



ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal de Santa Catarina- campus Araranguá Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Mauricio Girardi

Araranguá. SC
11/2021

PRODUTO EDUCACIONAL

MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

**ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM
ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO
MÉDIO.**

Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

Orientador: Dr. Mauricio Girardi

Programa de Pós-Graduação da Universidade
Federal de Santa Catarina Mestrado
Profissional em Ensino de Física (MNPEF)

Campus Araranguá

APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a):

Este produto educacional, intitulado Abordagem de sistemas granulares com ênfase em atividades experimentais nas aulas de Física no Ensino Médio, foi desenvolvido para a conclusão do curso de Mestrado Profissional Nacional do Ensino em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Este guia de apoio descreve a construção e aplicação de roteiros de experimentação contrastando o comportamento de sistemas granulares com os sistemas físicos típicos que abordam conceitos relacionados à Mecânica, aplicados a turma do 3º ano do ensino médio, com objetivo de revisar o conteúdo e desenvolver um produto educacional na forma de uma sequência didática e apresentar um relato de sua aplicação para estudantes que estão concluído o ensino médio.

SUMÁRIO

1	MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA	5
1.1	Roteiro de aula - Tema - Mecânica.....	5
1.2	Roteiros experimentais - Ângulo de repouso e Rolando grãos.....	8
1.3	Roteiro de aula - Tema - Mecânica	
1.4	Roteiro experimental - Semicilindro oscilante	
2	PLANO DE ENSINO DA PRIMEIRA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	23
2.1	Primeiro encontro	31
2.2	Segundo encontro	31
2.3	Terceiro encontro	32
3	PLANO DE ENSINO DA SEGUNDA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	33
3.1	Primeiro encontro	33
3.2	Segundo encontro	33
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFÊRENCIAS	36
	APÊNDICE A	37
	APÊNDICE B	36

1 MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR DE FÍSICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.

1.1 ROTEIRO DE AULA

PROFESSORA: Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

Tema: MECÂNICA

Disciplina: Física

Série, Nível: 3º ano do Ensino Médio

Números de aulas: 6 horas/aula

Introdução

As diversas estratégias e atividades realizadas pelos professores têm despertado a aprendizagem significativa, principalmente em disciplinas da área de Ciências da Natureza, consideradas de difícil compreensão por muitos alunos. Nesse sentido, propõe-se explorar o conteúdo de Mecânica vinculado ao uso da experimentação para revisão sobre os conceitos de forças de rolamento em rampa associado a sistemas granulares.

Os sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

Figura 1 - Sistemas granulares



Fonte: elaborada pela autora (2021)

Existe, portanto, uma demanda da indústria por descrições mais precisas dos fenômenos envolvendo materiais granulares e, além disso, o estudo desses fenômenos se tornou relevante para os físicos por envolver muitos conceitos fundamentais sobre outras áreas da física.

A área da física que envolve esses estudos é a Mecânica Clássica, que vão desde a utilização da roda na navegação e, nos dias de hoje, através dos equipamentos de armazenamento de grãos em silos, sistemas de partículas que podem ditar fluxo das avalanches, a qualidade do concreto na construção civil e até mesmo a mistura de fármacos para a produção de medicamentos, entre outros.

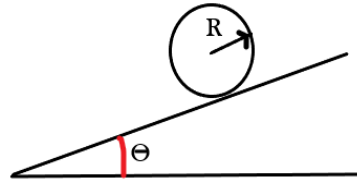
As avalanches podem ocorrer espontaneamente quando a inclinação do material granular excede um certo ângulo crítico ou podem ter início a ângulos menores que o crítico, quando se aplicam pequenas perturbações nos meios granulares. A adição de novos grãos provoca avalanches que tendem a manter o ângulo de inclinação em torno de seu valor crítico, que é mais ou menos constante.

Desta forma, conhecer as propriedades e os efeitos que as forças de rolamento causam em certos sistemas granulares remetem a aspectos quantitativos e conceituais, importantes no conhecimento do estudante referente ao desenvolvimento da Mecânica.

O plano inclinado é tratado em todos os livros de mecânica de física básica, nos quais aparece como um dos primeiros exemplos das aplicações das leis de Newton. Em geral, é encontrado em rampas, esteiras rolantes, morros e ladeiras que são superfícies comuns no cotidiano.

O plano inclinado pode ser caracterizado pelo seu ângulo θ de inclinação com a horizontal. Esse sistema aparece na seguinte figura abaixo.

