نکته‌هایی دربارهٔ شناوری و غوطه‌وری

اژدر سلیمانپور با کفایت/ آموزش‌وپرورش ناحیه ۱ ارومیه
دبیر ریاضی دبیرستان هیئت امنایی و ماندگار شهید دکتر چمران

چکیده

در ایـن مقالـه، بـا بیـان و اثبـات دو رابطه سـاده و مهـم، مفهـوم شـناوری و غوطـه‌وری بررسـی شـده و بـه مـوارد مهـم در شـناوری و غوطـه‌وری اشـاره می‌شـود. بررسـی برخی از مسـائل مربوط به شناوری و غوطه‌وری بدون اسـتفاده از دو رابطه مذکور سـخت و امکان‌ناپذیـر خواهـد بود.

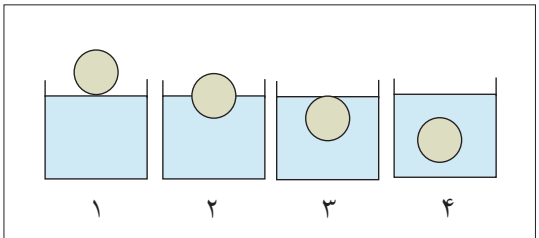
کلیدواژه‌ها: فیزیک دهم، شناوری، غوطه‌وری

۱. چگالی

در کتـاب فیزیـک ۱ دوره دوم متوسـطهٔ[۱] موضـوع چگالی بیـان و در سـال‌های بعدی از آن مفهوم اسـتفاده شـده اسـت. بـرای هـر دو رشـته تجربـی و ریاضـی، درک درسـت از مفهوم چگالی مورد نیاز اسـت. دو بحث شـناوری و غوطه‌وری مسـائل دقیقـی دارنـد کـه درک درسـت آن‌هـا آسـان نیسـت. بحـث اصلـی ایـن مقاله از دو پرسـش زیر شـروع شـده اسـت.

پرسش ۱

جسـمی را در درون شـاره‌ای قـرار داده‌ایـم؛ در کـدام یـک از حالت‌هـای شـکل ۱، چگالـی جسـم و چگالـی شـاره بـا هم برابرند؟



▲ شکل ۱: شکل مربوط به پرسش ۱.

پرسش ۲

اگـر درون ظرفـی جیـوه را به‌عنوان شـاره قرار دهیـم، با قرار دادن تکه‌ای از کدام ماده روی این شـاره، ماده در آن ته‌نشـین یا غوطه‌ور می‌شـود؟

۱) اورانیم ۲) طلا ۳) پلاتین ۴) همه موارد

در این مقاله سـعی شـده اسـت که با بیان و اثبـات دو رابطه سـاده و در عیـن حـال عمیق و کارا، یکی در رابطه با شـناوری و دیگری در مورد غوطه‌وری به دو پرسـش بالا پاسـخی دقیق داده و سـپس تمـام پرسـش‌های پیرامـون آن نیـز حل شـود. البته برخی از محاسـبات ریاضی از برنامه درسـی حذف شـده اسـت اما برای پاسـخ دادن سـریع و آسـان به مطالب مربوط به چگالی، دانسـتن ایـن دو رابطه لازم به‌نظر می‌رسـد.

۱.۱ شناوری

شـناوری جسـمی در یک شـاره یعنـی اینکه با قـرار گرفتن آن جسـم در سـطح آزاد آن شـاره، درصدی از حجم جسـم در شـاره فرو بـرود و درصدی از آن، بیرون شـاره باقـی بماند [۲]. در ایـن مـورد پرسـش ایـن اسـت که اگـر ۲۰ درصـد از حجم جسـم در شـاره‌ای فـرو رفته باشـد چگالی جسـم و شـاره چه رابطـه‌ای با هـم دارند؟

