

UNICAMP

Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Física Gleb Wataghin

F-609: Tópicos de Ensino de Física I

Segundo semestre de 2007

Relatório Final

Demonstrações com um fluido dilatante para alunos do Ensino Médio



Mauro Rodrigo Naka

Aluno: Mauro Rodrigo Naka RA: 016936 email: mauronaka@gmail.com

Orientador: Leandro Russovski Tessler email: tessler@ifi.unicamp.br

1- Introdução

Os fluidos, que são substâncias que se deformam continuamente quando submetidas a uma tensão de cisalhamento (que pode ser interpretada como a força paralela, à superfície do fluido, aplicada sobre um objeto dividida pela área do objeto que se encontra em contato com o fluido), não importando o quão pequena possa ser essa tensão. Compartilhando assim a propriedade de não resistir a deformação e apresentam a capacidade de escoar (também descrita como a habilidade de tomar a forma de seus recipientes); dentre os fluidos podemos citar os líquidos e os gases. Os fluidos podem ser divididos em newtonianos e não-newtonianos, o um dos critérios usados para a distinção desses dois tipos de fluidos é o comportamento da sua viscosidade (um parâmetro que indica o quanto o fluido resiste ao escoamento) em relação a tensão de cisalhamento aplicada sobre eles. Pelo fato dos fluidos estarem muito presente em nosso cotidiano, o trabalho visa explorar comportamentos pouco intuitivo que certos fluidos apresentam, no nosso caso um fluido não-newtoniano dilatante.

2- Público alvo

O alvo principal do projeto são os alunos de Ensino Médio.

3- Importância didática do trabalho

O projeto tem como objetivo apresentar qualitativamente e um pouco quantitativamente as propriedades dos fluidos newtonianos e não-newtonianos (FNN).

Uma classe de FNN, os chamados líquidos dilatantes, apresentam propriedades surpreendentes, pois a viscosidade depende da pressão aplicada. Eles se comportam como sólidos sob pressão e como líquidos quando relaxados. Uma realização fácil e acessível de um líquido dilatante consiste em uma mistura de água e maisena, que possui propriedades parecidas da areia movediça.

No projeto termos um FNN para manipulação por parte do público e conseqüente observação prática das propriedades peculiares e também uma demonstração que consiste em colocar o FNN sobre um alto-falante com um gerador de frequência para observar a formação de padrões não-usuais devido à variação da viscosidade com a pressão.

4- Originalidade

Vários vídeos que mostram experimentos com fluidos dilatantes podem ser encontrados na internet. Há uma página na internet[1] que apresenta 8 exemplos interessantes.

Os experimentos não serão originais. A “originalidade” do projeto está no uso de efeitos surpreendentes para chamar a atenção para fluidos, um assunto pouco explorado no Ensino Médio e muito importante no dia-a-dia. Um projeto parecido foi realizado pela aluna Mariele Motta[2] no primeiro semestre de 2007 Onde foram propostas algumas demonstrações envolvendo a manipulação de um FNN.

5- Teoria

Isaac Newton, em 1687, definiu a viscosidade de um fluido como a resistência ao deslizamento de suas moléculas devido à fricção interna e, quanto maior o grau de fricção interna de um fluido, maior é a sua viscosidade. Em sua abordagem matemática, Newton utilizou o modelo de duas placas de áreas A , separadas por uma distância h , movimentadas através da aplicação de uma força F , como mostra a Figura 1. De acordo com esse modelo, a força requerida por unidade de área (F/A) para manter uma diferença de velocidade entre as placas é diretamente proporcional a diferença entre a velocidade Δv entre dois planos do líquido, paralelos à superfície do fluido, separados pela distância Δy . Assim, o coeficiente de proporcionalidade é igual à viscosidade (η). A força por unidade de área é conhecida como tensão de cisalhamento (σ) e a razão ($\Delta v/\Delta y$) é conhecida como taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$)[5]. Portanto obtemos:

$$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad (1)$$

Esta relação essencialmente define a viscosidade. Note que não derivamos a lei, ela é uma consequência da observação experimental

