Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4

Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)

Atena Editora
Ano 2019

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

(Organizadores)

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4

Atena Editora

2019

2019 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 4)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-475-7
DOI 10.22533/at.ed.757191107

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I.Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario

CDD 509.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2019

APRESENTAÇÃO

A obra "*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 4*" aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 22 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 8

OSCILADOR HARMÔNICO: MODELO PARA A DESCRIÇÃO DE SISTEMAS FÍSICOS EM EQUILÍBRIO ESTÁVEL SOFRENDO PEQUENAS OSCILAÇÕES

Pedro Henrique Ferreira de Oliveira
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza – Ceará

João Philipe Macedo Braga
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Acarape – Ceará

RESUMO: Quais as relações entre uma molécula, um pêndulo, uma conta em um fio e um líquido dentro de um tubo? A priori estes quatro sistemas parecem ser totalmente desvinculados um do outro, no entanto carregam no âmago de seu movimento algo em comum, há um modelo descritivo que abrange todos estes quatro, sob determinadas condições. A Matemática que nos possibilitou estudar e correlacionar estes problemas variados foi a Série de Taylor, instrumento matemático que possibilita aproximar a função energia potencial como um polinômio em torno do centro do movimento para pequenas oscilações. O objetivo deste capítulo, é discutir o poder de descrição de diversos sistemas físicos distintos do oscilador harmônico simples. A conclusão obtida é de que qualquer sistema físico em equilíbrio estável sofrendo pequenas oscilações é um oscilador harmônico, o que torna esse modelo fundamental para a compreensão de vários fenômenos na natureza. Desse modo, o presente trabalho busca contribuir para um ensino de física mais contextualizado consolidando assim um arranjo no âmbito da pesquisa em Ensino de Física, tendo ainda o potencial para ser empregado como material complementar em cursos de Física e/ou Ciências correlatas em nível de graduação e pós-graduação.

PALAVRAS-CHAVE: Oscilador Harmônico. Teoria das pequenas oscilações. Ensino de Física.

HARMONIC OSCILLATOR: MODEL FOR THE DESCRIPTION OF PHYSICAL SYSTEMS IN STABLE EQUILIBRIUM SUFFERING SMALL OSCILLATIONS

ABSTRACT: What are the relationships between a molecule, a pendulum, a bead in a wire and a liquid inside a tube? A priori these four systems seem to be totally unrelated to each other, yet carry at the heart of their movement something in common, there is a descriptive model that covers all these four, under certain conditions. The Mathematics that enabled us to study and correlate these varied problems was the Taylor Series, a mathematical tool that makes it possible to approximate the potential energy function as a polynomial around the center of the motion for small oscillations. The purpose of this chapter is to discuss the power of description of several different physical systems of the simple

harmonic oscillator. The conclusion obtained is that any physical system in stable equilibrium undergoing small oscillations is a harmonic oscillator, which makes this model fundamental to the understanding of various phenomena in nature. Therefore, the present work seeks to contribute to a more contextualized physics teaching, thus consolidating an arrangement within the scope of research in Physics Teaching, besides have the potential to be used as complementary material in Physics and/or related Sciences courses at undergraduate and postgraduate level.
KEYWORDS: Harmonic Oscillator. Theory of small oscillations. Teaching Physics.

1 I INTRODUÇÃO

Dentre todos os tipos de movimento presentes na natureza, os oscilatórios ganham certo destaque por surgirem em um número muito grande de situações físicas aparentemente distintas. Exemplos de oscilações vão desde pêndulos e candelabros até instrumentos musicais como a guitarra elétrica (NUSSENZVEIG, 2014). Seguindo o curso da história um dos primeiros a estudar analiticamente o problema do oscilador e, com isso, resolver sua equação de movimento foi o físico e matemático Euler (BASSALO; CATTANI, 2009).

O Movimento Harmônico Simples em uma dimensão é um dos mais simples e icônicos problemas da Física (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2013) trabalhado, inclusive no Ensino Médio (MÁXIMO; ALVARENGA; GUIMARÃES, 2016; GASPAR, 2016), onde o sistema massa-mola representa um verdadeiro desafio em provas de Física.