Figura 2 - Representação de plano inclinado



Fonte: elaborada pela autora (2021)

Se um cilindro desce por um plano inclinado rolando sem deslizar, a componente da força gravitacional paralela ao plano inclinado faz com que a velocidade do seu centro de massa varie. Então, para que a região do cilindro em contato com a pista de rolamento fique em repouso deve haver uma força que resiste ao deslizamento, o atrito estático.

No caso de uma certa quantidade de materiais granulares compostos por pequenas partículas sólidas despejados de uma certa altura sobre um determinado local, verifica-se que esta tende a formar um monte de forma cônica, sendo o ângulo de repouso dos grãos aproximadamente igual ao ângulo de atrito estático, enquanto há equilíbrio, o ângulo θ é inferior ao ângulo de atrito estático (θ_e).

Objetivo geral

Possibilitar ao aluno compreender as propriedades, os conceitos e as definições presentes na Mecânica com enfoque em sistemas granulares.

Objetivos específicos:

O aluno deverá ser capaz de:

- Rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton.
- Identificar os tipos de forças que agem nos sistemas granulares em um rolamento.
- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de software

Conhecimentos:

- I. Leis de Newton
- II. Plano Inclinado
- III. Rolamento
- IV. Torque
- V. Centro de Massa

Pedagógico:

- I. Aula expositiva
- II. Execução do experimento
- III. Coleta de dados
- IV. Utilização do aplicativo de software

1ª e 2ª aulas

Nessa aula, será realizada uma revisão, com auxílio de slides de Powerpoint, sobre os conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

3ª e 4ª aulas

Como abordagem inicial, será levantada a seguinte questão: "Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados? "

Em seguida, será realizado o seguinte experimento: Obtenção do Ângulo de repouso dos grãos de arroz e feijão. Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais.

5ª e 6ª aulas

Complementando a 3ª e 4ª aulas, será realizado o seguinte experimento: Rolamento de tubos de PVC contendo grãos de arroz e feijão com massas diferentes sob um plano inclinado.

Levantar a seguinte questão: "Qual dos tubos ficará parado em equilíbrio no plano inclinado? "

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência, utilizar o aplicativo de *software*.

1.2 ROTEIROS EXPERIMENTAIS

1- ÂNGULO DE REPOUSO DOS GRÃOS

Materiais necessários

01 garrafa PET

01 tripé metálico

01 garra metálica

01 régua graduada

01 folha de papel milimetrado

01 canudo plástico

01 estilete

Fita adesiva

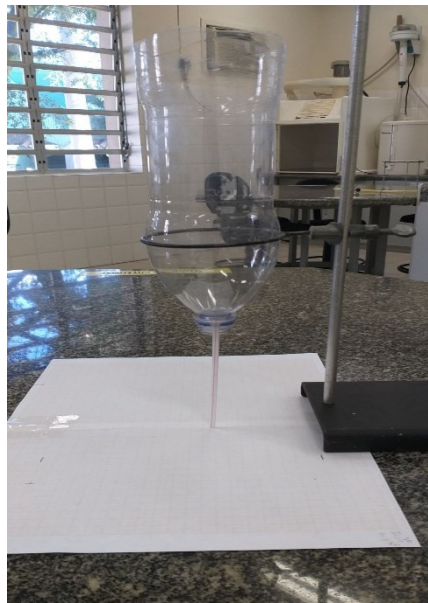
Grãos de arroz

Grãos de feijão

Procedimentos

Corte o fundo da garrafa PET com o estilete e prenda com auxílio de uma fita adesiva um canudo plástico cortado ao meio. Em seguida, prenda a garrafa PET, com auxílio de um aro metálico, no suporte metálico. (Figura 3)

Figura 3 - Fixação da garrafa de PET



Fonte: Acervo da autora (2021)

Em seguida coloque uma folha de papel milimetrado centralizado em direção a boca da garrafa sobre uma superfície plana. Despeje o arroz dentro da garrafa e abra a tampa da garrafa na parte inferior.(Figura 4)

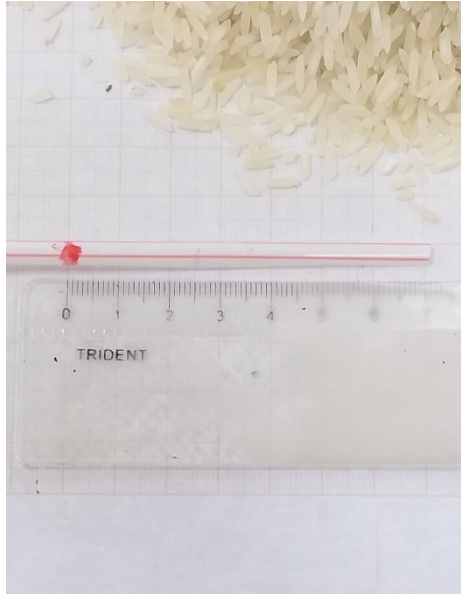
Figura 4 - Despejamento dos grãos de arroz