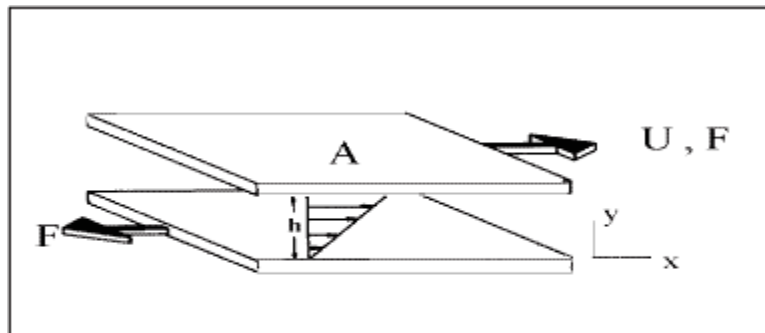


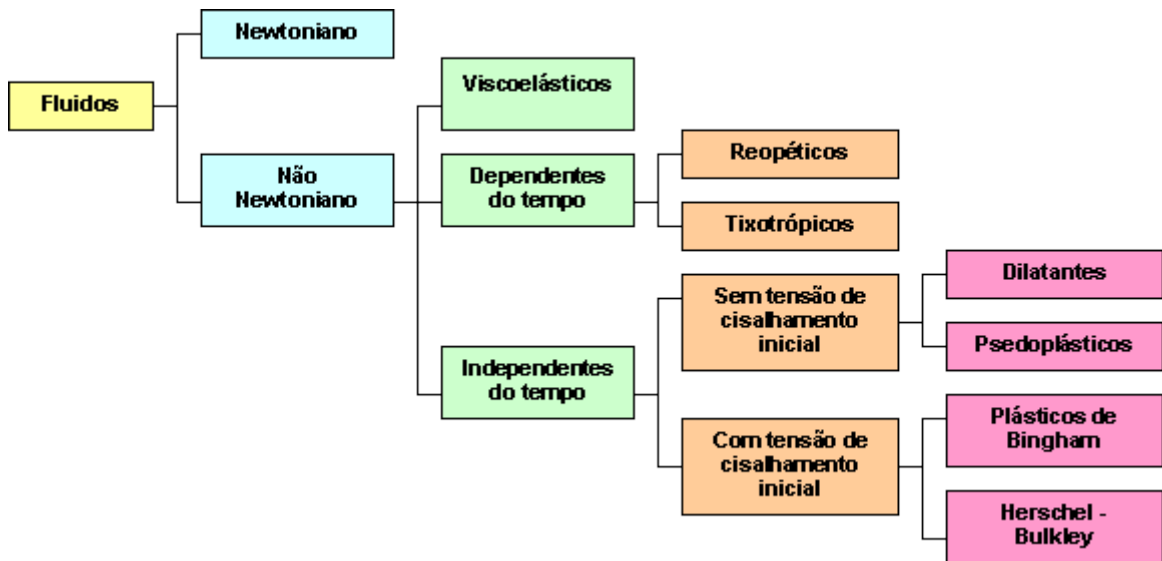
Figura 1 - Modelo de placas paralelas utilizadas por Newton para explicar a viscosidade de um líquido (Barnes, 1989).

Figura 1 – Modelo das placas paralelas

Existem casos em que a viscosidade permanece constante, independente da taxa de cisalhamento em que o fluido está submetido, nesses casos os fluidos são chamados de newtonianos e no caso em que a viscosidade dependa da taxa de cisalhamento temos fluidos não-newtonianos.

