آیا محدودیتی برای اندازهٔ قطره‌های آب در طبیعت وجود دارد؟

مایکل ولمر و کلاوس ـ پیتر مولمان، دانشگاه علوم کاربردی، براندنبورگ، آلمان
مترجم: صادق باقر آبادی، کارشناس ارشد فیزیک نظری، آموزش و پرورش ناحیه ۳ کرمانشاه

چکیده

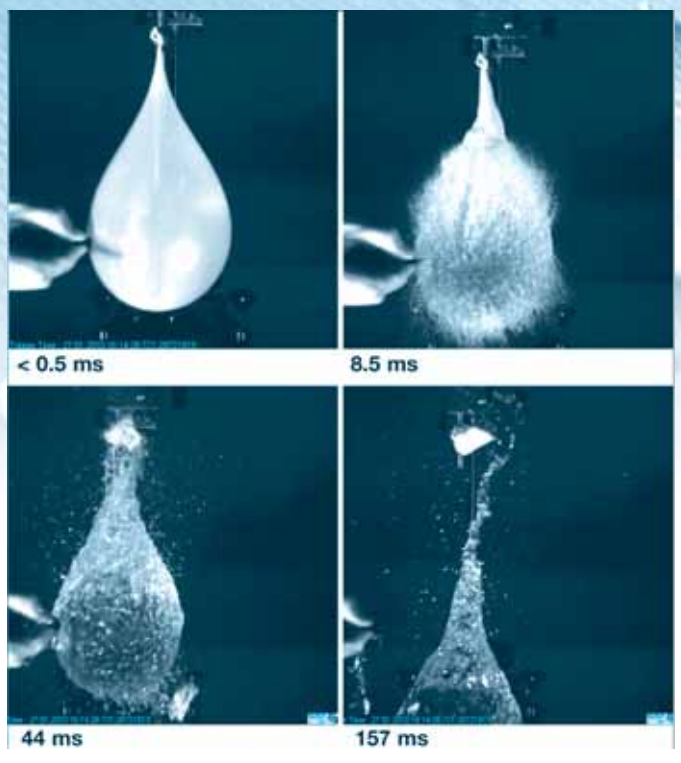
قطره‌های آب در طبیعت می‌توانند در اندازه و شکل‌های متفاوتی تشکیل شوند. برای مثال، ریزقطره‌هایی کوچک با قطرهایی از ۵ تا ۱۰ میکرومتر در مه و ابر وجود دارند. این مقدار برای اینکه گرانی بر رفتار آن‌ها حاکم باشد کافی نیست. اما اندازهٔ قطره‌های باران معمولاً از ۱، تا حدود ۵ میلی‌متر است که بزرگ‌ترین اندازهٔ آن در رگبارهای مناطق گرمسیری قابل مشاهده است. قابل ذکر است که میدان‌های الکتریکی جوّ زمین به بزرگ‌تر شدن این اندازه‌ها می‌انجامد. چه عوامل دیگری در بزرگ شدن اندازهٔ قطره‌های آب نقش دارد؟

کلیدواژه‌ها: اندازه قطره‌های آب، گرانش، زمین، فضا

برای آزمودن اینکه آیا قطره‌های بزرگ آب با اندازه‌های بالای ۱۰ میلی‌متر می‌توانند حالت پایدار داشته باشند، آزمایشی را انجام دادیم. یک بادکنک را با حدود ۲ لیتر آب پر کردیم (قطر افقی آن در حدود ۱۵ سانتی‌متر بود. سپس با زدن یک سوزن نوک‌تیز بادکنک را پاره کردیم و از لحظات پاره شدن آن عکس گرفتیم. می‌توان از دوربین‌هایی با سرعت بالا جهت بررسی این آزمایش استفاده کرد. شکل ۱، عکس‌های متوالی از آن را نشان می‌دهد. در این آزمایش، بعد از اینکه سوزن حفره‌ای را در سطح بادکنک ایجاد می‌کند پارگی با سرعت صوت که در اینجا چند صد متر بر ثانیه است در بادکنک توسعه می‌یابد. به هر حال، بعد از چند میلی‌ثانیه پوستهٔ بادکنک از بین می‌رود و آب درون آن که ابتدا ساکن است، شروع به سقوط آزاد می‌کند و با سرعت ۰/٤ متر بر ثانیه در مدت ٤۰ میلی‌ثانیه، حدود ۸ میلی‌متر را طی می‌کند. این اختلاف سرعت زیاد منظرهٔ جالب شکل ۱ را به وجود می‌آورد که شبیه یک قطره مایع بزرگ است و ظاهراً با اجتناب از گرانش در هوا معلق است.

شکل ۱ دو جنبهٔ جالب توجه را نشان می‌دهد. اول، جمع شدن بادکنک بر اثر پارگی افشانه‌ای از ریزقطره‌های کوچک را به وجود می‌آورد که از قطرهٔ بزرگ جدا شده‌اند. این ریزقطره‌ها ناشی از نیروهای چسبندگی بین سطح و آب هستند. هنگام جمع شدن سطح بادکنک لایه‌های آب مجاور آن شتاب می‌گیرند و افشانه شکل می‌گیرد. به محض اینکه نیروهای چسبندگی مسئول، کشش سطحی آب، سطحی کم و بیش هموار به وجود آورند این رفتار متوقف می‌شود.

