

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



UNICAMP

F 609

TÓPICOS DO ENSINO DE FÍSICA I

Pêndulos eletromagnéticos e como sincronizá-los

Autor:

Alexandre LISITA

Orientador:

Prof. Gustavo WIEDERHECKER

Conteúdo

1	Introdução	3
2	Proposta	4
3	Metodologia e materiais	4
3.1	Estudo teórico do pêndulo eletromagnético.	4
3.1.1	Teoria do pêndulo eletromagnético	4
3.1.2	Sincronismo entre osciladores	5
3.2	Materiais	5
4	Cronograma	5
5	Aprovação do orientador	6

Resumo

Este experimento tem por objetivo demonstrar o conceito de osciladores auto-sustentáveis e também explorar o comportamento coletivo destes osciladores. Os osciladores serão baseados em pêndulos eletromagnéticos nos quais um campo magnético é utilizado para estabelecer realimentação positiva. Utilizando dois destes osciladores com frequências ligeiramente distintas pretendemos demonstrar que é possível sincronizá-los. Para alcançar este estado síncrono os osciladores serão colocados em uma base móvel, o movimento da base decorrente da oscilação de cada pêndulo irá acoplar ambos. Quando o acoplamento é forte, comparado com a diferença de frequências, esperamos que os dois pêndulos oscilem em uníssono.

1 Introdução

Sincronização é o processo pelo qual dois sistemas autônomos interagem e passam a oscilar em uma frequência comum e relação de fase fixa. Este fenômeno é comumente observado na natureza, por exemplo, enxames gigantes de vaga-lumes no sudeste asiático piscam em sincronismo, redes de células marca-passo no coração batem em sincronismo, átomos podem pulsar em sincronismo para emitir luz, é o caso dos lasers. Além disso, nós, seres humanos, apreciamos sincronismo, como na dança e na música [1] [2]. O estudo científico mais antigo de sincronismo foi registrado em 1657 por Christian Huygens que construiu o primeiro relógio de pêndulo. Para melhorar o desempenho da sua criação, Huygens fez experiências com dois relógios de pêndulos montados em uma base comum. Foi observado que os relógios oscilavam na mesma frequência, mas 180° fora de fase [1]. Na Fig. 1 é ilustrado um esquema deste experimento.

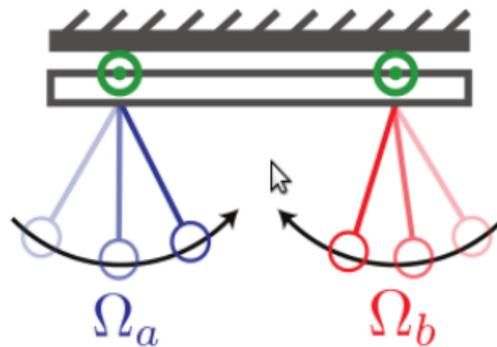


Figura 1: Esquema do experimento realizado por Huygens. Dois pêndulos de relógio de frequências próximas, Ω_a aproximadamente igual a Ω_b , entram em sincronismo devido ao acoplamento pela base móvel.

Em 1841 Alexander Bain obteve a primeira patente de um relógio elétrico. Patente número 8.783, emitida em Londres, a qual se baseava em um pêndulo eletromagnético. Ele continuou desenvolvendo essa ideia, sincronizando dois desses relógios, um distante do outro, através de uma linha telegráfica, pela qual eram enviados impulsos elétricos, gerados por um dos pêndulos, os quais chegavam ao outro pêndulo. Assim, ambos os relógios oscilavam na mesma frequência e fase e se mantinham dessa forma, ou seja, sincronizados. Esse princípio é básico em sistemas

de telecomunicações, e é utilizado especialmente nos sistemas de televisão.[3]