Mas afinal, qual a relevância de se estudar o movimento de uma massa cujo movimento é restrito à uma mola se aparentemente quase ninguém se depara com um sistema como esse no seu dia-a-dia? Certamente esse questionamento já passou ao menos uma vez na cabeça de todos quando são introduzidos a este problema sem uma devida contextualização de sua relevância. O Oscilador Harmônico é, possivelmente, o problema mais importante do movimento unidimensional (WATARI, 2004).

Nessa perspectiva o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise crítica e ao mesmo tempo didático-pedagógica de quatro sistemas onde não há necessariamente massas fixas à molas de determinada constante elástica, sendo então de grande importância para a compreensão da teoria de pequenas oscilações, consolidando assim um arranjo no âmbito da pesquisa em Ensino de Física nessa temática, tendo potencial para ser empregado como material auxiliar em cursos em nível de graduação e pós-graduação. Na próxima seção, faremos uma revisão da teoria básica do oscilador harmônico clássico unidimensional. Na terceira seção desse capítulo, estudaremos quatro sistemas físicos distintos sofrendo pequenas oscilações. Por fim, na seção 4, traremos nossas conclusões.

2 I OSCILADOR HARMÔNICO: UMA REVISÃO CLÁSSICA

O primeiro contato que se tem com osciladores harmônicos nas escolas ou nas universidades é inicialmente rudimentar, no qual estuda-se um problema simples unidimensional, denominado sistema massa-mola (Fig. 1).

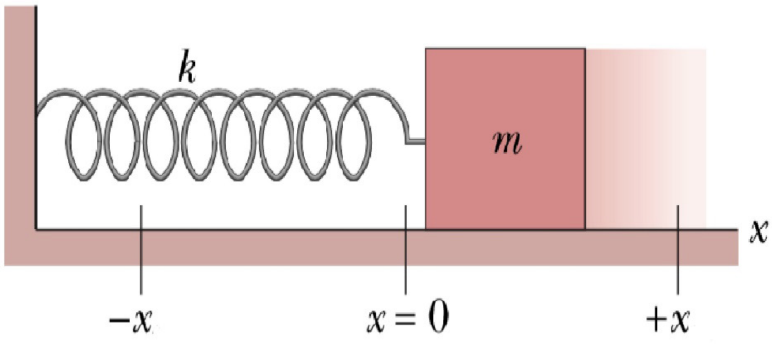

Figura 1. Sistema massa-mola usualmente trabalhado no ensino médio, no qual um bloco de massa tem seu movimento restrito no intervalo por uma mola de constante elástica .

Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2013).

Neste caso, para uma deformação (elongação ou compressão) por um fator a partir da posição de equilíbrio, há o surgimento de uma força restauradora que depende (neste caso) unicamente da posição [3], dada pela Lei de Hooke,

$$F(x) = -kx, \qquad (01)$$

onde k é uma constante que depende das propriedades da mola envolvida. Com o surgimento dessa força restauradora unicamente dependente da posição, é possível associar a ela uma energia potencial elástica uma vez que, para campos conservativos,

$$F(x) = -\frac{dV(x)}{dx}, \qquad (02)$$

impondo que a energia potencial seja dada por

$$V(x) = -\int_{x_0}^{x} F(x)\,dx, \qquad (03)$$

desse modo a energia potencial elástica, tomando a posição (a posição é totalmente arbitrária, podendo ser tomada, por exemplo, no ponto que zera a função) como sendo a posição de equilíbrio na origem do sistema de coordenadas, temos que

$$V(x) = \frac{1}{2}kx^2. \qquad (04)$$

Note que a expressão acima impõe uma energia potencial parabólica (Fig. 2) (WATARI, 2004), onde uma partícula com determinado limiar de energia só poderá se mover em uma determinada amplitude (neste caso constante), em um movimento oscilatório (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2013).

