سیفون

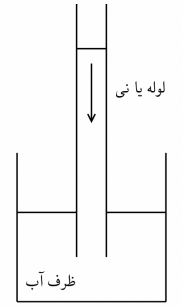
پارسا رنگریز

آزمایشگاه فیزیک ۳، دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف

۱ مقدمه

همه ما دیده‌ایم هنگام نوشیدن یک مایع با نی صاف، وقتی مکیدن را متوقف می‌کنیم، مایع از نی به ظرف برمی‌گردد، به عبارت دیگر ارتفاع مایع داخل نی با مایع داخل ظرف هم‌سطح می‌شود (شکل ۱). حال اگر به جای نی از یک شلنگ استفاده کنیم و به گونه‌ای خم کنیم که انتهای شلنگ بالای سطح مایع نباشد (شکل ۲)، در آن صورت مایع به ظرف برنخواهد گشت، و برعکس آن از ظرف به داخل شلنگ رفته و از انتهای آن که پایین‌تر است خارج می‌شود. به این وسیله (پدیده) سیفون می‌گویند. از این وسیله برای تخلیه سدها، آبیاری مزارع و فلاش تانک‌های دستشویی استفاده می‌شود. در قدیم هم از این روش برای بیرون کشیدن بنزین از باک خودروها استفاده می‌شد.

شکل ۱: سطح مایع داخل یک نی یا یک لوله که به صورت عمودی داخل مایع قرار دارد.



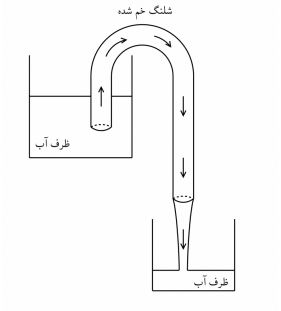
۲ مدل و نظریه

در این آزمایش قرار است تا ما فیزیک این وسیله را پیدا کنیم. قبل از شروع آزمایش‌ها می‌خواهیم به این مسائل فکر کنیم.

۱. در این پدیده مهم‌ترین کمیت که علاقه داریم رفتار آن را نسبت به تغییر متغیرهای دیگر بدانیم، چیست؟

۲. کمیت‌های دخیل در این مساله چه چیزهایی هستند، یعنی فکر می‌کنید چه کمیت‌هایی اثربخش هستند؟

شکل ۲: شکل نمادین از یک سیفون

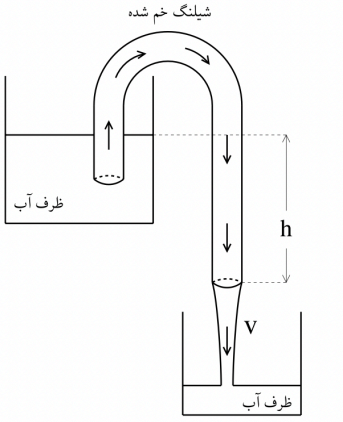


۳. چگونه کمیت‌ها را اندازه‌گیری کنیم؟
۴. چگونه آزمایش کنیم؟

۳ روش آزمایش

در این قسمت آزمایش، ما می‌خواهیم رابطه بین سرعت آب بیرون رونده از شلنگ را بر حسب اختلاف ارتفاع انتها و ابتدای شلنگ پیدا کنیم. (شکل ۳) دو شلنگ را در اختیار داریم. با استفاده از متر نواری

شکل ۳: کمیت‌هایی که در قسمت اول اندازه‌گیری می‌کنیم



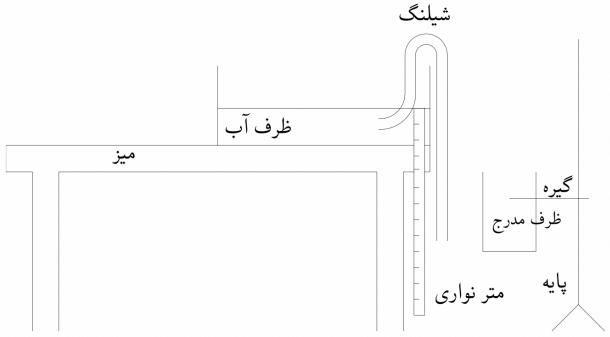
طول این دو شلنگ را اندازه‌گیری کرده و مقدار طول آن‌ها را در جدول ۱ می‌نویسیم. علاوه بر این قطر این شلنگ‌ها را با استفاده از خط‌کش یا کولیس (ترجیحا) اندازه‌گیری می‌کنیم.