Dentre os fluidos não-newtonianos podemos reagrupá-los em vários subgrupos de acordo com o seu comportamento. Onde viscoelasticidade é uma propriedade de certos materiais que apresentam, em certas condições, propriedade viscosa como iguais aos líquidos e a elástica (propriedade do corpo voltar ao seu estado normal após uma pequena tensão aplicada sobre ele) como no caso dos sólidos; certos fluidos tem seu comportamento

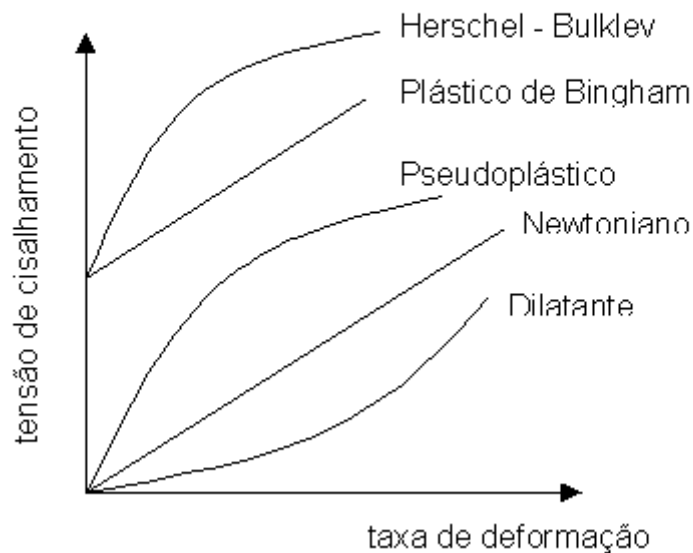
alterado com o tempo em que a taxa de cisalhamento é aplicada sobre ele e outros precisam de uma tensão de cisalhamento mínimo para poder começar a escoar.



Fonte: http://www.setor1.com.br/analises/reologia/cla_ssi.htm

Figura 2 - Classificação dos Fluidos segundo seu comportamento.

Curva de escoamento de fluidos newtonianos e não newtonianos de propriedades independentes do tempo de cisalhamento.



Fonte: http://www.setor1.com.br/analises/reologia/curva_inde.htm

Figura 3 - Curvas de escoamento de fluidos newtoniano e não-newtonianos de propriedades independentes do tempo de cisalhamento.

Dentre os fluidos não-newtonianos independentes do tempo. Temos um caso em os fluidos apresentam um aumento de viscosidade aparente com a tensão de cisalhamento, normalmente chamados de fluidos dilatantes. No caso de suspensões (tipo de mistura em que partículas sólidas se apresentam não dissolvidas, total ou parcialmente, em presença de meio líquido), à medida que se aumenta a tensão de cisalhamento, o líquido presente no fluido que lubrifica a fricção entre as partículas sólidas é incapaz de preencher os espaços devido a um aumento de volume que freqüentemente acompanha o fenômeno. Ocorre, então, o contato direto entre as partículas sólidas e, conseqüentemente, um aumento da viscosidade aparente.

Um termo muito encontrado na literatura inglesa é “oobleck”; esse termo foi inventado pelo autor de literatura infantil Dr. Seuss no seu livro "Bartholomew and the Oobleck" . No livro o Oobleck é uma chuva cor-de-rosa e vermelha invocada por um rei que se aborrece com a chuva e a neve normais. O Oobleck revela-se uma substância que se pega a todas as superfícies do reino tornando a vida muito difícil aos habitantes. O termo generalizou-se e atualmente descreve um conjunto de fluídos não-newtonianos com propriedades dilatantes.[6]

Por exemplo: maizena com água e areia com água (areia movediça)

Ao se aplicar um perturbação em um fluido dilatante quando este se encontra vibrando, esse começa ter um comportamento diferente que ainda não se tem uma teoria precisa capaz de descrevê-la, uma explicação qualitativa sobre o fenômeno que a descreve é imaginar que quando o sistema é perturbado o fluido comporta-se como líquido quando a vibração senoidal provinda do gerador de frequência no alto-falante se encontra próximo ao cume e no vale e entre essas regiões como sólido.

