

Filmes de Sabão com turbulência

Trabalho de instrumentação para ensino

F-809

Fillipe Crespo Vieira

RA:001724

Orientador: Richard Landers

Introdução

Sem turbulência e a mistura que ela causa, nós não teríamos o mesmo oceano que temos agora, nem o mesmo clima. A mistura turbulenta espalha e traz nutrientes para a superfície. Turbulência perto da superfície, originada por correntes de ar, cria fluxos de calor para dentro e para fora do oceano fazendo com que o oceano seja um grande reservatório de calor que governa o clima do planeta. Turbulência é responsável por dar condições para que micro ambientes sejam criados para pequenas criaturas que formam a base da vida nos oceanos e rios.

Podemos definir turbulência como a componente irregular e aleatória de um movimento de um fluido. Devido a natureza complexa do fluxo do fluido, uma análise determinista é impossível. O trabalho conceitual para entender turbulência é na maioria das vezes estatístico.

Entender turbulência é importante por muitas razões. Principalmente, pois podemos estudar modelos que podem prever a circulação global, mudanças climáticas e dispersão de poluentes.

Objetivo

O objetivo do meu trabalho é realizar uma montagem experimental para a visualização da turbulência em um filme de sabão de duas dimensões. A montagem feita é vertical. O fluido percorre a armação e é forçado a encontrar um objeto como, por exemplo, uma haste de metal. Ao passar pela haste o fluido perde a sua característica laminar e passa a apresentar um comportamento turbulento^[3]. Esse trabalho foi inspirado no artigo de Shawn Carlson sobre o trabalho de Maarten A. Rutgers em filmes de sabão, escrito na seção Amateur Scientist da revista Scientific American de Maio de 2000.

Montagem experimental

M. Rutgers e X. Wu^[1] fazem uma breve história das montagens experimentais com filmes de sabão em armações verticais. A minha montagem experimental

seguiu o modelo feito no artigo publicado com o título de “Fun with Flat Fluids” – Scientific American, Maio/2000.

Um reservatório com a solução de sabão e água é colocada em um suporte. Uma torneira para controlar o fluxo de saída do fluido é colocada nesse reservatório. Usei linha de pesca de 0,8mm de diâmetro para ser o guia do filme, ou seja, prendi a linha de pesca dentro da torneira e usei um peso para deixar a linha tensionada. Abrindo a torneira e deixando o fluido entrar em contato com a linha até encharcá-la completamente. Usei quatro pedaços de outra linha de pesca de diâmetro 0,2mm para separar a linha principal (linha de 0,8mm) deixando formar um filme de sabão nela que por ação da força gravitacional flui verticalmente.

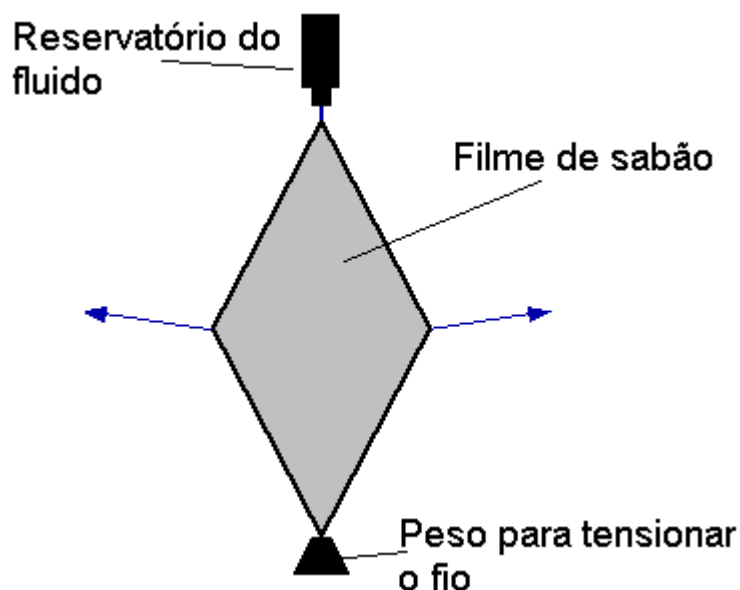


Figura 1: Armação do filme de sabão

Quando um objeto é molhado e inserido no filme, conforme o fluido passa pelo objeto, um rastro de vórtices é criado resultando em um movimento turbulento.