برای انجام آزمایش داخل ظرف بزرگ آب می‌ریزیم. ظرف را روی میز قرار می‌دهیم. توجه می‌کنیم که ارتفاع ظرف باید حداقل یک متر باشد.

با استفاده از چسب نواری، متر نواری را به ظرف می‌چسبانیم به‌گونه‌ای که صفر متر با سطح اب داخل

ظرف هم‌سطح باشد. توجه می‌کنیم که متر نواری باید آزادانه از ظرف آویزان باشد. شلنگ ۱ (کوتاه) را

شکل ۴: شکل چیدمان آزمایش



برداشته و سر آن را داخل ظرف آب قرار می‌دهیم. با استفاده از چسب نواری شلنگ را به دیواره ظرف می‌چسبانیم. توجه داریم سر شلنگ به‌گونه‌ای داخل آب باشد تا آب بتواند به راحتی از این سر شلنگ وارد یا خارج شود. برای این‌کار می‌توانیم قسمت سر شلنگ را مماس به کف ظرف بگذاریم یا سر شلنگ را نسبت به کف ظرف با فاصله قرار دهیم. اگر لوله به صورت عمود روی کف ظرف بگذارید، آب از جای تنگی باید وارد شلنگ شده که باعث ایجاد خطای زیادی در آزمایش می‌شود.

حال ظرف مدرج یک لیتری را توسط گیره چنگکی، پایین‌تر از سطح آب داخل مخزن قرار می‌دهیم. فرد دیگری شلنگ را از انتها میک می‌زند تا شلنگ پر از آب شده و آب از آن بیرون آمده و به داخل ظرف مدرج بریزد. چند ثانیه مکث می‌کنیم تا مطمئن شویم داخل شلنگ هوایی نمانده و پر از آب است. در این مرحله شست خود را محکم در انتهای شلنگ می‌گذاریم تا جریان آب متوقف شود. ظرف مدرج را خالی کرده تا برای اندازه‌گیری آماده شویم.

انتهای شلنگ پر از آب ــ که انتهایش را با شست خود گرفته‌ایم ــ را در ارتفاع مشخصی از سطح آب مخزن قرار می‌دهیم (جدول ۲). ظرف مدرج را کمی پایین‌تر از شلنگ قرار دهید (شلنگ نباید داخل ظرف بیفتد). فرد دیگری با زمان سنج خود آماده اندازه‌گیری می‌شود. انتهای شلنگ را رها کرده و زمان سنج را شروع می‌کنیم. زمان را وقتی که آب ظرف یک لیتری پر می‌شود (سطح آب به درجه روی ظرف می‌رسد) متوقف می‌شویم. در واقع ما زمان خروج ۱ لیتر آب از سیفون را اندازه‌گیری کرده‌ایم. این آزمایش را برای هر ارتفاع سه بار تکرار نموده و نتایج زمان‌های اندازه‌گیری شده را در جدول ۲ یادداشت می‌کنیم. میانگین سه زمان را نیز در هر ارتفاع گرفته و آن را وارد جدول می‌نماییم.

نرخ خروج آب ϕ (مقدار حجم خارج شده در واحد زمان) از تقسیم حجم خارج شده بر زمان خروج بدست می‌آید. ظرف مدرج یک لیتری است. بنابراین بدست آوردن ϕ باید $1000cm^3$ را بر میانگین زمان خروج آب تقسیم کنیم. این محاسبات را انجام داده و نتایج را در جدول ۲ می‌نویسیم.

ما نیاز داریم تا سرعت آب را بدست بیاوریم. برای اینکار باید نرخ آب ϕ را بر سطح مقطع شلنگ تقسیم کنیم. در انتخاب واحدها دقت می‌کنیم تا سرعت بر حسب $\frac{cm}{s}$ بدست آید. نتایج مربوط به سرعت سیال را در جدول ۲ وارد می‌کنیم. در نهایت هم سرعت را از $\frac{cm}{s}$ به $\frac{m}{s}$ تبدیل کرده و در جدول وارد می‌نماییم.