Fonte: Acervo da autora (2021)

Aguarde os grãos se acomodarem em forma de cone. Marque com uma caneta marca texto a altura e retire cuidadosamente o canudo plástico e meça a altura do amontoado de grãos marcado no canudo com a régua graduada e o diâmetro formado na folha de papel milimetrada. (Figura 5)

Figura 5 - Medição da altura dos grãos de arroz



Fonte: Acervo da autora (2021)

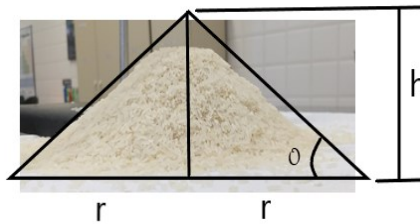
Anote na Tabela 1 as informações para os grãos de arroz e na Tabela 3 as informações para os grãos de feijão. Faça o teste no mínimo três vezes o procedimento para os grãos de arroz e feijão para calcular a média das medidas. (Figura 5 - Medição da altura dos grãos de arroz).

Figura 6 - Despejamento dos grãos de feijão



Fonte: Acervo da autora (2021)

Faça as medidas e responda às atividades propostas.



Cálculo do ângulo de repouso dos grãos

$$\theta = \arctg (h/r)$$

Tabela 1 - Informações sobre a altura do amontoado de grãos e diâmetro do amontoado de grãos de arroz

Teste	Altura do amontoado de grãos (cm)	Diâmetro do amontoado de grãos (cm)	Ângulo de repouso dos grãos (°)	Ângulo médio de repouso dos grãos (°)
1	6,2	22,8	28,53	29,9
2	6,5	22,5	30,01	
3	7	23	31,3	

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 2 - Informações sobre a altura do amontoado de grãos e diâmetro do amontoado de grãos de feijão

Teste	Altura do amontoado de grãos (cm)	Diâmetro do amontoado de grãos (cm)	Ângulo de repouso dos grãos (°)	Ângulo médio de repouso dos grãos (°)
1	4	20	21,82	22,2
2	4,3	20,8	22,46	
3	4,4	21,2	22,54	

Fonte: elaborada pela autora (2021)

ATIVIDADE 1

Usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula responda:

1 - Na demonstração do ângulo de repouso dos grãos, quais os valores médios obtidos para o diâmetro de amontoado dos grãos e altura do amontoado de grãos?

Resposta: Para os grãos de arroz os valores são respectivamente, 11,38 cm e 6,56 cm.

Para os grãos de feijão os valores são respectivamente, 10,33 cm e 4,23 cm.

2 - Existe um ângulo para que os grãos fiquem parados?

Resposta: Existe, é o ângulo de repouso formado entre a pilha de grãos e o plano horizontal sobre o qual o grão permanecerá quando empilhada.

3 - Qual o valor da média do ângulo de repouso para os grãos demonstrados no experimento?

Resposta: Conforme o cálculo do ângulo de repouso dos grãos de arroz

$$\theta = \arctg (h/r) = \frac{6,56}{11,38} = 29,9^\circ$$

Conforme o cálculo do ângulo de repouso dos grãos de feijão

$$\theta = \arctg (h/r) = \frac{4,23}{10,33} = 22,2^\circ$$

4 - O ângulo de repouso depende do tipo de grãos?

Resposta: Sim, a estrutura do material afeta o ângulo de repouso. Os grãos muito pequenos ou lisos que exercem pouca fricção uns sobre os outros tendem a formar pilhas com lados mais rasos, grãos mais ásperos ou que aderem fortemente uns aos outros tendem a formar pilhas com lados mais íngremes e um ângulo mais alto.

5 - Porque o ângulo de repouso do feijão é menor do que o ângulo de repouso do arroz?

Resposta: Os grãos de feijão utilizados no experimento têm as seguintes dimensões: comprimento 10 mm, largura 6 mm e espessura 5 mm sendo mais esféricos e lisos e tende a formar um menor ângulo de repouso. Os grãos de arroz utilizados no experimento têm as seguintes dimensões: comprimento 6 mm, largura 2,5 mm e espessura 1,5 mm (longo fino) mais ásperos que aderem fortemente uns aos outros tendem a formar pilhas com um ângulo mais alto

6 - O que acontece com a pilha de grãos se colocarmos mais grãos?

