} = \rho g h$$
$$\Rightarrow R = \rho g h s, V = h s$$

که در آن V حجم ســتونی از آب اســت که بالاتر از سطح آب درون ظرف است.

$$R = \rho V g \xrightarrow{m=\rho V} R = m g$$

یعنـــی آب تا جایی در لوله مویین بالا می‌رود که وزن آن مقدار آب که بالاتر از سطح آب در بیرون لوله است، با برآیند نیروهای چسبندگی سطحی برابر شود.

با توجه به نکته‌ی بالا می‌توان گفت هرچه سطح مقطع لوله کوچک‌تر باشـــد (مجرای لوله باریک‌تر باشد) آب تا ارتفاع بیشتری در آن بالا می‌آید:

چون نوع مایع و شیشـــه تغییر نکـــرده بنابراین برایند نیروهای چسبندگی سطحی ثابت است.

S مســـاحت سطح مقطع لوله‌ی پهن‌تر و S' مساحت سطح مقطع لوله‌ی باریک‌تر است. با توجه به شکل ۲ داریم

$S > S' \Rightarrow \frac{S}{S'} > 1$. با توجه به نکته‌ی گفته شده می‌خواهیم ثابت کنیم که $h' > h$ است.

$$R = mg = m'g \Rightarrow m = m' \Rightarrow \rho V = \rho V' \Rightarrow V = V'$$
$$\Rightarrow s h = s' h'$$

$$\frac{S}{S'} = \frac{h'}{h} > 1 \Rightarrow h' > h$$

شکل ۳ یک لوله مویین را نشان می‌دهد که قسمتی از آن وارد یک ظرف محتوی جیوه شده است. در مورد این شکل می‌توان این پرسش‌ها را مطرح کرد:

۱. چرا جیوه در لوله‌ی مویین پایین می‌رود و سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد؟

۲. چرا ســـطح جیوه در لوله‌ی مویین دارای برآمدگی است؟

۳. جیوه تا چه اندازه‌ای در لوله مویین پایین می‌رود؟

پاسخ پرسش ۱:

علت این رویداد این است که چون نیروی چسبندگی سطحی بین مولکول‌های جیوه و شیشه که در شکل ۳ با F نشـــان داده شده اســـت، کمتر از نیروی چسبندگی بین مولکول‌های جیوه است، مولکول‌های سطح جیوه در داخل لوله را مولکول‌های زیرین به پایین می‌کشند. همچنین برایند نیروهای چسبندگی سطحی به طرف پایین است.

پاسخ پرسش ۲:

فشار مایع و کشیده شدن مولکول‌های کناری به طرف وســـط لوله باعث می‌شود که ســـطح جیوه در داخل لوله اندکی برآمده شود.

پاسخ پرسش ۳:

با توجه به شـــکل ۳ برایند چسبندگی به طرف پایین اســـت، زیرا مؤلفه‌های افقی نیروهای چسبندگی سطحی یکدیگر را خنثی می‌کنند. اگر برایند نیروهای چسبندگی سطحی را با R نشان دهیم برای فشار در دو نقطه‌ی A و B می‌توان نوشت:

$$P_A = P_\circ + \frac{R}{S}\ ,\ P_B = P_\circ + \rho g h$$

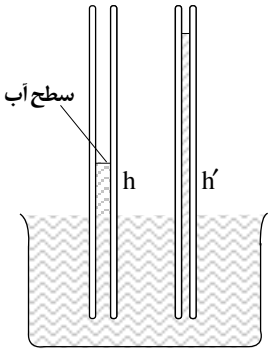
با توجه به اصل هم‌فشاری در نقاط هم‌تراز یک مایع داریم:

$$P_A = P_B \Rightarrow P_\circ + \frac{R}{S} = P_\circ + \rho g h \Rightarrow R = \rho g h s$$
$$\xrightarrow{V=hs} R = \rho v g \xrightarrow{m=\rho h} R = m g$$

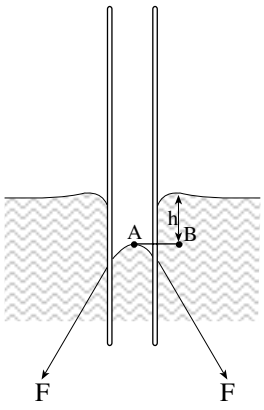
یعنی جیوه تا جایی در لوله‌ی مویین پایین می‌رود که وزن آن مقدار جیوه که پایین‌تر از سطح جیوه در بیرون لوله است با برایند نیروهای چسبندگی سطحی برابر شود.

همچنین دانستن نکته زیر مفید خواهد بود:

ارتفاعی که مایع در یک لوله مویین بالا می‌آید یا پایین می‌رود به طول لوله در بیرون و درون مایع بستگی ندارد و در مقدار معینی ثابت می‌ماند که بیش‌ترین مقدار آن است.



شکل ۲



شکل ۳

پی‌نوشت

1. Capillarity
2. Adhesion
3. Cohesion

منابع

۱. فیزیک ۲ و آزمایشگاه (۱۳۸۷). دفتر تألیف و برنامه‌ریزی کتب درسی.
۲. فقیه، حسین و گنجی، مصطفی. (۱۳۸۱). «از مدرسه تا دانشگاه فیزیک ۲». تهران: انتشارات مدرسه برهان.
۳. پزشپور، محمدعلی و خلیلی بروجنی، روح‌اله (۱۳۸۱). «کتاب کار و راهنمای مطالعه دانش‌آموز فیزیک ۲ و آزمایشگاه». تهران: مؤسسه فرهنگی فاطمی.
۴. رابرت رزنیک، دیوید هالیدی، کنت اس کرین. «فیزیک جلد ۲». ترجمه جلال‌الدین پاشایی راد، محمد خرمی، محمد بهاری، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
۵. هانس سی. اوهانیان. «فیزیک اوهانیان جلد دوم». ترجمه ناهید ملکی جبر سرایی. چاپخانه انتشارات علمی و فرهنگی. چاپ اول ۱۳۷۲.