

Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW
F 609 – Tópicos de Ensino de Física – 1º semestre de 2019

Sincronização de osciladores



Aluno: Luiz Filipe Campos Faria
Orientador: Prof. Eduardo Miranda

Campinas – Junho de 2019

Introdução

Fenômenos de sincronização são vistos em diferentes áreas da ciência, da sociedade e de dinâmicas populacionais, em geral. Tal fenômeno foi observado pela primeira vez por C. Huygens em 1665, no contexto em que dois relógios de pêndulo colocados juntos sincronizavam, e não se entendia o porquê disso acontecer. Assim, entende-se como um aspecto importante a ser bem entendido e caracterizado para um bom entendimento do mundo que nos cerca. Nesse sentido, este experimento pretende estudar esse fenômeno em osciladores colocados numa base não fixa que, assim, pode se mover. Com isso, entender um pouco mais de como se dá esse processo, bem como seus alcances e limitações.

Como preparação para o experimento desenvolvido, o estudante montou o experimento de “Pêndulos acoplados”, desenvolvido anteriormente na mesma disciplina. Ele foi montado na semana anterior ao UPA para a devida demonstração pros estudantes e algumas novas observações foram feitas. Assim, esse relatório inicia mostrando essa montagem e o que foi observado.

Em seguida, é apresentado o processo de montagem do experimento proposto pelo estudante, bem como os materiais utilizados e os processos envolvidos. Finalmente, são mostradas as observações feitas. No fim, há uma conclusão, e o relatório é fechado com o comentário feito pelo orientador. As referências vêm em seguida.

Montagem de “Pêndulos acoplados”

Um experimento anterior de pêndulos acoplados foi desenvolvido pelo estudante Gustavo Moreto no 2º semestre de 2018 na mesma disciplina de F 609. Devido a sua similaridade com o experimento, o estudante fez a montagem do mesmo em frente ao laboratório de óptica do IFGW para se familiarizar com o assunto. Também, o experimento foi montado na semana anterior ao UPA 2019 para que os alunos visitantes pudessem vê-lo e, assim, entrar em contato com esse fenômeno.

A montagem foi feita utilizando os seguintes materiais:

- Barbante;
- Garrafa plástica de refrigerante (600mL);
- Água;
- Prego.

Um certo comprimento de barbante foi montado entre duas colunas de madeira em frente ao laboratório já mencionado. Ao longo deste pedaço de barbante, 4 garrafas de refrigerante de 600mL com metade de seu volume com água foram presas por outros pedaços de barbante. Foi decidido não encher as garrafas até a boca, ou seja, em todo seu volume para que a massa fosse menor e assim a amplitude de oscilação das garrafas pudesse ser maior. Duas dessas garrafas foram colocadas a um dado comprimento igual e as outras duas colocadas num outro comprimento maior que as anteriores. As Figs. 1 e 2 apresentam a montagem feita.



Figura 1: Montage do experimento "Pêndulos ressonantes"



Figura 2: Montagem do experimento "Pêndulos ressonantes"

Com o experimento montado, foi possível testá-lo e observar seus efeitos. Como foi visto pelo autor original, quando se coloca pra oscilar um dos pêndulos num dado comprimento, o efeito é transferido em grande parte para o seu similar de mesmo comprimento. Mas também, outro efeito foi percebido. Quando o barbante que dá sustentação para os pêndulos está numa tensão menor, o efeito da oscilação para os pêndulos do outro comprimento é maior. Aumentado a tensão no barbante de cima, menos os pêndulos de comprimentos diferentes se “misturam”. Ao se verificar o vídeo do autor original, com o experimento montado no prédio do LEI, viu-se que, de fato, uma pequena transferência é vista para os pêndulos de comprimento distinto, sendo coerente com o percebido nessa montagem.

Experimento “Sincronização de osciladores” – Montagem

Para a montagem do experimento proposto, foram utilizados os seguintes materiais:

- Pedacos de madeira;
- Placa de compensado;
- Pedaco de mangueira;
- 6 rolamentos;
- Massa durepox;
- Pedacos de arame;
- Pregos;
- Pesos de chumbo para pescaria;
- Cola para madeira.

O pêndulo foi montado ligando-se o peso de chumbo de pescaria a um arame que foi fixado ao rolamento através de massa de durepox, vide Fig. 3.