6- Lista de material

Maisena

Água

Caixa de som de um aparelho de som potente

Software livre para linux Baudline

7- Experimento

Para se obter o FNN bastou fazer a mistura de água e maisena na proporção de 2:5 de volume aproximadamente.

Realizamos o experimento em duas partes:

1) Manipulação de um FNN

Essa parte do experimento consistiu manipular e observar as propriedades do FNN. Como

por exemplo mexe-lo lentamente e bate-lo, fazendo ele escoar pela mão e modela-lo, como fosse um uma massa de modelar.

O resultado obtido foi postado no site YouTube:

<http://www.youtube.com/watch?v=fBdSeM8ZF08>

2) Formação de padrões

Nessa parte colocamos o FNN sobre um alto-falante, o alto-falante foi coberto com um saco plástico para não sujar o equipamento; de um aparelho de som potente (figura 4) e a entrada do auxiliar do aparelho de som foi ligado na saída de som do computador. Através do programa livre Baudline(figura 5), utilizamos a função senoidal e a frequência de 20Hz. Com isso observamos a formação de um padrão distinto, parecia que o FNN tinha vida própria.

O resultado obtido foi postado no site do YouTube:

<http://www.youtube.com/watch?v=uVD6IRzJ4sU>

Um video editado mostrando os melhores padrões obtidos:

<http://www.youtube.com/watch?v=CABYDythSf8>

Note que os padrões formados não são Figuras de Chladni[3]. Naquele caso usa-se um material granular para evidenciar nós em placas vibrantes. No nossos caso o que estamos visualizando são efeitos dinâmicos que se devem à variação da viscosidade em função da pressão em um FNN.



Figura 4 – Aparelho de som utilizado

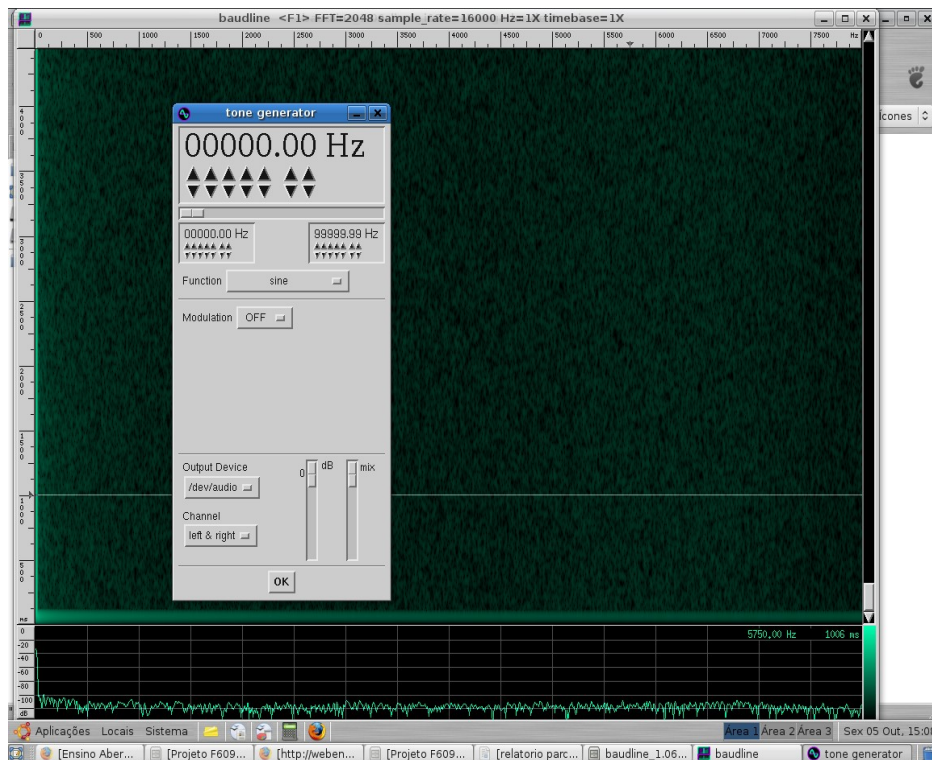


Figura 5 - Interface gráfica do software Baudline

8- Conclusão

Apesar da referência [4] aparentar que o resultado seria obtido facilmente com uma caixa de som simples do computador ao realizar o experimento a potência obtidas pelas caixas de computador não atingiam a potência necessária.