Figura 2: movimentos turbulentos causados por objetos inseridos no filme, imagem obtida de <http://home.earthlink.net/~marutgers/science/turbulence/photos/slow.jpg>

Com o auxílio de uma câmera de vídeo podemos filmar e aumentar a região (zoom) para facilitar a visualização das turbulências.

Dependendo da velocidade do fluxo, fica difícil de visualizar os vórtices por serem muito pequenos e mudarem de forma rapidamente. S Carlson^[4] recomenda usar contraste de luz estroboscópica ou uma câmera de vídeo que tenha um tempo de captura de imagem entre 1/1000 e 1/10000 de um segundo.

O aparato experimental é bem simples de forma que o experimento é facilmente reproduzido, deixando a dificuldade do experimento em encontrar a concentração de água e sabão ideal como bem as dimensões de seu filme, já que a estabilidade do filme é uma função do fluxo do fluido e da área imposta à armação do filme.

Eu usei dois tubos de detergente líquido de lavar louça com adição de duas a três canecas de água para uma armação de 30 cm de altura e 20 centímetros de largura, mas isso não é uma regra geral já que a concentração de sabão em detergentes varia para cada marca. Rutgers e Wu^[1] fazem uma discussão sobre soluções ótimas de água e sabão. Foi evitado detergentes com glicerina, pois glicerina aumenta a viscosidade da solução dificultando o aparecimento de movimentos turbulentos.

Explicação do fenômeno do filme de sabão

Água

Uma molécula de água é composta de dois átomos de Hidrogênio e um de Oxigênio, H₂O. Os átomos de Hidrogênio estão dispostos de um lado do átomo de Oxigênio e são atraídos pelo Oxigênio como pelas outras moléculas de H₂O por uma força chamada de Ponte de Hidrogênio. Se as moléculas de um líquido não atraem umas as outras, então a constante de agitação térmica das moléculas faria com que o líquido fervesse ou evaporasse.

Tensão superficial^[2]

Dentro da água, ao menos algumas moléculas afastado da superfície, cada molécula interage bastante com as moléculas vizinhas. As moléculas estão sempre se chocando em todas as direções. Já na superfície as moléculas de água não interagem tanto pois não existem moléculas de água acima da superfície como existem abaixo. Para remover uma molécula da superfície do líquido é necessário realizar trabalho. Se a superfície é esticada, por exemplo quando formamos um filme, a superfície aumenta de área e mais moléculas são arrastadas para a superfície para que a área possa aumentar. Esse efeito é chamado de tensão superficial. Tensão superficial tem um importante papel em como um líquido se comporta. Se enchermos um copo de água podemos encher até um pouco em cima da borda do copo devido a tensão superficial.

Sabão

Moléculas de sabão são compostas de uma longa cadeia de átomos de Carbono e Hidrogênio. No final de uma cadeia existe uma configuração de

átomos que apresentam um comportamento hidrófilo. Já no outro lado da cadeia os átomos apresentam um comportamento hidrófobo.

Em uma solução de água e sabão o lado hidrófobo se alinha perto da superfície da água de maneira que essa parte da cadeia de átomos evite o “contato” com moléculas de água. Dessa forma o lado hidrófobo repellido pelas moléculas de água sai para fora da superfície da água aumentando a separação entre moléculas de água. Como as forças devido as tensões superficiais se tornam mais fracas conforme a distância entre moléculas de água aumenta, a intervenção de moléculas de sabão diminui a tensão superficial.