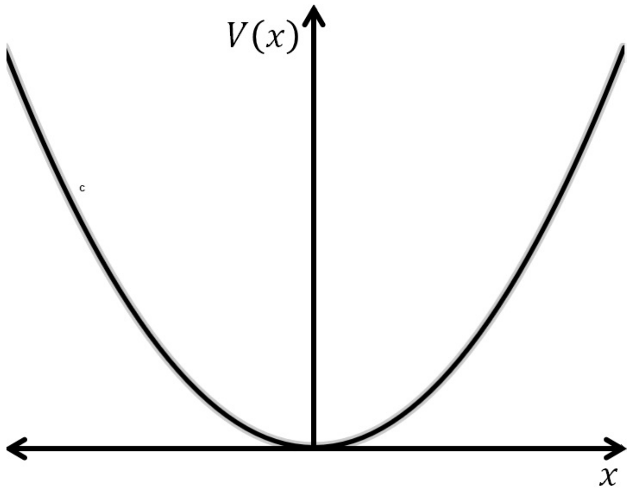

Figura 2. Potencial elástico $V(x) = kx^2/2$.

Fonte: Elaborado pelos autores desse trabalho.

Para nos convencermos um pouco mais sobre o movimento é possível escrever uma expressão que contenha todas as informações sobre a partícula (NUSSENZVEIG, 2014). Mecanicamente é o Princípio Fundamental da Dinâmica que nos permite obter isto, uma vez que

$$F_R = m\frac{d^2x}{dt^2} \equiv m\ddot{x}, \qquad (05)$$

onde F_R é a soma das forças resultantes que atuam sobre o sistema, para este caso é apenas a força restauradora da mola que faz o sistema se mover e, portanto

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0, \qquad (06)$$

onde $\omega \coloneqq \sqrt{k/m}$, é a frequência angular do movimento, a partir dela podemos calcular a frequência *f* como a razão $\omega/2\pi$. A expressão acima é uma Equação Diferencial Ordinária de Segunda Ordem Homogênea Linear com Coeficientes Constantes, que dadas duas condições iniciais impõe uma solução única e, com isto, a determinação total da partícula como uma função do tempo (passado e futuro)

(SYMON, 1982). A EDO expressa na equação (06) é facilmente resolvida, como uma combinação linear de senos e cossenos (BASSALO; CATTANI, 2009), de modo que

$$x(t) = A\cos(\omega t) + B\,\mathrm{sen}(\omega t) \equiv A\,\mathrm{sen}(\omega t + \varphi), \qquad (07)$$

onde *A* e *B* são parâmetros determinados pelas condições de contorno e pelos valores iniciais, isto é $x(t_0) = x_0$ e $\dot{x}(t_0) = v_0$.

Agora a grande dúvida reside sobre o porquê de um sistema, relativamente simples, ser imbuído como modelo central para todo um formalismo. Note então que, caso um sistema possa ser descrito unicamente como função da posição, é possível estabelecer para o mesmo, uma função potencial (KITELL; KNIGHT; RUDERMAN, 1973), de modo que $V = V(x)$, contudo isto por si só não abre oportunidades para uma generalização de muitos sistemas à uma mesma abordagem.

Analisemos, portanto, uma função potencial analítica e arbitrária da posição, através de uma Série de Taylor, a qual é dada matematicamente para uma função $f(x)$ qualquer, como sendo

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{D^{(n)} f(x)}{n!}\bigg|_{x=x_0} (x - x_0)^n, \qquad (08)$$

Onde representa a n-ésima derivada de em relação à . Assim sendo, o potencial é escrito como

$$V(x) = V(x_0) + \frac{dV(x)}{dx}\bigg|_{x=x_0} (x - x_0) + \frac{1}{2}\frac{d^2V(x)}{dx^2}\bigg|_{x=x-x_0} + \cdots \qquad (09)$$

neste caso tomemos agora algumas considerações. Seja o sistema físico tomado em equilíbrio estável sofrendo pequenas oscilações, desse modo surgem algumas consequências desta abordagem

i) A energia potencial em um ponto de referência pode ser tomada como sendo igual à zero sem qualquer perda de generalidade, isto é $V(x_0)$ =0, pois para a dinâmica o que influencia é apenas a diferença de potencial.

ii) Como o sistema está em equilíbrio, então em $x = x_0$ a função possuí um ponto crítico

$$\frac{dV(x)}{dx}\bigg|_{x=x_0} = 0.$$

iii) E não apenas isto, mas o mesmo é um equilíbrio estável, no qual

$$\left.\frac{d^2V(x)}{dx^2}\right|_{x=x_0} = k > 0,$$

Onde *k* é uma constante positiva definida.

iv) Além disso o fato de o sistema sofrer pequenas oscilações implica que $|x - x_0| \to 0$, de modo que termos de grau 3 em diante são desprezíveis e, portanto, não contribuíram efetivamente na soma.

