

ادعا: مایعی که در فیلم بالا می‌بینید خاصیتی دارد که اگر اول ساعتگرد همش بزنییم و سپس پادساعتگرد به وضعیت اول خودش بازمی‌گردد. همانطور که مشاهده می‌کنید حتی رنگهایی که با هم مخلوط شده بودند نیز دوباره جدا می‌گردند.

[@AlakPhysics](#)



بخش اول

جیوه هم مایع است. چگالی بسیار بالایی نیز دارد. درواقع چگالی جیوه حتی از آهن جامد بیشتر است. از طرف دیگر چگالی عسل حدود یک‌ونیم برابر آب است. اما کدام یک از این دو مایع، جیوه و عسل، راحت‌تر به جریان می‌افتند؟ کدام یک روان‌تر و کدام یک گران‌تر است؟ اگر تا حالا جیوه دیده باشید لابد برایتان مشخص است که عسل خیلی سخت‌تر روان می‌شود، یا به اصطلاح، عسل **گران‌روی** بیشتری دارد. پس اگر بپرسیم کدام مایع (یا بهتر است بگوییم سیال) سریع‌تر شکل ظرف را به خود می‌گیرد، لزوماً چگالی مایع نیست که در این مسئله تعیین‌کننده است؛ جیوه از عسل خیلی سریع‌تر وظیفه مایع بودن خودش را به انجام می‌رساند.

پس گرانروی یکجور مقاومت در برابر شارش یافتن مایع است. انگار لایه‌های مایع به یکدیگر نیروی مخالف وارد می‌کنند و مانع از این می‌شوند که مایع به سرعت شره کند و پخش شود. یک بسته کاغذ A4 ایده‌آل (!) در نظر بگیرید. فرض کنید کاغذها را روی میز گذاشته‌ایم. اگر بین کاغذها هیچ اصطکاکی نباشد، با کوچکترین ضربه‌ای همه کاغذها از روی هم سر می‌خورند و روی میز پخش می‌شوند. اما هرچه اصطکاک لایه‌های کاغذ با یکدیگر بیشتر باشد، انرژی بیشتری برای روان کردن بسته کاغذ احتیاج هست. تقریباً همین وضعیت برای مایعات نیز وجود دارد، با این تفاوت که جنس اصطکاک لایه‌های کاغذ و لایه‌های مایع با یکدیگر متفاوتند.

پس خاصیت گرانروی برای حرکت سیال مانع تراشی می‌کند. اما از طرف دیگر هرچه سیال سرعتش بیشتر باشد و همچنین هرچه سنگین‌تر باشد، متوقف کردنش سخت‌تر می‌شود. مثل یک کامیون بزرگ که با سرعت زیاد در اتوبان حرکت می‌کند. برای نگهداشتن کامیون به انرژی ویا نیروی بسیار زیادتری نیاز هست تا مثلاً برای نگهداشتن یک دوچرخه که خیلی آهسته از کنار جاده در حال گذر است. پس هرچه سیال چگالی بیشتری داشته باشد و سرعتش نیز بیشتر باشد، زورش بیشتر است و متوقف کردنش نیز سخت‌تر می‌شود.

اول تصور کنید سیال بسیار آرام حرکت می‌کند و سرعت پایینی دارد. این یعنی زور گرانروی هنوز از زور حرکت سیال بیشتر است. پس اگر مثلاً سیال بخواهد سرکش شود و ناگهان مسیرش را عوض کند، گرانروی جلوش را می‌گیرد. این باعث می‌شود که سیال حرکتی منظم و آرام و، به اصطلاح، «آمینار» داشته باشد. اگر اما سرعت سیال را زیاد و زیاده‌تر کنیم تا دیگر زور حرکت سیال از گرانروی بیشتر شود، چیزی لزوماً جلودار سرکش شدن سیال نیست و مسیرش ممکن است و درهم و نامنظم بگردد. مثل دود شمع یا عود که ابتدا صاف است و اواسط راه مغشوش می‌شود.