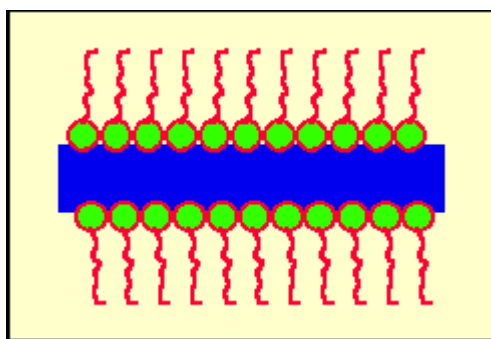


Figura 3: estrutura do filme de sabão

Porque adicionar sabão^[2]

Quando criamos uma bolha estamos obrigando a água a compartilhar com o ar uma grande superfície. Isso é justamente o que as moléculas da água detestam, pois um filme busca sempre ter a menor superfície possível.

As moléculas de água que ficam na superfície foram privadas de metade das suas vizinhas. Para criar essa superfície, eu precisei tirar as moléculas situadas acima dela. Então para criar uma superfície entre a água e o ar, eu cedo uma certa quantidade de energia (energia superficial) que é proporcional a superfície criada.

Todo sistema busca diminuir sua energia. Por isso todo filme é uma superfície mínima.

O sabão diminui a energia de superfície^[2]

O sabão intervém modificando a energia de superfície. Uma molécula de sabão possui uma “cabeça polar”, hidrófila, fixada a uma cadeia de 12 ou 18 átomos de carbono (com seus átomos de Hidrogênio satélites). Essas moléculas gostam de se depositar lado a lado na superfície da água. Suas cabeças polares (hidrófilas) mergulham na água fazendo com que suas cadeias hidrocarbonadas (ou alifáticas), paralelas, posicionem-se fora d’água.

Quantidades muito pequenas dessas moléculas são suficientes para recobrir totalmente a superfície da água com uma só camada (uma “monocamada”).

Em média 2 miligramas são suficientes para cobrir 1 metro quadrado de água.

As moléculas de sabão vão para superfície devido as partes hidrófobas que tendem a repelir da água, isso significa que a energia de superfície γ_0 é

reduzida. A presença de um sabão facilita a formação de filmes de grande área.

Os filmes são coloridos

Quando temos um filme formado, as ondas de luz que são refletidas pela face dianteira e pela face traseira do filme criam um padrão de interferência, ou seja, os comprimentos de onda λ dos fótons incidentes não são refletidos da mesma maneira.

Se a espessura do filme (da ordem de microns) for tal que a diferença do caminho percorrido pelo raio de luz que sofre reflexão na face dianteira do filme em relação ao raio de luz que sofre reflexão na face traseira do filme for um múltiplo do comprimento de onda, dizemos que ocorreu reflexão construtiva, do contrário reflexão destrutiva.

Se a espessura do filme é muito inferior a um décimo de micron, nenhuma luz é refletida, e o filme fica preto (transparente).



Figura 4: Reflexão construtiva. Reflexão da frente do filme em fase com a reflexão de trás do filme.

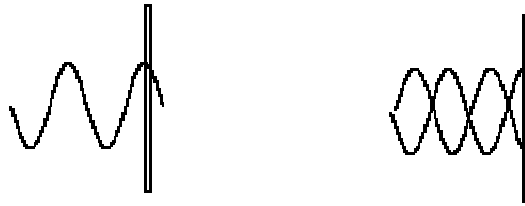


Figura 5: Reflexão destrutiva. Reflexão da frente e de trás do filme se cancelam

Como o filme se sustenta^[2]

A ação de um sabão é mais sutil que esta explicação sumária. Com uma armação eu puxo um filme para fora da água. Esse filme é relativamente espesso no pé, mas fino no alto. Ele é colorido o que quer dizer que ele ainda tem 10 microns no pé e alguns microns no alto. Como ele se suporta?

Como todos sabemos, se eu tentasse fazer essa mesma operação com água pura o filme simplesmente não se suportaria e o filme não existiria. Na realidade, ocorre algo muito grave: ele é pesado. Toda a água quer cair. A camada de sabão se encontra muito densa nas regiões perto da base e menos densa nas regiões altas. O sabão exerce uma pressão na superfície. Essa pressão de superfície é muito forte embaixo e mais fraca no alto devido a concentração das moléculas de sabão. Assim a base do filme empurra o topo do filme. Temos aqui um mecanismo que se opõe ao peso e que assegura a sustentação do filme.