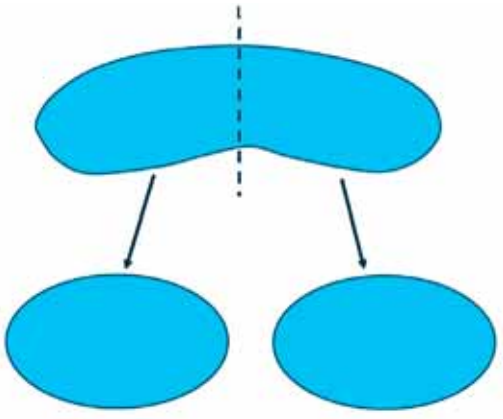
دوم، شکل این قطره در شروع سقوط شبیه چیزی است که بسیاری از هنرمندان به اشتباه فکر می‌کنند یک قطرهٔ در حال سقوط است. به‌هر حال این فقط مدت کوتاهی دوام می‌آورد و ناشی از شکل اولیه آب موجود در بادکنک است. در این آزمایش قطرهٔ بزرگ، قبل از اینکه معلوم شود که همچنان دست‌نخورده باقی مانده یا به شکل کروی در آمده است، از میدان دید دوربین خارج شده بود. بنابراین آزمایش را تکرار کردیم و آب بادکنک را از طبقهٔ دوم ساختمان دانشگاه



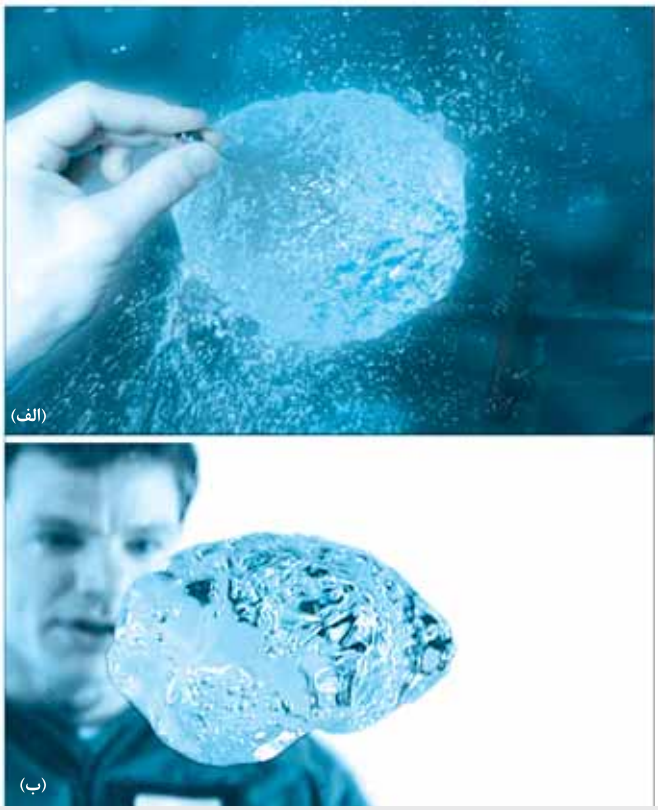
▲ شکل ۱. ترکیدن یک بادکنک پر از آب که با ۴۰۰۰ fps ثبت شده است. پارگی پوست بادکنک با سرعت خیلی زیاد و در مدت چند میلی‌ثانیه صورت می‌گیرد. سقوط آزاد قطره «بزرگ» آب از قانون گرانش پیروی می‌کند و بسیار کندتر است.

در ارتفاع حدود ۹ متری رها کردیم تا سقوط کند. شکل ۲ دو عکس این عمل را نشان می‌دهد. قطرهٔ ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری قبل از اینکه به ریزقطره‌های کوچک تبدیل شود، ۵ تا ۷ متر سقوط کرد و تا این لحظه کم و بیش بدون تغییر باقی ماند. برای قطره‌های بزرگ حجم اولیه حدود ۱ لیتر آب، به آسانی توانستیم برآورد کنیم که حدود ۱ میلیون ریزقطره با قطری حدود ۱ تا ۲ میلی‌متر تشکیل شده است. (که کم و بیش به توزیع اندازه بستگی دارد.)

▲ شکل ۲. (الف) سقوط قطره بادکنکی از ارتفاع $\approx 8.8\,m$ به علت محدودیت قدرت تفکیک فضایی دوربین با سرعت بالا (۵۱۲ ×۵۱۲ پیکسل)، تصاویر با یک دوربین دیجیتالی مرتب ثبت می‌شوند $s \approx 0.05$ و (ب) $1.1\,m$ بعد از شروع حرکت.