فـرض کنیـد جسـمی روی شـاره شـناور مانـده باشـد، بـه طـوری کـه درصـدی از حجـم جسـم در آن فرو رفته باشـد و بقیـه بیرون از شـاره بمانـد. در این صورت نیروی ارشمیدسـی رو بـه بـالا کـه برابـر وزن شـاره جابه‌جا شـده اسـت بایـد برابر با وزن جسـم باشـد زیرا جسـم روی شـاره شـناور مانـده و در تعـادل اسـت. بـا فـرض اینکـه F_B وزن آب جابه‌جا شـده، M_j جـرم جسـم، ρ_j چگالـی جسـم، ρ_s چگالـی شـاره، V_j حجـم جسـم، M_s جرم شـاره جابه‌جا شـده و V_s حجم شـاره جابه‌جا شـده باشـند آنـگاه می‌توان نوشـت:

$$F_B = M_j g = \rho_j v_j g$$

از طرفی وزن شاره جابه‌جاشده برابر است با:

$$M_s g = \rho_s V_s g$$

در نتیجه بنا به خاصیت ارشمیدسی، وزن شاره جابه‌جاشده نیز برابر وزن جسم است؛ پس از ترکیب دو رابطه به‌دست‌آمده با هم به‌دست می‌آوریم.

$$\rho_s V_s g = \rho_j V_j g \Rightarrow \frac{\rho_s}{p_j} = \frac{V_j}{V_s} \quad \text{و} \quad \text{(شناوری)}$$

رابطه (شناوری) بیان می‌کند که نسبت حجم جسم به حجم شاره جابه‌جاشده با نسبت چگالی شاره به چگالی جسم رابطه عکس دارد.

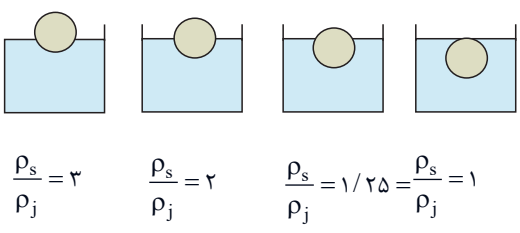
مثال ۱.۱. جسمی روی سطح آب شناور می‌ماند، به‌طوری‌که ۲۰ درصد حجمش بیرون آب است و بقیه در آب فرو رفته است. چگالی جسم کدام است؟

۱) $1250\frac{kg}{m^3}$ ۲) $800\frac{kg}{m^3}$ ۳) $8000\frac{kg}{m^3}$ ۴) $125\frac{kg}{m^3}$

حل: از رابطه شناوری و اینکه چگالی آب برابر $1000\frac{kg}{m^3}$ است داریم:

$$\frac{\rho_s}{\rho_j} = \frac{V_j}{V_s} \Rightarrow \frac{1000\frac{kg}{m^3}}{\rho_j} = \frac{V_j}{0/8V_j} = \frac{1}{0/8} \Rightarrow \rho_j = 800\frac{kg}{m^3}$$

از رابطه شناوری می‌توان نتیجه گرفت که در حالت شناور بودن یک جسم در یک شاره باید حاصل ρ_s / ρ_j بزرگ‌تر از یک باشد و گرنه شناوری رخ نمی‌دهد. شکل ۲ حالت‌های مختلف شناوری را نسبت به حجم فرورفته در شاره نشان می‌دهد. از شکل ۲ نتیجه می‌شود زمانی شناوری رخ می‌دهد که چگالی جسم از چگالی شاره کمتر باشد و در لحظه‌ای که برابر می‌شوند جسم از شناوری عبور می‌کند و در آستانه غوطه‌وری قرار می‌گیرد.



شکل ۲: حالات مختلف شناوری نسبت به حجم فرورفته

نسبت حجم جسم به حجم شاره جابه‌جاشده با نسبت چگالی شاره به چگالی جسم رابطه عکس دارد

۲.۱ غوطه‌وری

غوطه‌وری جسمی در یک شاره زمانی رخ می‌دهد که با قرار گرفتن آن جسم در سطح آزاد شاره، تمام حجم جسم در شاره فرو رود [۲]. پس در مورد حجم‌ها رابطه‌ای وجود ندارد. رابطه جدید، نسبت وزن جسم در داخل شاره به وزن جسم در بیرون شاره را در رابطه با نسبت چگالی شاره به چگالی جسم بیان می‌کند.

فرض کنیم جسمی در شاره غوطه‌ور شده باشد. وزن جسم در بیرون شاره برابر $W_\circ$ نیوتون و در داخل شاره و در حالت غوطه‌ور برابر W_a نیوتون باشد. در این صورت چون حجم شاره جابه‌جاشده با حجم جسم برابر است لذا:

$$W_a = W_\circ - M_s g \Rightarrow W_a = W_\circ - V_j \rho_s g$$

در نتیجه:

$$V_j = \frac{W_\circ - W_a}{\rho_s g}$$

با قرار دادن $V = \frac{M}{\rho}$ داریم:

$$\frac{M_j}{\rho_j} = \frac{W_\circ - W_a}{\rho_s g}$$

پس از تفکیک عامل‌ها:

$$\frac{\rho_s}{\rho j} = \frac{W_\circ - W_a}{M_{jg}} \Rightarrow \frac{\rho_s}{\rho j} = \frac{W_\circ - W_a}{W_\circ} = \frac{W_a}{W\circ}$$