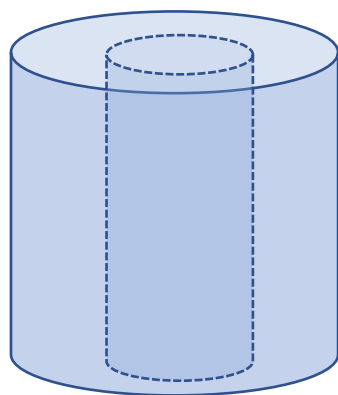
جزئیات: می‌توانیم نسبت زور حرکت سیال (یا زور اینرسی) را با زور گرانروی بسنجیم. سیالی به چگالی ρ و سرعت v داریم. تکه‌ای از این سیال به حجم L^3 تکه‌انه‌ای به اندازه $L^3 \rho v$ دارد. نیروی حاصل از گرانروی به سطح وارد می‌آید، یعنی هرچی سطح بزرگتر باشد انتظار داریم گرانروی تأثیر بیشتری روی آن بگذارد. پس اگر گرانروی را با η نشان دهیم زور آن برابر خواهد بود با ηL^2 . پس نسبت این دو نیرو می‌شود:

$$Re = \frac{\rho v L}{\eta}$$

به عدد بالا، Re ، عدد «رینولدز» می‌گویند. سیال پدیده حاضر رینولدز پایینی دارد. تمرین: واحد عدد رینولدز در SI را بدست آورید.

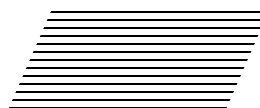
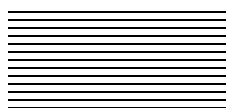
پس اگر برای سیالی، حرکتی منظم در نظر داریم، به طوری که لایه‌های سیال درهم نروند، بهتر است به فکر سرعت‌های خیلی پایین و گرانیوهای خیلی بالا باشیم. مایعی که در فیلم استفاده می‌شود شیرهٔ ذرت است که گرانیوی بالایی دارد. حتی اگر نمی‌دانستیم که از شیرهٔ ذرت استفاده شده است، به راحتی می‌توانستیم از پخش نشدن قطره‌های رنگ متوجه شویم که مایع داخل ظرف گرانیوی زیادی دارد. فرض کنید یک دانهٔ کوچک وارد سیالی با گرانیوی بالا می‌شد. اگر این دانه می‌خواست حرکت کند مجبور بود لایه‌هایی از سیال را به حرکت درآورد. اما چون گرانیوی، که مقاومت بین لایه‌هاست، بسیار زیاد است این کار میسر نیست. پس دانه سرجایش می‌ماند و تکان نمی‌خورد. همین برای ذرات جوهر نیز صادق است. این ذرات در آب که گرانیوی پایینی دارد به راحتی پخش می‌شدند، اما در شیرهٔ ذرت نه. (طبیعتاً اگر ذرهٔ کوچکتر باشد مقدار سیالی که مجبور است حرکت دهد نیز کمتر می‌شود و در نتیجه آزادی ذره بیشتر.)

بخش دوم

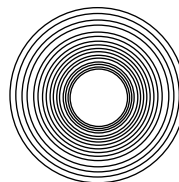
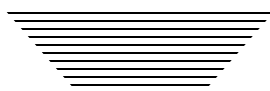


حالا که می‌دانیم گرانیوی آنقدر زیاد است که سیال حرکات سرخود انجام نمی‌دهد، مسئله ساده می‌شود. ظرفی که در فیلم می‌بینید در واقع دو استوانهٔ هم محور است. مایع بین دو استوانه ریخته شده است. استوانهٔ بزرگ ثابت است و تنها استوانهٔ داخلی می‌چرخد. (اگر به این مسئله شک دارید می‌توانید لکه‌های روی استوانه را در طول فیلم دنبال کنید.)

اگر در بستهٔ کاغذ A4، دستمان را روی کاغذ بالایی می‌گذاشتیم و آن را هل می‌دادیم، هر کدام از کاغذهای در همان طبقهٔ خود به صورت افقی جابجا می‌شدند. حالا اگر کاغذها را لوله می‌کردیم تا لوله‌های تو در توی کاغذ تشکیل شود و آنوقت کاغذ درونی را می‌چرخانیدیم چه می‌شد؟ خب لابد باز انتظار داشتیم که در کدام از کاغذها در همان شعاعی که هستند دوران کنند. هیچ کاغذی داخل مسیر کاغذ دیگر نمی‌شود، بلکه لایه‌ها صرفاً داخل هم می‌چرخند.