بنظر می‌آید که اصطکاک سیال با شلنگ انرژی را هدر می‌دهد و برای همین سرعت خروج آب از شلنگ پایین‌تر از انتظار ما است و طبیعتا g به شدت کوچک بدست می‌آید. در این بخش ما می‌خواهیم مطمئن

شویم که اصطکاک عامل این مشکلات است. دوباره آزمایش را برای شلنگ ۲ (بلند) انجام می‌دهیم و نتایج خود را در جدول ۳ یادداشت می‌کنیم.

۴ هدف آزمایش

بدست آوردن شتاب گرانش، رابطه اصطکاک با طول لوله و سرعت مایع

۵ جدول داده‌ها

جدول ۱: ابعاد شلنگ‌ها

طول شلنگ ۱ (کوتاه)	طول شلنگ ۲ (بلند)	قطر داخلی شلنگ ۱	قطر داخلی شلنگ ۲
$129.0 \pm 0.1cm$	$261.0 \pm 0.1cm$	$0.760 \pm 0.005cm$	$0.860 \pm 0.005cm$

جدول ۲: اندازه‌گیری سرعت خروج آب بر حسب اختلاف سطح مایع برای شلنگ ۱

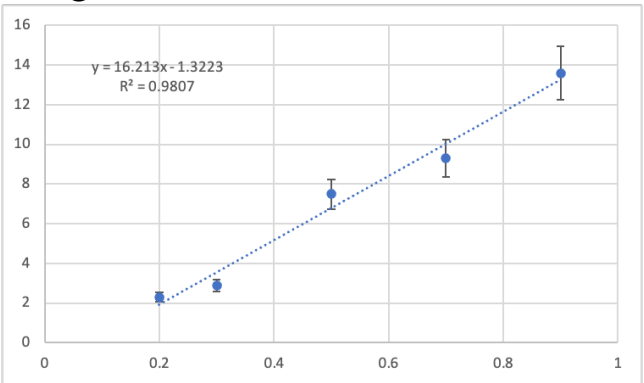
$v/\frac{m}{s}$	$\Delta v/\frac{cm}{s}$	$v/\frac{cm}{s}$	$\Delta\phi/\frac{cm^3}{s}$	$\phi/\frac{cm^3}{s}$	$\langle t\rangle/s$ ± 0.01	t_3/s ± 0.01	t_2/s ± 0.01	t_1/s ± 0.01	h/m ± 0.001
1.50	8	150	3	69	14.55	14.80	14.72	14.13	0.200
1.70	3	170	4	77	12.98	15.16	11.01	12.79	0.300
2.70	10	270	6	124	8.06	8.13	8.04	8.02	0.500
3.00	20	300	7	138	7.23	7.60	7.09	7.00	0.700
3.70	20	370	8	167	5.98	5.96	5.98	5.99	0.900

جدول ۳: اندازه‌گیری سرعت خروج آب بر حسب اختلاف سطح مایع برای شلنگ ۲

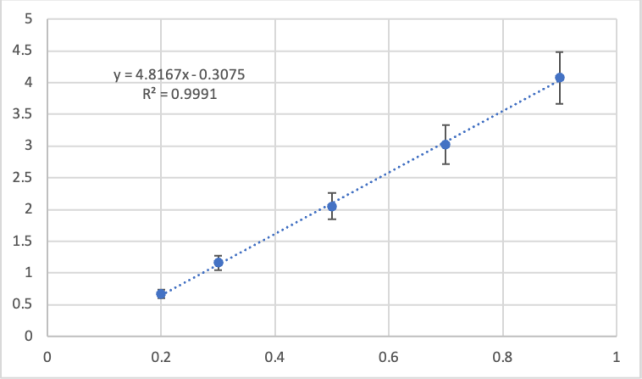
$v/\frac{m}{s}$	$\Delta v/\frac{cm}{s}$	$v/\frac{cm}{s}$	$\Delta\phi/\frac{cm^3}{s}$	$\phi/\frac{cm^3}{s}$	$\langle t\rangle/s$ ± 0.01	t_3/s ± 0.01	t_2/s ± 0.01	t_1/s ± 0.01	h/m ± 0.001
0.82	4	82	2	48	20.97	20.67	21.56	20.69	0.200
1.08	5	108	3	63	15.98	15.93	15.83	16.18	0.300
1.43	7	143	4	83	12.01	11.86	12.00	12.17	0.500
1.74	9	174	5	101	9.90	9.86	9.88	9.96	0.700
2.00	10	200	6	117	8.53	8.76	8.38	8.45	0.900