Combinando essas quatro considerações à equação (09), obtemos

$$V(x) = \frac{1}{2}k(x - x_0)^2 \equiv \frac{1}{2}k\tilde{x}^2, \tag{10}$$

onde $\tilde{x}$ corresponde à uma translação de eixos de coordenadas, tal que $\tilde{x} = x - x_0$.

Note que a equação (10) implica que todo sistema físico em equilíbrio estável sofrendo pequenas oscilações, é um Oscilador Harmônico. Esta afirmação, até mesmo poética, evidencia todo o poder do formalismo, pois o que molda um sistema físico é sua energia potencial, tomada em sua forma geral para esta demonstração.

3 I DISCUSSÃO DE SISTEMAS FÍSICOS

Pois bem, vimos aqui que o Oscilador Harmônico é teoricamente um modelo primordial para o estudo de sistemas físicos em equilíbrio estável sofrendo pequenas oscilações. Eis então o seguinte questionamento natural: a aplicação de tal formulação é tão ampla assim, perpassando casos onde não há especificamente uma \`massa' e uma \`mola'?

A seguir discutiremos a solução de quatro problemas interessantes, apresentando ao final uma breve conclusão.

3.1 Sistema 1: Conta sobre um aro vertical em Movimento Circular e Uniforme (MCU)

Seja uma conta (partícula) de massa enfiada em um aro vertical fixo de raio r, no qual desliza sem atrito, deslocando-se em torno do ponto mais baixo, de forma que o ângulo (fig. 3) permanece pequeno.

Note que o movimento da conta, em geral, é um movimento circular e, portanto, pode ser feita a associação de um torque devido à força peso. A definição de torque, ou melhor, de seu módulo possui duas formulações equivalentes, em termo do ângulo θ.

$$\tau = rF\,\text{sen}\,\theta\,, \tag{11}$$

ou ainda

$$\tau = I\alpha, \tag{12}$$

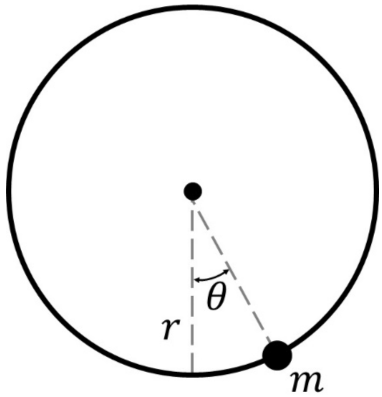

Figura 3. Representação do sistema 1.

Fonte: Elaborado pelos autores desse trabalho.

em que *I* é o momento de inércia da conta ($I = mr^2$) e α é a sua aceleração angular. Igualando as equações (11) e (12), obtemos

$$I\alpha = rF\,\text{sen}\,\theta,$$

no entanto os valores de I e θ são conhecidos, *F* é a força peso,$\alpha = \ddot{\theta}$ e $\theta \ll 1$. Logo

$$mr^2\ddot{\theta} = -rmg\theta,$$

portanto

$$\ddot{\theta} + \omega^2\theta = 0, \tag{13}$$

onde $\omega^2 \equiv g/r$. Note que a equação acima é idêntica à do Oscilador Harmônico Simples no qual não possui atrito e nem forças externas sobre o mesmo. A partir disso podemos tomar a seguinte hipótese, a conta pode ser tratada como tal para pequenas oscilações.

Por fim, podemos calcular a frequência de tais oscilações, uma vez que

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \tag{14}$$

portanto

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{r}}. \tag{15}$$

3.2 Sistema 2: Fluído em um tubo com formato de "U"

Seja disposto um líquido de densidade *p* contido em um tubo em *U* de seção transversal A, e seja l o comprimento total da coluna líquida, assim a massa total de líquido disposta é $M = \rho Al$. Este sistema é mais comum, aparecendo muito em construções, nas quais o mestre de obras (ou um de seus funcionários) utiliza uma mangueira com água para determinar o nível de uma parede com base na variação do nível da água.