در نتیجه رابطه غوطه‌وری حاصل می‌شود.

$$\frac{\rho_s}{\rho_j} = 1 - \frac{W_a}{W_\circ} \qquad \text{(غوطه‌وری)}$$

رابطه غوطه‌وری را این‌گونه می‌توان به یاد سپرد. اولاً در این رابطه نسبت چگالی‌ها با نسبت وزن جسم در بیرون و داخل شاره به همدیگر مرتبط می‌شود. ثانیاً هر دو کسر کمتر از یک هستند (این موضوع از تعریف غوطه‌وری حاصل می‌شود).[1] حتماً باید توجه کرد که کسرهای ρ_s / ρ_j در دو رابطه غوطه‌وری و شناوری را نباید با هم برابر گرفت؛ زیرا آن‌ها در دو حالت متفاوت و نامربوط به هم نوشته شده‌اند.

مثال ۱.۲. جسمی در هوا $40N$ و در حالت غوطه‌ور در آب $20N$ وزن دارد و در حالت غوطه‌ور در مایعی با چگالی نامعلوم $30N$ وزن دارد. چگالی مایع کدام است؟

۱) $1250\frac{kg}{m^3}$ ۲) $2000\frac{kg}{m^3}$ ۳) $8000\frac{kg}{m^3}$ ۴) $500\frac{kg}{m^3}$

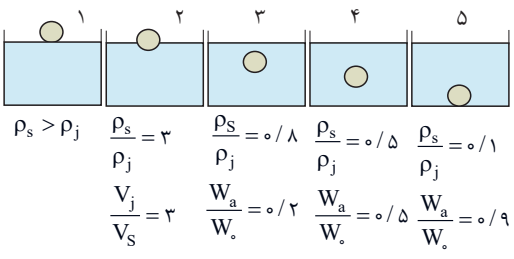
حل) با استفاده از رابطه‌غوطه‌وری:

$$\frac{\rho_s}{\rho_j} = 1 - \frac{W_a}{W_\circ} \Rightarrow \frac{1000}{\rho_j} = 1 - \frac{20}{40} \Rightarrow \rho_j = 2000\frac{kg}{m^3}$$

با استفاده مجدد از رابطه غوطه‌وری:

$$\frac{\rho_s}{\rho_j}=1-\frac{W_a}{W_\circ}\Rightarrow\frac{\rho_s}{2000}=1-\frac{3}{4}\Rightarrow\rho_s=500\frac{kg}{m^3}$$

با توجه به روابط شناوری و غوطه‌وری، مراحل مختلف جسم و شاره در حالت‌های مختلف، در شکل ۳ دیده می‌شود. واضح است هر چه نسبت $W_a / W_\circ$ به یک نزدیک شود آنگاه جسم غوطه‌ور به کف ظرف نزدیک‌تر خواهد بود.



▲ شکل ۳: از شناوری تا حالات مختلف غوطه‌وری

شرط غوطه‌وری این است که چگالی جسم از چگالی شاره بیشتر باشد. با نگاهی به جدول چگالی اجسام مختلف در کتاب دهم، در می‌یابیم که چگالی جیوه در بین مایعات از همه بیشتر است و جالب اینکه چگالی جیوه از چگالی آهن و مس نیز بیشتر است. همچنین چگالی آهن و مس از چگالی فولاد، که محکم‌تر از هر دو است، بیشتر است. به جمله جالب زیر می‌رسیم:

بیشتر بودن چگالی اجسام بیانگر مقاوم (سفت) بودن آن‌ها نیست.

درصد زیادی از دانش‌آموزان جمله بالا را در ابتدا اشتباه بیان می‌کنند و مقاوم بودن اجسام را نتیجه بیشتر بودن چگالی آن‌ها می‌دانند.