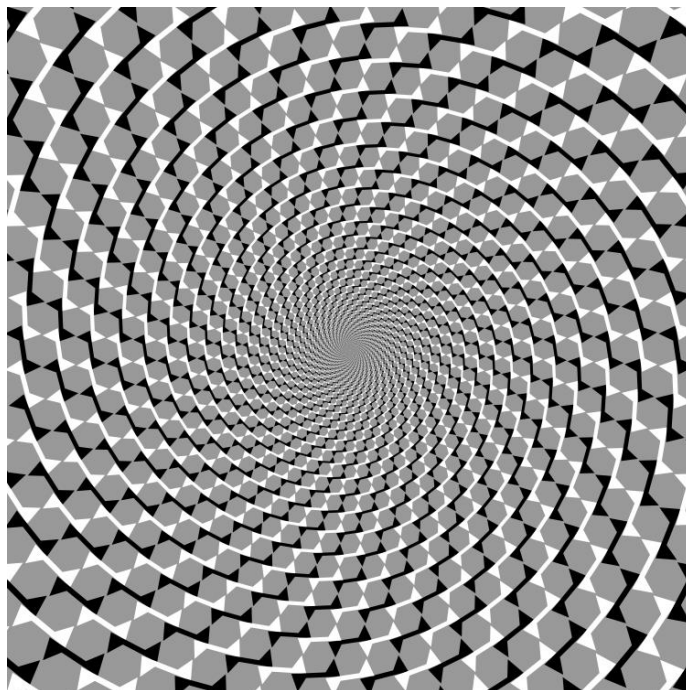
افقی:



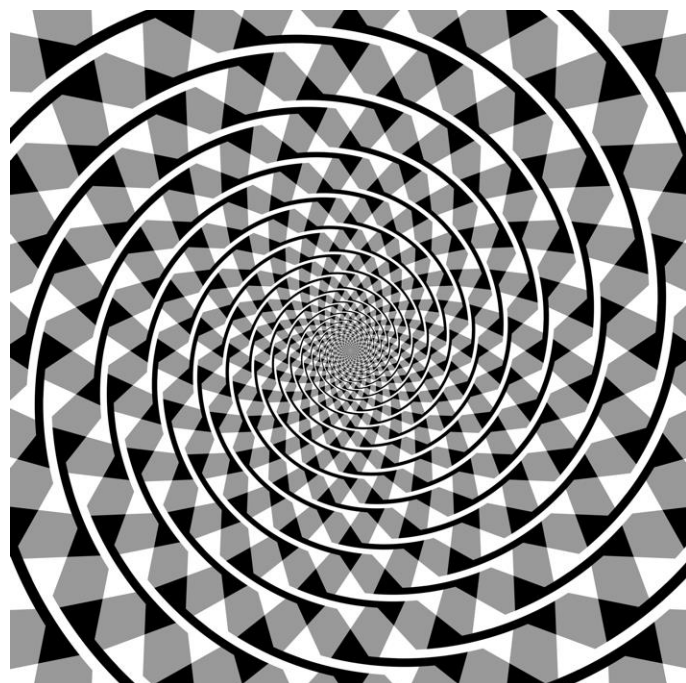
دایره‌ای:

جزئیات: چون نوع اصطکاک لایه‌های کاغذ و لایه‌های مایع با یکدیگر فرق می‌کند، شکلی که نهایتاً از این دو تشکیل می‌شود نیز ممکن است متفاوت باشد. مثلاً اگر برای لایه‌های مایع متوازی الاضلاع بالا بدست بیاید، برای کاغذ ضلعهای کوچک متوازی الاضلاع قوس‌دار خواهند شد.