Figura 3: Pêndulo montado

Os dois pêndulos, montados da mesma maneira, foram fixados em rolamentos que foi colocado num suporte de madeira, vide Fig. 4. Este suporte foi feito com pedaços de madeira, devidamente pregados e colados com cola para madeira.



Figura 4: Visão lateral do sistema.

O suporte foi colocado numa base feita de um pedaço plano de compensado, MDF, que por sua vez foi apoiado em outros 4 rolamentos. Isso permite que, ao se colocar um dos pêndulos para se mover, a base se móvel e o outro pêndulo também se movem. A Fig. 5 mostra uma vista superficial do experimento.



Figura 5: Vista superior do experimento.

Os 4 rolamentos podem ser substituídos por apoio de pedaço de mangueira que não permite o movimento da base como um todo. A Fig. 6 mostra este caso.



Figura 6: Experimento apoiado sobre pedaços de mangueira.

Efeitos observados

Com base na montagem feita, foi possível observar alguns efeitos de interesse. Quando o sistema é colocado sobre os rolamentos e se coloca um dos pêndulos para se mover, a base se move e o outro pêndulo também entra em movimento. Isto mostra o efeito já observado no séc. XVII por Huygens. Na montagem feita, viu-se que o atrito pode atrapalhar o movimento como um todo, assim em superfícies menos rugosas, o efeito é maior. Também, quanto maior o peso do suporte, maior a inércia do sistema como um todo para se mover.

Por outro lado, ao se colocar o suporte sobre os pedaços de mangueira, a base não consegue se mover e, quando se coloca um dos pêndulos para se mover, o outro fica imóvel, não sentindo nenhum efeito. Esta parte confirma a nossa hipótese de que a mobilidade da base é fundamental para que os pêndulos interajam.

Conclusão

Com base no experimento feito, o resultado final foi de êxito em relação à proposta inicial. Foi possível verificar o efeito que uma base móvel tem na interação entre dois sistemas de osciladores. Acredito que um experimento como este, com a base móvel e fixa, consegue ser bem efetivo para estudantes do ensino médio quanto à apreensão dos conceitos físicos envolvidos.

Comentário do Orientador

“O experimento proposto pelo estudante é simples, mas com um efeito bastante interessante de ser observado. Tivemos encontros semanais e o andamento do projeto foi bem planejado e executado por ele. A montagem em si foi bem elaborada e bem feita, apresentando dificuldades normais numa execução de experimento deste tipo. Considero que o estudante fez um bom trabalho e conseguiu aproveitar a oportunidade

e experiência propostas pela disciplina. Neste sentido, minha avaliação é de aprovação do mesmo devido ao seu empenho e trabalho.”

Eduardo Miranda

Referências

1. Experimento “Pêndulos acoplados” - Gustavo Moreto - Relatórios da disciplina F 609 do Instituto de Física da Unicamp - 2º semestre de 2018; Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F609_2018_sem2/Gustavo-Lunazzi_F609_S2_181203.pdf;
2. Pêndulos de Dois modos de Oscilação - João Henrique Cândido de Moura - Relatórios da disciplina F 609 do Instituto de Física da Unicamp - 1º semestre de 2008; Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2008/JoaoH_Lunazzi_F609_RF2.pdf;
3. Pêndulo duplo de Airy-Blackburn - Bruna Graziela Martins - Relatórios da disciplina F 609 do Instituto de Física da Unicamp - 1º semestre de 2009; Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2009/BrunaG-Ennio_RF2.pdf;
4. TILLES, Paulo Fernando Coimbra. Um estudo sobre sincronização no modelo de Kuramoto. 2011. 102 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Física Teórica, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/102550>>;
5. Kuramoto, Yoshiki (1975). H. Araki (ed.). Lecture Notes in Physics, International Symposium on Mathematical Problems in Theoretical Physics. 39. Springer-Verlag, New York. p. 420;

6. Acebrón, Juan A.; Bonilla, L. L.; Vicente, Pérez; Conrad, J.; Ritort, Félix; Spigler, Renato (2005). "The Kuramoto model: A simple paradigm for synchronization phenomena". *Reviews of Modern Physics*. 77 (1): 137–185;

7. Oliveira, H. M. and Melo, L. V. Huygens synchronization of two clocks. *Sci. Rep.* 5, 11548; doi: 10.1038/srep11548 (2015).