۶ نمودار داده‌ها

شکل ۵: نمودار جدول ۲ (مجذور سرعت بر حسب ارتفاع)



شکل ۶: نمودار جدول ۳ (مجذور سرعت بر حسب ارتفاع)



۷ خطا

به طور کلی اگر y یک تابعی از x_i تا x_n باشد و برای هر کدام از x_iها، $\langle x_i \rangle$ و Δx_i مشخص باشند، آنگاه Δy اینگونه محاسبه می‌شوند:

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \qquad (۱)$$

بنابراین در تمامی جداولی که میانگین حساب می‌شده این مقدار خطا محاسبه گشته و سپس با خطای دستگاه‌ها مقایسه شده و بیشینه این خطا بعنوان خطا گزارش شده است.

برای محاسبه خطای خط برازش در نمودارها می‌توان نوشت:

$$\Delta b = b\sqrt{\frac{1}{n-2}\left(\frac{1}{R^2}-1\right)} \qquad (۲)$$

اکنون نوبت این است که عوامل خطا را بررسی کنیم.
لرزش دست برای نگه‌داشتن لوله در ارتفاع معین، فاصله زمانی رسیدن آب لوله به کف ظرف و حساب نکردن آن در زمان‌گیری، صرف نظر کردن از فاصله لوله با سطح مایع، ناخالصی آب، صاف نبودن بشر و مدرج نبودن دقیق آن، پیچش و خمیدگی لوله

۸ نتیجه‌گیری

۱.۸ آزمایش اول

۱) فکر می‌کنید چه چیزی سرعت خروج آب v بر حسب ارتفاع h را تعیین می‌کند؟ در واقع اتفاقی که می‌افتد این است که مایع به دلیل اختلاف فشار طرفین لوله شروع به حرکت می‌کند و اختلاف انرژی جنبشی‌ای که بدست می‌آورد را مدیون تفاوت انرژی پتانسیل دو طرف ورودی و خروجی مایع است. به همین دلیل به نظر می‌رسد که باید این رابطه یک رابطه توانی از مرتبه دو باشد.
۲) آیا می‌توانید این رابطه را به طور تحلیلی (ریاضی) بنویسید؟ بله. اگر اختلاف ارتفاع دو سطح را h در نظر بگیریم، آنگاه داریم

$$\Delta K = -\Delta U \implies \frac{1}{2}mv^2 = mgh \qquad (۳)$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$v^2 = 2gh \qquad (۴)$$

با استفاده از شیب خطی که از نمودار جدول ۲ بدست می‌آوریم، می‌توان نوشت:

$$g = \frac{b}{2}, \quad \Delta g = \frac{\Delta b}{2} \qquad (۵)$$

اکنون با توجه به مقدار شیب بدست آمده داریم:

$$b = 16 \pm 1 \implies \boxed{g = 8.1 \pm 0.7 \frac{m}{s^2}} \qquad (۶)$$

مقدار شتاب گرانش بدست آمده بسیار کمتر از مقدار انتظاری است و این موضوع به اصطکاک و سایر عوامل خطاساز وابسته است.

۲.۸ آزمایش دوم

۱) اصطکاک آب داخل لوله به چه عواملی مرتبط است؟ به سرعت مایع، جنس لوله، طول لوله، دمای آب و لوله

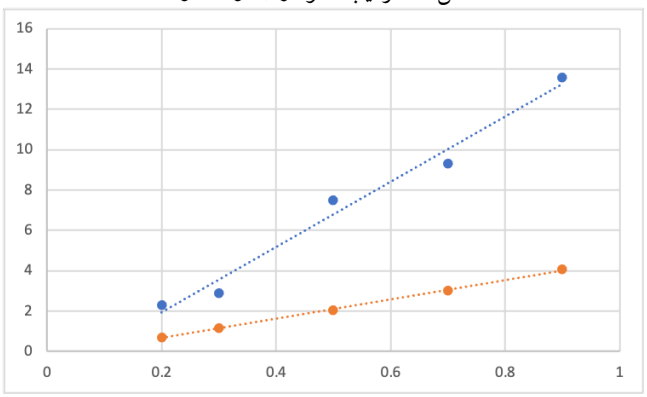
۲) طول لوله چگونه در اصطکاک موثر است؟ در واقع طول لوله باعث می‌شود که میزان بیش‌تری آب در تماس با لوله باشد و از این طریق سرعت اب کم و کمتر شود. حدس ما این است که این رابطه، رابطه خطی است.