لایه‌های مایع بین استوانه‌ها نیز، اگر شرایط سرعت کم و گرانشی بالا مهیا باشد، همین رفتار را دنبال خواهند کرد. یعنی هر لایه در همان طبقه (شعاع) خود دوران می‌کند. در حالت حرکت افقی لایه بالایی، یعنی آن لایه‌ای را که با دست هل دادیم، بیشتر از همه حرکت می‌کند و بقیه لایه‌ها سهمی از حرکت او می‌برند تا به پایین‌ترین لایه می‌رسیم. در حالت دایره‌ای نیز همین رفتار قاعداً باید تکرار شود. یعنی لایه‌ای که آن را می‌چرخانیم (که در اینجا درونی‌ترین لایه است) بیشتر از همه می‌چرخد و بیرونی‌ترین لایه به استوانه خارجی چسبیده است. گرچه ربط مستقیمی ندارد، این مسئله قدری یادآور تصویر زیر است:



یا این دیگری:



در شکل‌های بالا یکسری مارپیچ می‌بینید که پیچیده‌اند و به مرکز تصویر رفته‌اند. اما اگر هر کدام از مارپیچها را دنبال کنید درخواهید یافت که دچار خطای دید شده‌اید و درواقع مارپیچی در کار نیست و همه آنها دایره‌اند.

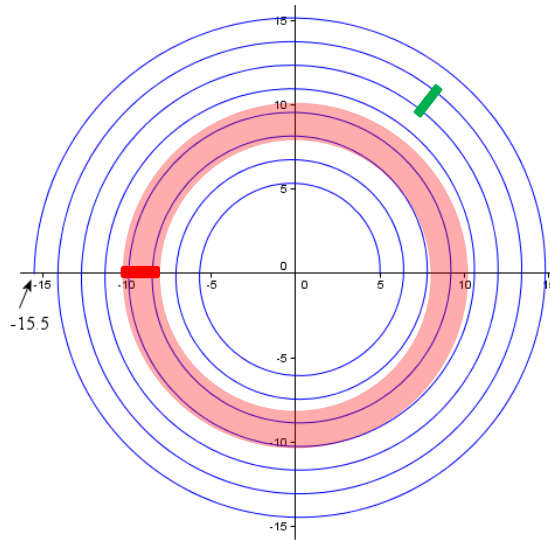
در هر صورت چون در طول هم زدن، هر لایه از مایع فقط روی دایره منحصر به فرد خودش می‌چرخد، هیچ نقطه‌ای از نقطه دیگری عبور نمی‌کند. بنابراین تنها متغیر مسئله این است که استوانه درونی چقدر چرخیده است، اسم این زاویه را بگذاریم a . همه چیز در این مسئله فقط به a وابسته است. پس اگر a را زیاد کنیم تا برابر شود با 14π (که معادل ۷ بار چرخش کامل است) لایه‌های مایع می‌چرخند؛ به طوری که درونی‌ترین لایه 14π می‌چرخد و لایه بعدی کمتر و بعدی کمتر تا اینکه لایه آخر اصلاً نمی‌چرخد. اما چون همه چیز فقط به a وابسته است کافی است a را کم کنیم تا به مقدار ۰ بازگردد. آنگاه شکل حاصل باید کاملاً مطابق با حالت $a=0$ که همان حالت اولیه است، شود. پس با کم کردن a دوباره همه لایه‌ها (اینبار در خلاف جهت قبلی و) دقیقاً به اندازه قبل می‌چرخند تا سر جای خودشان قرار بگیرند. یک پارامتر بیشتر در مسئله نیست و آن تکلیف وضعیت سیستم را تماماً مشخص می‌کند.

مثلاً اگر دما آنقدر زیاد بود که گرانیروی مایع کم می‌شد، آنوقت یک پارامتر دیگر این بود که چقدر از زمان ریختن قطره‌های رنگی گذشته است. چون هر چه زمان بیشتری بگذرد قطره‌ها بیشتر پخش می‌شوند، پس وضعیت سیستم فقط به a وابسته نخواهد بود.

اما در فیلم ادعا دما مناسب است و گرانیروی زیاد، پس مشکلی پیش نمی‌آید و ادعا از لحاظ فیزیکی درست است.