Porém ao se usar a caixa do aparelho de som o resultado foi obtido facilmente, devido a sua potência.

Outros padrões diferentes foram obtidos durante a procura da frequência e potência (volume do aparelho de som) ideais para obter a padrão desejado. A textura do FNN)também é importante para se obter o padrão, mudando-se a textura do FNN obtivemos figuras diferentes com a mesma frequência e potência.

Padrões interessantes foram obtidos quando o FNN foi construído utilizando-se aproximadamente a proporção de volume 1:2 de água e maisena.

Apesar de todos esses fatores o experimento é realizável em casa, sem que se possua um equipamento muito específico.

9- Comentários do orientador

“No relatório talvez fosse legal tentar quantificar um pouco: por que sua caixa do

computador não funcionou? Acho que os parâmetros relevantes são a pressão e a amplitude mais do que a potência. Seria possível fazer um diagrama de fase do líquido em função da pressão e talvez da diluição? Precisa descobrir como a pressão depende da potência...”
Leandro R. Tessler

A intensidade pode ser vista como a razão da potência por área:

$$I = P / A \quad (2)$$

A relação entre intensidade e amplitude é,[7]:

$$I = k.f^2.a^2 \quad (3)$$

Onde k é uma constante que depende do meio elástico, f a frequência e “a” a amplitude. A caixa de som de computador que tentamos inicialmente utilizar tinha 1W de potência RMS e uma área de aproximadamente 78 cm² . Já o alto-falante do aparelho de som possuía uma área de aproximadamente 615,5 cm² e uma potência de 240W RMS. Para uma mesma frequência e mesmo meio elástico a amplitude de alto falante do aparelho de som é aproximadamente 5,5 vezes maior que a amplitude gerada pela caixa de som do computador.

10- Bibliografia

- <http://www.braseq.com.br/pdf/brookfield.pdf> Acesso em 29/08/2007
- http://www.deq.ufpe.br/disciplinas/MecFluidos/REOLOGIA_DE_FLUIDOS.pdf Acesso em 29/08/2007
- http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672005000100014 Acesso em 29/08/2007
- http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Nivel_Viscosidade.htm. Acesso em 29/08/2007
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Área_movedi%C3%A7a. Acesso em 29/08/2007
- <http://www.gogglemarks.net/index.php?action=project&id=4> Acesso em 07/09/2007
- Frerguson, J., Kemblowski, Z. *Applied Fluid Rheology*. 1 ed. Cambridge: Elsevier, 1991.

11- Referências

- [1] <http://senselist.com/2007/02/28/8-youtube-videos-featuring-non-newtonian-fluidexperiments/> Acesso em 29/08/2007
- [2] http://www.ifi.unicamp.br/%7Elunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_se m1_2007/MarieleK_Tamashiro_RF.pdf Acesso em 29/08/2007
- [3] http://www.ifi.unicamp.br/%7Elunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_se

[m1_2004/009027JulioC_IrisTorriani_F809_RF.pdf](#) Acesso em 18/9/2007

[4] <http://www.gogglemarks.net/index.php?action=project&id=4> Acesso em 01/10/2007

[5] http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672005000100014
Acesso em 01/10/2007

[6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Oobleck> Acesso em 18/9/2007

[7] http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_T01.asp Acesso em 23/11/2007

Anexos

-

Site: <http://www.gogglemarks.net/index.php?action=project&id=4>

Non-Newtonian Fluid Oscillator

Saturday, Aug 18th, 2007

As a man, I have certain needs. Being that I'm 24, and it's a Saturday night, some of those needs are understandably [rheological](#). This weekend, I've quenched my thirst for adventure with my slap-together homebrew reservoir for playing with [non-newtonian fluid](#). I powered it up, filled it with [oobleck](#), struck a resonance, and had some fun! (Video after the break) I'm not the [first person to do so](#).