۳) سرعت چه طور؟ سرعت مایع باعث می‌شود برخورد ذرات سازنده آب با سطح لوله بیش‌تر شود و به همین دلیل اصطکاک زیاد باشد اما از طرفی زمان تماس با سطح لوله در این وضعیت کمتر است. به همین دلیل شاید نتوان دقیق گفت که چگونه است. اما در حالت میانه‌ای بیش‌ترین میزان اصطکاک را ایجاد خواهد کرد.

۴) آزمایشی طراحی کنید تا بتوانیم نشان دهیم این اختلاف نتایج با نظریه ما ناشی از اصطکاک است. در واقع انجام همین آزمایش با طول متفاوت می‌تواند به ما نتایج مربوط به تاثیر اصطکاک را مشخص کند.

اکنون می‌خواهیم اصطکاک را بین دو آزمایش قبلی مورد بررسی قرار دهیم. به همین دلیل نمودار مجذور سرعت بر حسب ارتفاع را در یک نمودار رسم می‌کنیم. با استفاده از نمودار می‌توان سرعت

شکل ۷: ترکیب نمودار جدول ۲ و ۳



$v^2 = 2$ را انتخاب می‌کنیم و جدول زیر را پر می‌کنیم. اکنون می‌خواهیم نسبت e_f را حساب کنیم.

جدول ۴: ارتفاع شلنگ ۱ و ۲ در سرعت برابر

$e_f = U - K$	$K = \frac{1}{2}\rho v^2$	$U = \rho g h$	$v^2/\frac{m}{s^2}$	h/m	
960	1000	1960	2.00	0.20	شلنگ ۱
3704	1000	4704	2.00	0.48	شلنگ ۲

$$\eta = \frac{e_f^{(2)}}{e_f^{(2)}} = \frac{3704}{960} = 3.8583 \tag{۷}$$

$$\beta = \frac{L^{(2)}}{L^{(1)}} = 2.0233 \tag{۸}$$

می‌خواهیم خطا را بدست آوریم.

$$\Delta = \frac{\eta - \beta}{\beta} = 0.9069 \tag{۹}$$

بنابراین بنظر می‌رسد که خطای این حدس که اصطکاک رابطه خطی با طول دارد بسیار بالاست و نمی‌توان این برداشت را داشت.

۱) آیا سرعت آب خارج شده از سیفون تنها به اختلاف ارتفاع و اصطکاک مربوط است؟ خیر. به نظر می‌رسد که سرعت آب خارج شده به میزان گرانروی، دمای آب، ناخالصی آب و بقیه چیزها بستگی دارد.

۲) شکل رابطه اتلاف انرژی اصطکاکی با سرعت چگونه است؟

$$e_f = \rho g h - \frac{1}{2}\rho v^2 \qquad (۱۰)$$

بنابراین اتلاف انرژی با سرعت رابطه توان از مرتبه ۲ دارد.

۳) این اتلاف به کمیت‌های دیگر چگونه بستگی دارد؟ گرانروی، چگالی، دما، شتاب گرانش

۴) اگر لوله تاشدگی یا انحنای شدید داشته باشد، در سرعت آب خارج شده تاثیری دارد؟ بله. این می‌تواند برخورد ذرات غیر مماس آب با لوله را افزایش دهد و این طریق اصطکاک افزایش پیدا کند.

۵) اگر جنس مایع را تغییر دهیم اصطکاک چگونه تغییر می‌کند؟ چه کمیت‌هایی هستند که در خواص سیال موثرند؟ اگر جنس مایع عوض شود، چگالی، گرانروی مایع، نیروی کشش سطحی تغییر می‌کند. به همین دلیل می‌تواند اصطکاک را تغییر دهد. رابطه اصطکاک با چگالی طبق معادله سوال ۲، خطی است اما در مورد گرانروی نمی‌توانیم چیزی بگوییم.