2 Proposta

Existem diversas demonstrações de sincronismo utilizando metrônimos acoplados através em uma base móvel [1], que são variações dos experimentos feitos por Huygens; vários vídeos no Youtube demonstram esse tipo de sincronização [4]. A nossa proposta é similar ao que foi feito em [1], todavia, propomos inovar em relação ao tipo de pêndulo utilizado. Propomos neste projeto demonstrar a sincronização dois pêndulos eletromagnéticos que, comparados a metrônimos, são consideravelmente mais baratos e mais simples de serem construídos. Esta demonstração evidenciará os mecanismos de realimentação que garantem a oscilação perpétua (até que a pilha se esgote) deste pêndulo e também a física envolvida neste acoplamento dos osciladores. O mecanismo de realimentação e a demonstração de que objetos inanimados podem entrar em sincronismo, é algo com muitas aplicações na área de metrologia e telecomunicações, por exemplo.

3 Metodologia e materiais

Como foi apresentado na seção 2, este trabalho envolverá um estudo teórico seguido de uma demonstração experimental sobre sincronismo de pêndulos eletromagnéticos. Detalhamos a seguir a metodologia e materiais que adotaremos para realizar nossa demonstração.

3.1 Estudo teórico do pêndulo eletromagnético.

Dividiremos esta etapa inicial em duas fases, descritas a seguir. Durante todo o trabalho desenvolvido nas fases 3.1.1 e 3.1.2 deste projeto, será utilizado para resolver equações e analisar graficamente os resultados o software *Mathematica*.

3.1.1 Teoria do pêndulo eletromagnético

Acreditamos ser grande importância a análise do mecanismo de realimentação do pêndulo por algumas razões. Primeiramente porque os cursos de graduação em

física no Brasil não costumam explorar esse conceito, seria necessário o aluno fazer um curso de extensão ou algo similar para ter essa oportunidade. Além disso, essa técnica possui aplicações em diversas áreas do conhecimento, como, por exemplo, na construção de motores e relógios.

3.1.2 Sincronismo entre osciladores

Nesta fase seguiremos alguns capítulos do livro *Nonlinear Dynamics and Chaos* [5], em razão da abordagem com enfoque físico seguida pelo autor do livro. Também estudaremos o artigo de sincronismo de metrônimos [1].

3.2 Materiais

- Uma pilha
- Fios condutores
- Cobre para fazer a bobina
- Ferro para o núcleo da bobina
- Alumínio para fazer a haste
- Cobre para fazer a lâmina metálica
- Um imã
- Madeira para fazer a base do pêndulo
- Madeira ou algum outro isolante para servir de base para a lâmina metálica.

4 Cronograma

Na seção 3 apresentamos o plano de trabalho a ser seguido durante o decorrer desta dissertação. Na tabela 1 detalhamos o cronograma que será seguido para que os objetivos sejam cumpridos em sua totalidade.

Tabela 1: *Cronograma de atividade*

Semana	Materiais	Item 3.1.1	Item 3.1.2	Protótipo	RF	Versão final do pêndulo	RF
1	•	•					
2	•	•					
3	•	•					
4	•		•	•	•		
5	•		•	•	•		
6			•			•	
7			•			•	
8							•
9							•

5 Aprovação do orientador

Meu orientador, o Prof. Gustavo S. Wiederhecker concorda com os termos aqui estabelecidos para o projeto e declara que poderá dispor de todos os elementos necessários a menos de exceções indicadas embaixo.

Exceções: não há

Sigilo: não solicita

Referências

- [1] J. Pantaleone “Synchronization of metronomes” - American Journal of Physics, 2002
- [2] Steven Strogatz: How things in nature tend to sync up . No evento TED, vídeo disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=aSNrKS-sCE0>
- [3] Detrás de la Cámara. Historia de la televisión y de sus cincuenta años en España (2008). Varios autores. Cordinadora: Olga Pérez Sanjuán Foro Histórico de las Telecomunicaciones. COIT/AEIT
- [4] Sincronização de 9 metrônomos, disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=DD7YDyF6dUk>
- [5] Strogatz S. H. - Nonlinear Dynamics And Chaos