مسألة

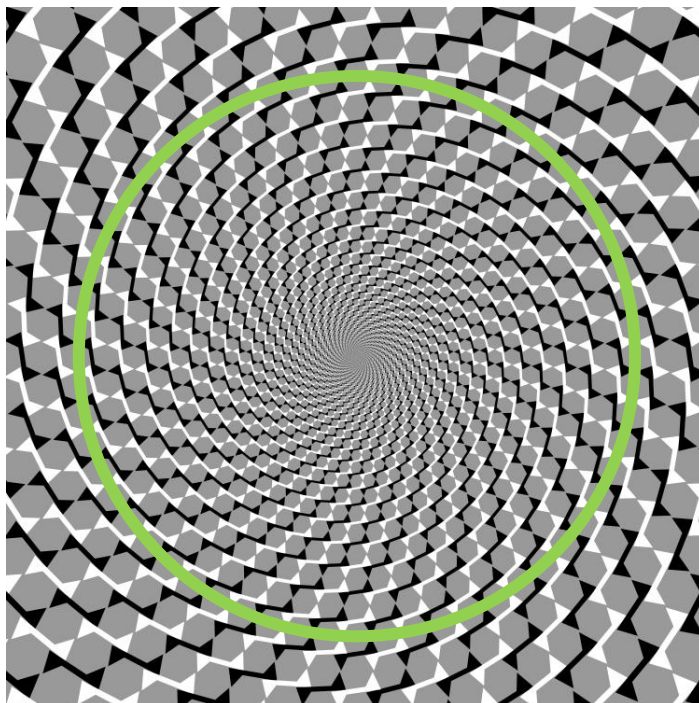
- اگر نقاط مایع با یکدیگر ترکیب نمی‌شود، پس چطور می‌شود که می‌بینیم رنگها با هم ترکیب شده‌اند و رنگ جدیدی به وجود آورده‌اند.
 - وقتی ۷ بار استوانه داخلی را می‌چرخانیم لایه‌ای که مثلاً حاوی رنگ قرمز است اینقدر می‌چرخد تا بالاخره جلوی رنگ آبی قرار می‌گیرد. اینطوری به نظر می‌آید که رنگها با یکدیگر ترکیب شده‌اند، در حالی که صرفاً روبروی یکدیگر قرار گرفته‌اند.
- اگر هر نقطه فقط در دایره مخصوص خودش می‌چرخد، پس چرا اصلاً فاصله بین قطره‌های جوهر تغییر می‌کند؟
 - قطره‌های جوهر ۳ بعدی‌اند. یعنی علاوه بر ارتفاع و عرض، بعدی هم در جهت شعاع دارند. نقاطی از قطره‌ها که دورتر از محورند کمتر حرکت می‌کنند و نسبت به نقاط نزدیکتر به محور جا می‌مانند. اینطور می‌شود که قطره‌ها کش می‌آیند. ضمناً قطره‌ها دقیقاً روی یک دایره یکسان ریخته نشده‌اند. فرض کنید قبل از اینکه شروع به هم‌زدن کنیم یک خط راست روی سطح مایع کشیده باشیم؛ در راستای شعاعی. این مانند آن است که روی هر لایه (روی هر دایره) یک علامت کوچک زدیم و در ابتدا همه علامتها روی یک خط قرار دارند. آنوقت پس از چند دور چرخاندن استوانه درونی، علامتهای دایره‌های بزرگتر بیشتر و بیشتر از باقی علامتها جا می‌مانند و خط اولیه تبدیل به یک مارپیچ می‌شود.