Em equilíbrio, o líquido tem o mesmo nível nos dois ramos, que tomamos como nível $z = 0$ (fig. 4), correspondente à energia potencial $U = 0$. Se o nível baixa de uma altura *z* num ramo, subirá de *z* no outro, consideremos que essa variação é pequena se comparada as dimensões do problema.

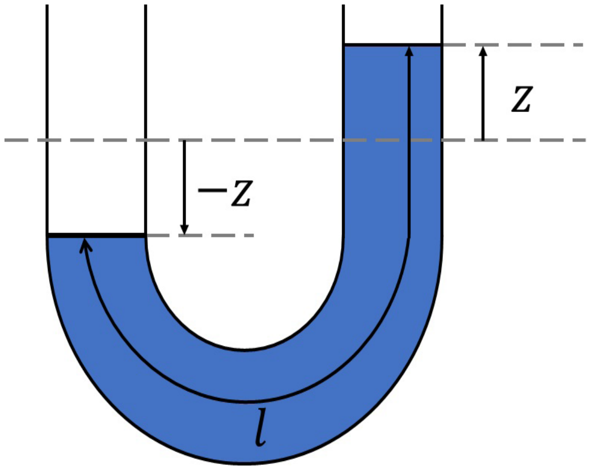

Figura 4. Representação do sistema 2.

Fonte: Elaborado pelos autores desse trabalho.

Dadas as informações já citadas é possível definir a energia potencial a qual o fluído está submetido já que há um ponto de referência. Neste caso U=$U(z)$, onde *z* é a altura relativa com a posição de equilíbrio, cuja forma funcional é

$$U(z) = mgz,$$

importante frisar que estamos analisando apenas uma fração da massa total, a equivalente à massa deslocada durante as oscilações e, portanto $m \equiv \rho Az$. Desse modo a energia potencial é dada por

$$U(z) = \rho Agz^2, \tag{16}$$

isto é, um potencial parabólico, similar ao potencial restaurador do oscilador harmônico, note então que para este caso a 'constante elástica' seria dada por $k \equiv 2\rho Ag$, equivalendo à uma taxa de crescimento da força de empuxo do fluído em relação à variação no nível do mesmo.

Deste modo é possível calcular a frequência natural de vibração ω, uma vez conhecida uma expressão para *k*,

$$\omega^2 = \frac{k}{M},$$

agora a massa é a massa total do fluído, pois supomos inicialmente que o mesmo se desloca dentro do tubo de modo homogêneo. Desse modo

$$\omega^2 = 2\frac{g}{l}, \tag{17}$$

e, portanto, a frequência para pequenas oscilações é

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2g}{l}}, \tag{18}$$

observe que quanto maior for a coluna de água, menor é a oscilação do movimento, garantindo, por exemplo uma maior precisão para a medida do nível em uma obra.

3.3 Sistema 3: Molécula diatômica

Um outro tipo de sistema interessante de estudarmos são as moléculas. Uma molécula é formada por alguns átomos formando uma determinada estrutura, a qual dará origem à diversas propriedades físicas e/ou químicas que podem ser essenciais para a vida ou até mesmo úteis para o desenvolvimento científico e/ou tecnológico.

Um dos exemplos mais simples de moléculas são as chamadas diatômicas, pois possuem apenas dois átomos em sua composição. Exemplos de moléculas diatômicas presentes no nosso dia a dia são o oxigênio (O_2) e o nitrogênio (N_2) que constituem cerca de 99% da atmosfera terrestre.

Sabe-se que a energia potencial para a força de interação entre dois átomos numa molécula diatômica tem a forma aproximada dada pelo potencial de Lennard-Jones (CHIQUITO; ALMEIDA, 1999)

$$V(x) = -\frac{a}{x^6} + \frac{b}{x^{12}}, \tag{19}$$

onde $a \propto a_0^6$ e $b \propto a_0^{12}$ são constantes positivas, a_0 é uma constante com dimensão de comprimento e é a distância entre os átomos.