Turbulência na bolha

Uma propriedade interessante das bolhas é a agitação extraordinária que reina na superfície. Em um filme colorido, sendo colorido ele é espesso, às vezes vemos uma mancha preta (logo muito fina) que sobe para o alto da armação. A mancha preta é muito fina. Ela contém pouca água e portanto, é mais leve que as zonas coloridas, espessas e pesadas que o cercam. Isso é análogo a um balão. Em um balão, o ar quente em seu interior, mais leve que o ar frio, o faz subir.

As porções verticais da armação produzem filme preto e são análogas às zonas quentes: elas produzem um escoamento agitado (turbulento) para cima como o ar saindo de algo muito quente.

Conclusão

Meu trabalho de instrumentação para ensino, disciplina F-809, teve como objetivo realizar uma montagem experimental usando lâminas de sabão para visualizar um comportamento turbulento do fluxo do fluido, seja turbulência causada pelo padrão de interferência na superfície da bolha que se movimenta de modo aleatório devido ao fluxo vertical ou, seja pela turbulência causada

pela inserção de objetos no filme fazendo com que o fluido apresente um fluxo turbulento.

No texto do relatório me restringi a explicar o porquê que conseguimos fazer um filme de sabão, pois a teoria sobre turbulência é demasiadamente complexa e fugiria do escopo do trabalho, já que é um trabalho de instrumentação para ensino.

Referências sobre tópicos mais avançados serão mencionadas no final do relatório.

Referências:

- [1] – M. A. Rutgers, X. L. Wu e W. B. Daniel – Conducting fluid dynamics experiments with vertically falling soap films
- [2] – Os objetos frágeis – Pierre-Gilles de Gennes, Jacques Badoz
- [3] – M. A. Rutgers – Flowing Soap films: a plataforma for 2D non-linear dynamics experiments
- [4] – Shawn Carlson – Fun with Flat Fluids – Scientific American, Maio de 2000

Indicações de referências desse assunto na internet para futura leitura:

Trabalhando com filmes de sabão:

<http://home.earthlink.net/~marutgers/>

Fotografando filmes de sabão:

http://www.weather-photography.com/Techniques/soap_films.php

Construindo um filme de sabão gigante:

<http://home.earthlink.net/~marutgers/fun/howto/howto.html>

<http://www.ameritech.net/users/paulcarlisle/soapfilms.html>

Turbulência em filmes de sabão:

<http://home.earthlink.net/~marutgers/science/turbulence/gallery.html>

Convenção em filmes de sabão:

<http://www-math.mit.edu/~bush/soap.html>

<http://www.physics.umanitoba.ca/CAP/aop/93c2n10.html>

Alguns vídeos sobre experimentos:

<http://www.cheme.cornell.edu/peopleevents/researchgroups/fluidynamics/SteenGroup/movies/>

Indicações de referências mais avançadas para futuros trabalhos:

Multispectral Determination of Soap Film Thickness:

<http://surfactants.net/huibers/la960738n.pdf>

Flexible filaments in a flowing soap film as a model for one-dimensional flags in a two-dimensional wind:

<http://www.nature.com/cgi->

[taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v408/n6814/full/408835a0_r.html](http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nature/journal/v408/n6814/full/408835a0_r.html)

System Validates Soap-Film Study of 2-D Turbulence

<http://www.photonics.com/spectra/tech/XQ/ASP/techid.452/QX/read.htm>

Infrared technique for measuring thickness of a flowing soap film:

<http://www.physics.ohio-state.edu/~maarten/papers/12%20IR.pdf>

Velocity fluctuations in a turbulent soap film: The third moment in two dimensions:

<http://www.math.psu.edu/belmonte/PaperFile/soapS3.pdf>