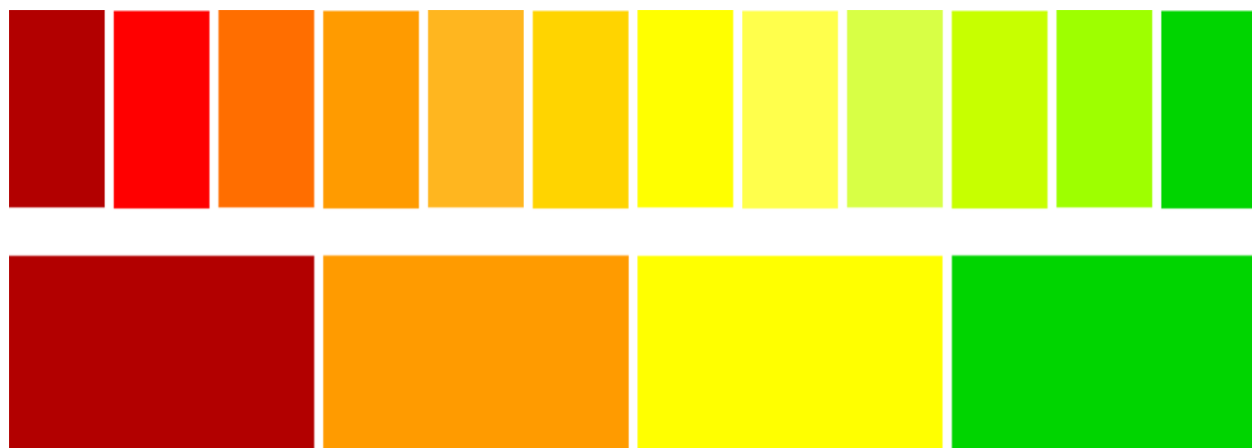
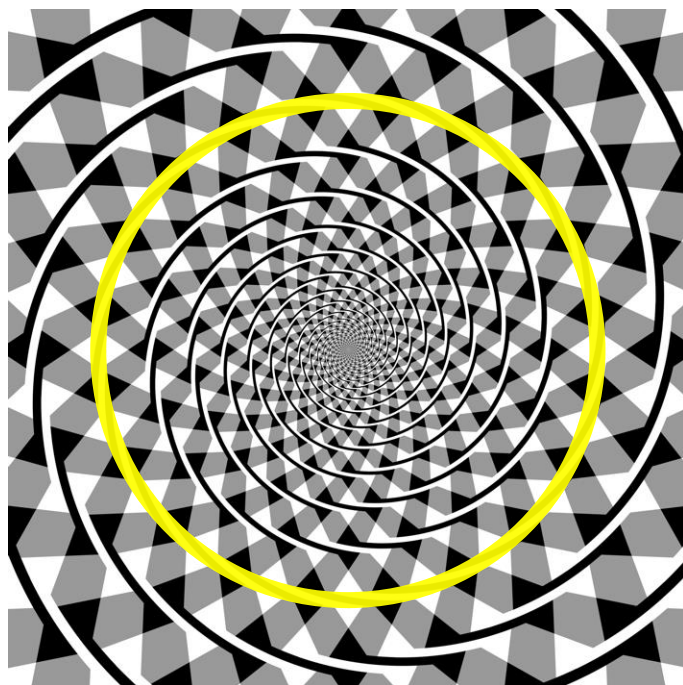


خم آبی رنگ در شکل بالا همان مارپیچ است. حالا اگر قبل از چرخاندن، یک قطره جوهر به اندازه علامت قرمز در شکل باشد، چون همه نقاط روی دایره می چرخند، پس بعد از چرخاندن نیز تمام جوهر قرمز باید درون محدوده قرمز باشد. همانطور که می بینید این محدوده تقریباً دو دور کامل از مارپیچ را در بر گرفته است. یعنی آن تکه از خط راست اولیه، الان تبدیل شده است به تکه ای از مارپیچ که درون محدوده قرمز است. تمرین: مارپیچی که جوهر تشکیل داده است را کاملاً مشخص کنید. یعنی بگویید *اتبدایش و انتهایش کجاست*. تمرین بعدی: مارپیچی که جوهر سبز تشکیل داده است را مشخص کنید. نکته این تمرین چیست؟ تمرین بعد از بعدی: از شکل بالا تعداد چرخشهای *استوانه درونی* را مشخص کنید.

- آقا یک سؤال دیگر: من مطمئن نیستم که خطای دیدی که در بالا معرفی شد واقعی باشد. یعنی واقعاً همه آن مارپیچها درواقع دایره اند؟

○ خودتان ملاحظه بفرمایید:





امتیاز: ۱۰/۱۱ - درست