Utilizando um simulador gráfico (Geogebra) e ferramentas básicas do Cálculo Diferencial e Integral é possível plotar o potencial em função da posição. Já que o fator representa uma distância entre átomos então não é necessário considerar o seu sentido negativo. A figura 5 apresenta um esboço desse potencial.

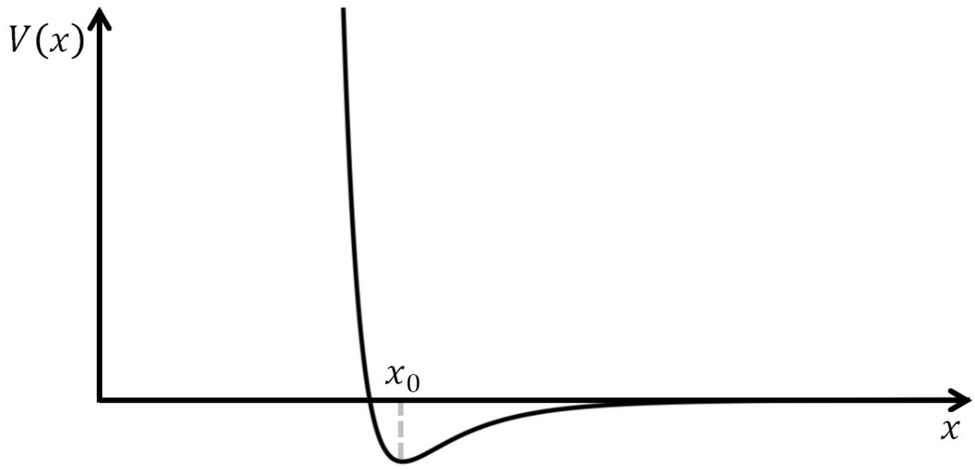

Figura 5. Potencial de interação da molécula diatômica com valores e .

Fonte: Elaborado pelos autores desse trabalho.

Observando o gráfico acima, notamos que há um ponto de equilíbrio estável, em x_0 e com isto como já vimos na discussão teórica deste escrito, o mesmo pode ser visto como um oscilador harmônico para pequenas oscilações em torno de x_0.

Deste modo é possível associar uma frequência natural de oscilação ω_0 sob o qual a partícula executa um movimento oscilatório harmônico. Note que, $\omega_0^2 = k/m$, deste modo relembre que

$$k \equiv \left.\frac{d^2V(x)}{dx^2}\right|_{x=x_0}, \tag{20}$$

a frequência natural de oscilação é

$$\omega_0^2 = \frac{1}{m}\left.\frac{d^2V(x)}{dx^2}\right|_{x=x_0}, \tag{21}$$

deste modo, é essencial determinar a posição de equilíbrio para determinar a frequência natural e com isto a frequência para pequenas oscilações em torno da posição de equilíbrio. Para determinar x_0 buscamos o ponto o qual a derivada da função é nula, desse modo

$$\frac{dV}{dx} = 0,$$

com isto

$$\frac{6a}{x_0^7} - \frac{12b}{x_0^{13}} = 0,$$

portanto, obtemos

$$x_0 = \sqrt[6]{\frac{2b}{a}}. \tag{22}$$

A frequência *f* pode ser obtida resolvendo a expressão abaixo

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{m}}\sqrt{\left.\frac{d^2V(x)}{dx^2}\right|_{x=x_0}}. \tag{23}$$

Diferenciando duas vezes o potencial e aplicando o ponto de equilíbrio x_0, obtemos que a frequência para pequenas oscilações em torno de x_0 é

$$f = \frac{3a}{2\pi\sqrt{m}}\sqrt{\frac{2}{b}\left(\frac{a}{2b}\right)^{\frac{1}{3}}}. \tag{24}$$

3.4 Sistema 4: Pêndulo preso por uma mola

O pêndulo da figura abaixo é formado por uma barra de massa desprezível e comprimento *l* com uma massa suspensa, ligada a barra em seu ponto médio há uma mola horizontal de massa desprezível e constante elástica *k*, com a outra extremidade fixa e relaxada quando o pêndulo está em equilíbrio na vertical. Suponha que a massa ganhe uma pequena velocidade no sentido de disposição da mola, independentemente de seu movimento ser para a direita (esticando a mola) ou para a esquerda (comprimindo a mola), haverá o surgimento de uma força restauradora dada pela Lei de Hooke, se o sistema estiver isolado então o movimento se perpetuará indefinidamente.