اما پاسخ دو پرسش مطرح‌شده در اول بحث چیست؟ در مورد اولی باید بگوییم در شکل ۱ حالت ۳ دارای نکته مهمی است و پاسخ پرسش نیز همین حالت است. این حالت انتهای شناوری و شروع غوطه‌وری است. بنا به رابطه شناوری باید چگالی شاره و چگالی جسم در این حالت برابر باشد و توجه داریم در این حالت بنابه رابطه غوطه‌وری، وزن جسم در داخل شاره صفر است. پاسخ پرسش دوم تمام موارد است. از رابطه غوطه‌وری درمی‌یابیم که زمانی اجسام داده‌شده در جیوه غوطه‌ور می‌شوند که چگالی آن‌ها از چگالی جیوه بیشتر باشد و با توجه به جدول چگالی اجسام همه موارد صحیح است.

مثال ۱.۳. جسمی به جرم kg ۲ را در شاره‌ای قرار می‌دهیم. چگالی جسم ۳ برابر چگالی شاره است. وزن جسم در درون شاره نسبت به وزن جسم در بیرون از شاره $(g=10\frac{N}{kg})$ چقدر کاهش می‌یابد؟

۱) $\frac{40}{3}N$ ۲) $\frac{20}{3}N$ ۳) $\frac{4}{3}N$ ۴) $\frac{2}{3}N$

حل) چون جسم غوطه‌ور است پس بنا به رابطه غوطه‌وری:

$$\frac{1}{3}=1-\frac{W_a}{W_\circ}\Rightarrow\frac{1}{3}=1-\frac{W_a}{20}\Rightarrow Wa=\frac{40}{3}N$$

پس کاهش وزن عبارت‌است از:

$$Wa-\frac{40}{3}=20-\frac{40}{3}=\frac{20}{3}N$$

۱.۳. چند تمرین برای پژوهش بیشتر

(۱) جسمی به وزن $W_\circ$ را درون شاره‌ای با چگالی ρ_2 می‌اندازیم. وزن جسم در داخل شاره ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. اگر چگالی جسم ρ_1 باشد کدام گزینه درست است؟

۱) $\rho_1=\rho_2$ ۲) $\rho_1>\rho_2$ ۳) $\rho_2=0/4\rho_1$ ۴) $\rho_2=0/6\rho_1$

(۲) جسمی به چگالی $2\frac{kg}{m^3}$ را درون شاره‌ای به چگالی $3\frac{kg}{m^3}$ قرار می‌دهیم. اگر جرم شاره جابه‌جاشده ۳ برابر جرم جسم باشد آنگاه حجم جسم جابه‌جاشده چند برابر حجم جسم است؟

۱) ۲ برابر ۲) نصف ۳) ۱ برابر ۴) امکان‌پذیر نیست.

(۳) تکه‌ای چوب و جسمی سربی به جرم یک کیلوگرم در کاسه‌ای پر از آب قرار دارند. جسم ۱ کیلوگرم را به کمک سیمی نازک از آب بیرون می‌آوریم؛ در نتیجه سطح آب کمی پایین می‌رود. سپس جسم سربی را روی تکه چوب می‌گذاریم و مجموعه به حالت شناور باقی می‌ماند. با گذاشتن جسم سربی روی چوب:

الف) آب از کاسه سرریز می‌شود.

ب) سطح آب مانند حالت قبل درست به لبه کاسه می‌رسد.

پ) سطح آب دوباره بالا می‌رود اما به لبه کاسه نمی‌رسد.

ت) اطلاعات کافی برای تعیین آنچه اتفاق می‌افتد نداریم.

(۴) چگالی هوای مایع $1000\frac{kg}{m^3}$ است. اگر همه هوای داخل اتاقی به ابعاد $3m\times 7m\times 5m$ متراکم شود، چند لیتر هوای مایع جمع می‌شود؟

(چگالی هوا $1\frac{kg}{m^3}$ است)

۱) ۱۰۵ ۲) ۱۴۷ ۳) ۰/۱۴۷ ۴) ۰/ ۱۰۵

پی‌نوشت

۱. این فرمول دقیقاً شبیه فرمول مربوط به محاسبه رسوب در بحث انحلال‌پذیری در شیمی است.

منابع

۱. شورای برنامه‌ریزی و تألیف گروه فیزیک، فیزیک ۱ سازمان پژوهش و برنامه‌نویسی آموزشی، پایه دهم، دوره دوم متوسطه ـ ۱۱۰۲۱۴، چ دوم، ۱۳۹۶.

۲. فرانک. ج. بلت، **فیزیک پایه** (سیالات، حرارت و امواج)، ترجمه محمد خرمی، چ دوم، مؤسسه فرهنگی فاطمی، چ هشتم، ۱۳۸۲.