link do youtube:

[http://www.youtube.com/watch?v=KaOGj7-](http://www.youtube.com/watch?v=KaOGj7-VG8U&eurl=http%3A%2F%2Fwww%2Egogglemarks%2Eenet%2Findex%2Ephp%3Faction%3Dproject%26id%3D4)

[VG8U&eurl=http%3A%2F%2Fwww%2Egogglemarks%2Eenet%2Findex%2Ephp%3Faction%3Dproject%26id%3D4](http://www.youtube.com/watch?v=KaOGj7-VG8U&eurl=http%3A%2F%2Fwww%2Egogglemarks%2Eenet%2Findex%2Ephp%3Faction%3Dproject%26id%3D4)

Special thanks to Greg who planted this particular seed. Way to make a mess of my whole basement, Greg. Construction details and photos will follow.

Sunday, Aug 19th, 2007

It couldn't possibly be any easier to make an oscillator at home so that you can play with your very own non-Newtonian fluid. If you don't know what I'm talking about, check out [this video](#) which details a really cool experiment to that effect. The long and the short of it is, if a fluid is non-Newtonian, its viscosity changes under applied stress. Apply a lot of stress, and the fluid becomes very viscous. Apply very little stress, and the fluid flows freely. Apply an oscillating stress (ie: mechanical vibration) and you get all kinds of kooky effects.

Grab a Speaker

The most commonly available variable frequency oscillator (at least in my household) is a PC speaker. I'm sure we've all got at least one of these old self-powered speakers laying around the house somewhere. If not, hit up the thrift store. They can be had for cheap. Special thanks to Katie and her mom for providing this one:



Pull the screen off this one, as we're going to be gluing things directly to the cone of the speaker itself:



Attach a Piston and Reservoir

Next, find yourself something that fits neatly inside the speaker cone. I for example found a small paper cup that just happens to fit the inside rim of the cone. The goal is to attach a piston to speaker that will transfer all of its vibration into the tray that will hold our non-newtonian fluid. Whatever you

find should be light, sturdy, and fit well inside the speaker so that it can be centered.

With your piston in hand, line the speaker with hot glue where appropriate. If its easier, you can apply the glue to your piston instead.



Quickly glue your piston to the speaker. Apply light pressure until the glue cools off. This joint is going to see a lot of vibration, so it pays to do it correctly. Once your piston (in my case, a small starbucks(1) cup) is in place, you can glue on the tray that will hold your fluid. Again, this bit should be light and sturdy, and not *too* big. I used a black plastic tray that my take-out Chinese food came in. "Disposable" Ziploc and rubbermaid brand tupperware works well too. A Dixie paper bowl would probably work well also, and paper has the advantage of taking to glue very well. Here's my setup:



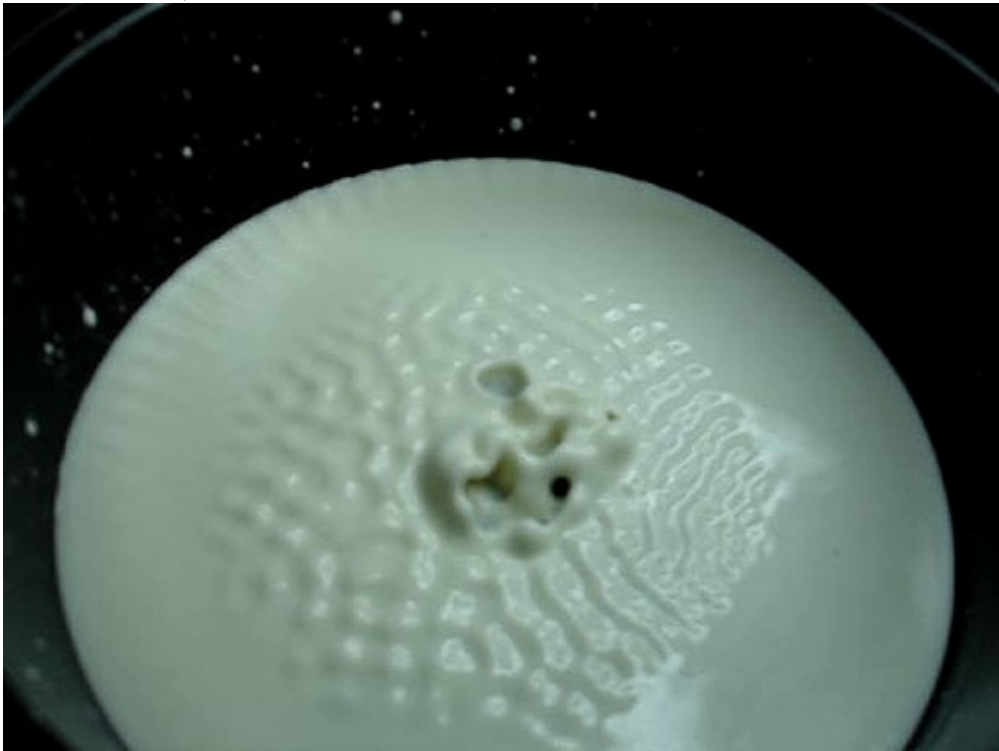
Fill Reservoir

Fill your tray with [obleck](#) or some other non-newtonian soup. Mine is the classic cornstarch-water mix, in proportions that seemed reasonable to produce a nice flow. I've had better success when I didn't overfill the tray with liquid. You really need less than a centimeter of liquid to see some cool effects. Too little fluid and it all just becomes solid under vibration, too much, and the mass of the liquid damps out the vibration and you don't see anything. It takes a little experimenting to get it just right.



Oscillate!

Hook the speaker setup to your PC and start playing some tones. How you do this is up to you. I'm running linux, so [speaker-test](#) and some simple scripts was the easiest option for me. (If you're a linux user and you don't use ALSA, you'll have to come up with something else) If you run windows, there are a number of free sound editors available, most of which come with tone generation functions. ([Audacity](#) comes to mind)



Notes & Conclusions

Low frequencies are the way to go, unless your piston-reservoir setup is especially light and you don't have much fluid to move. Make sure that your volume is high enough that you get a good vibration going. The volume actually doesn't have to be too loud for you to see some cool effects. If the system is working properly, you will see Faraday waves rippling the surface of the fluid. I've found that the tone that produces the best oscillations in the fluid is configuration dependent: It changes with the mass and shape of your piston, the geometry of your reservoir, and the amount of fluid you're using. Don't hesitate to experiment. I started my system at 60Hz, increasing the frequency 1Hz at a time until I struck a nice resonance and got some decent waves.

The system is much more dependent on frequency than amplitude. To tune it, turn up the volume and sweep through the lower frequencies (50-150Hz) When you hit a frequency that produces nice waves, stop and turn the volume down. You'd be surprised when you've hit a mechanical resonance, just how quietly the system will run

Some things to try:

- Canned air is fun. Use it to blow holes in the liquid while oscillating. Mind the mess though!
- Use a pencil or straw or something to tease up the material
- Stop the oscillation suddenly, and observe how quickly everything re-liquefies
- Find stuff to float in the fluid. If you get a lot of "fingers" they will actually pick up things that float in the fluid. Ping-pong balls and army guys work well.
- Add fluid to the mixture as it's oscillating.
- Touch it!

(1) - I don't drink starbucks coffee, and I don't suggest you do either. I have the cup because a roommate of mine retrieved a bunch of them from a trip to the dumpster. Recycling! Support your local coffee houses, stimulate local business, and [eat local foods](#). If you live where I do, want to put money into your local economy, and get some great coffee, I suggest [Bean Traders](#)



This work is licensed under a
[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.5 License](#)