Pois bem, para resolver tal situação basta compreender que há um balanço de torques envolvidos, assim como o tratado no sistema , há um torque gerado sobre o pêndulo devido à força peso da massa, isto é

$$\tau_p = -mgl\,\text{sen}\,\theta \equiv -mgl\theta,$$

e de um torque gerado pela força elástica, dado por

$$\tau_m = -k\left(\frac{l}{2}\theta\right)\frac{l}{2}\text{sen}\left(\frac{\pi}{2}\right) \equiv -\frac{kl^2}{4}\theta.$$

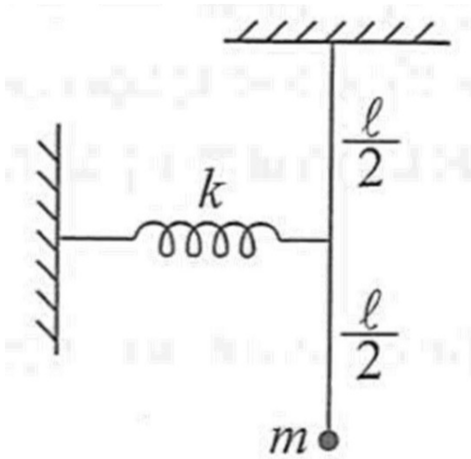

Figura 5. Representação do sistema 4.

Fonte: Nussenzveig (2014).

Desse modo o torque resultante, $\tau = \tau_p + \tau_m \equiv I\ddot{\theta}$, onde I é o momento de inércia da partícula e, portanto, $I = ml^2$. Logo,

$$ml^2\ddot{\theta} = -mgl\theta - \frac{kl^2}{4}\theta,$$

ao reorganizamos a expressão obtemos

$$\ddot{\theta} + \theta\left(\frac{g}{l} + \frac{k}{4m}\right) = 0, \tag{25}$$

que é a equação de movimento do oscilador harmônico na direção de crescimento da variável angular θ. Deste modo é possível efetuar o cálculo da frequência de pequenas oscilações e obter

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l} + \frac{k}{4m}}. \tag{26}$$

4 I CONCLUSÃO

Ao longo deste capítulo foi possível notar a incrível capacidade do oscilador harmônico de servir como modelo para descrição de diversos sistemas físicos bastante diferentes do conhecido sistema massa-mola. Mostramos que qualquer sistema físico em equilíbrio estável sofrendo pequenas oscilações é um oscilador harmônico. Além disso, obtemos a frequência de pequenas oscilações para alguns exemplos específicos. De tal modo que o presente trabalho contribui para um ensino de física mais contextualizado, tendo o potencial para ser empregado como material complementar em cursos de Física e/ou Ciências correlatas em nível de graduação e pós-graduação.

REFERÊNCIAS

BASSALO, J. M. B.; CATTANI, M. S. D. **Osciladores Harmônicos Clássicos e Quânticos**. São Paulo: Editora da Física, 2009.

CHIQUITO, A. J.; ALMEIDA, N. G. O Potencial de Lennard-Jones: Aplicação à Moléculas Diatômicas. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v 21. n 2. Junho, 1999.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. 3 ed. v 1. São Paulo: Ática, 2016

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 9 ed., v. 2. São Paulo: LTC, 2013.

KITELL, C.; KNIGHT, W. D.; RUDERMAN, M. A. **Mecânica – Curso de Física de Berkeley**. V. 1. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B.; GUIMARÃES, C. **Física: Contexto & Aplicações**. 2 ed. v 1. São Paulo: Scipione, 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 5 ed. v. 2. Blücher: São Paulo, 2014.

SYMON, K. R. **Mecânica**. 5 ed. São Paulo: Campus, 1982.

WATARI, K. **Mecânica Clássica**. 2 ed. v. 1. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jorge González Aguilera: Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação "on farm" de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Alan Mario Zuffo: Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-475-7
9 788572 474757