▲ شکل ۳. طرحواره از سازوکار تقسیم قطره‌های بزرگ



▲ شکل ٤. آزمایش‌هایی با قطره‌های بزرگ آب در شرایط کاهش گرانی در پروازهای سهمی‌وار. (الف) پاشیدن قطرات آب بعد از زدن سوزن به سطح بادکنک و (ب) قطره نوسان‌کننده را نیروی کشش سطحی کنار هم نگه می‌دارد.

چرا قطره‌های بزرگ تجزیه می‌شوند؟ به‌طور اجمال، به علت تأثیر متقابل گرانش، نیروهای «اصطکاک» آئرودینامیکی در حال سقوط و کشش سطحی بزرگ‌ترین قطره مشاهده شده در رگبارهای باران قطری در حدود ۵ میلی‌متر و در آزمایشگاه در حدود ۹ میلی‌متر است. با این همه، سازوکارهای تقسیم قطره‌های آب برای دو حالت متفاوت است: در رگبارهای باران طبیعی تجزیه قطره‌های آب ناشی از برخورد در طی سقوط آزاد است، در حالی که تجزیهٔ قطره‌های بزرگ در آزمایشگاه به علت سازوکار تجزیهٔ آئرودینامیکی است. به‌طور کیفی می‌توان آن را به‌صورت زیر فهمید (شکل ۳): در طی سقوط، قطره‌های بزرگ پهن می‌شوند و قسمت پایین آن‌ها به‌صورت کاو در می‌آید. به علاوه، نیروهای وارد بر قطره‌ها معمولاً باعث نوسان شکل آن می‌شوند. در اندازه‌های بحرانی (به‌طور مثال ۱۰ ـ ۹ میلی‌متر) شاید یک قطرهٔ بزرگ به دو قطرهٔ کوچک با اندازهٔ یکسان شکسته شود. طرح این شکست قطره‌های بزرگ شبیه شکافت هسته‌های بزرگ در مدل قطره مایع هسته‌هایی اتمی است.

چون گرانش جزء اصلی سازوکار شکسته شدن قطره‌های آب است، این پرسش مطرح می‌شود که آیا در شرایط بی‌وزنی یا شرایطی که گرانش به مقدار زیاد کاهش می‌یابد هم قطره‌ها تجزیه می‌شوند. این موضوع به‌صورت کیفی در ایستگاه فضایی بین‌المللی همچنین در پروازهای سهمی‌وار آزمایش شده است.

اولین آزمایش‌های ISS نشان می‌داد که فضانوردان چگونه در بی‌وزنی آب می‌نوشند. آب به آرامی از سر لوله بیرون می‌آمد که باعث می‌شد قطره‌های آب به قطر چند سانتی‌متری تشکیل شوند که پایدار نیز بودند و مدتی طولانی باقی می‌ماندند تا فضانوردان آن را بگیرند. ISS آزمایش‌های زیاد دیگری را با قطره‌های بزرگ آب به کمک دن پتی فضانورد انجام داد که شامل انتشار موج، امواج ضربه‌ای و حباب‌های هوا از درون کره‌های آب بود.

آزمایش‌هایی شبیه آنچه در شکل ۱ با پاره کردن سطح بادکنک پر از آب انجام شد، در شرایط گرانش بسیار کاهش یافته به‌طور زنده توسط ۹ ـ DC ناسا در پروازهای سهمی‌وار، انجام شد. مانند آزمایش گرانی شکل ۱ (ب) در ابتدا می‌توان افشانهٔ ریزقطره‌های آب بعد از پاره شدن سطح بادکنک شکل ٤ (الف) را مشاهده کرد. پس از این افشانه، قطره غول‌آسای آب با حجمی حدود ۱ لیتر که فقط کشش سطحی آن را نگه داشته است در فضا شناور می‌شود شکل ٤ (ب). نوسان‌هایی که به کندی میرا می‌شوند درون این قطرهٔ بسیار بزرگ آب به وجود آمد که منظره‌ای شگفت‌انگیز و زیبا ایجاد کرد. آن‌ها به علت عدم تقارن ناشی از پارگی پوستهٔ بادکنک به وجود آمده بودند. چه مدت این نوسان‌ها قابل مشاهده‌اند؟ در محیطی که g صفر باشد، هیچ حرکت نسبی بین قطره و هوای اطراف که لازمهٔ نیروی آئرودینامیکی برای شکسته شدن قطره است، وجود ندارد. بنابراین شاید قطره تا وقتی که اختلالی خارجی به وجود آید باقی بماند. در آزمایش‌های ۹ ـ DC فعلی قطره‌ها تا برقراری مجدد گرانش در پایان مرحلهٔ پرواز سهمی چندین ثانیه دوام آوردند.

این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که نه فقط بچه‌ها بلکه دانشمندان و فضانوردان هم می‌توانند با قطره‌های آب روی زمین و در فضا سرگرم شوند و در پاسخ به پرسش اصلی: به‌نظر می‌رسد در شرایط بی‌وزنی محدودیتی برای اندازه قطره‌های آب وجود ندارد.

منابع

Vollmer, Michael and Molimann, Peter, Is there a Maximum size of water drops in Nature?, the physics Teacher, Vol. 51, 400 - 402 (2013).