Resposta: Se adicionarmos mais grãos de arroz ou feijão de cada vez sobre uma superfície plana, estes começam a empilhar-se uns sobre os outros criando uma pilha de ângulo suave, em seguida o ângulo fica demasiadamente íngreme na pilha e

alguns grãos deslizam causando pequenas avalanches. À medida que mais grãos são adicionados e o ângulo da pilha aumenta, também o tamanho médio das avalanches aumenta. O ângulo da pilha cessa de aumentar quando este atinge o valor correspondente ao ângulo de repouso.

2 - ROLANDO OS GRÃOS

Materiais necessários

- 04 pedaços de tubo de PVC de 4 cm x 6 cm de comprimento.
- Papel filme
- 200g de arroz (aproximadamente)
- 200g de feijão (aproximadamente)
- 01 Balança digital
- Fita adesiva
- 01 Tesoura
- 01 Espátula
- 01 rampa de madeira (conforme figura 25).
- 01 goniômetro ou transferidor
- 01 *smartphone*

Procedimentos

Com o auxílio de uma balança, pese o tubo vazio e tare a balança (figura 38)

Figura 7 - Fixação do papel filme



Fonte: Acervo da autora (2021)

Em seguida, com uma espátula, preencha totalmente com os grãos o segundo tubo de pvc e feche o outro lado do tubo também com papel filme e fita adesiva. Pese

na balança e anote o total da massa. Para o terceiro tubo coloque 2/3 da massa total, o quarto tubo com 1/3 da massa total. (Figura 39)

Figura 8 - Tubos de PVC com grãos de arroz



Fonte: Acervo da autora (2021)

Utilize a rampa de madeira sobre uma mesa, colocando no transferidor de marcação acoplado na rampa de madeira um ângulo de inclinação (φ) inicial de 10° e aperte o parafuso em forma de borboleta. Solte o primeiro tubo de pvc e na sequência os demais. Observe e anote na tabela 4 todas as informações.

Figura 9 - Rampa de madeira com início do rolamento do tubo de PVC



Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 10 - Rampa de madeira com o fim do rolamento do tubo de PVC



Fonte: Acervo da autora (2021)

Faça o experimento para vários ângulos de inclinação, de grau em grau, observando o tubo que vai ficar parado. (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**)

Com auxílio do goniômetro, faça a leitura do ângulo de equilíbrio (θ) do tubo de PVC com grãos de arroz, que ficou parado e anote na tabela 5 (Figura 43).

Para os grãos de feijão, repita o mesmo procedimento anotando nas Tabela 5 e Tabela 6.

Figura 11 - Goniômetro



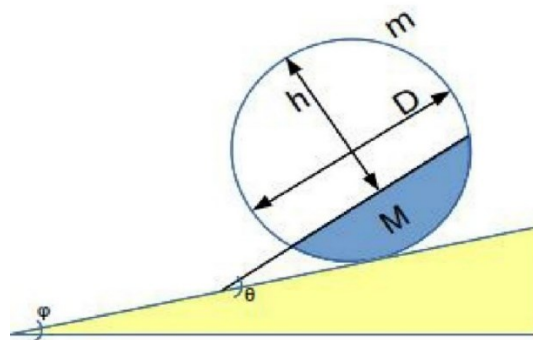
Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 12 - Medição com o goniômetro do ângulo de equilíbrio do tubo de PVC em equilíbrio



Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 13 - Medidas do tubo de PVC em equilíbrio



Fonte: Acervo da autora (2021)

Tabela 3 - Informações referentes a altura da massa de grãos e massa dos tubos de PVC e observações do experimento com grãos de arroz

Tubos de pvc	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Massa dos tubos de pvc com grãos (g)	Observações do movimento dos tubos
1º tubo (vazio)	4	24	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
2º tubo (cheio)	0	100	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
3º tubo (2/3 da massa)	2,5	57	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
4º tubo (1/3 da massa)	2,9	28	o tubo de PVC ficou em equilíbrio no plano inclinado

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 4 - Informações referentes ao experimento de rolamento do tubo de PVC com grãos de arroz em equilíbrio.

Ângulo de inclinação (φ)	Ângulo de equilíbrio (θ)	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Diâmetro do tubo de PVC (D) (cm)	Massa do tubo de PVC vazio (m) (g)	Massa de grãos (M) (g)
15	30	2,9	4	24	28

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 5 - Informações referentes a altura da massa de grãos e massa dos tubos de PVC e observações do experimento com grãos de feijão

Tubos de pvc	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Massa dos tubos de pvc com grãos (g)	Observações do movimento dos tubos
1º tubo (vazio)	0	24	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
2º tubo (cheio)	4	97	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
3º tubo ($\frac{2}{3}$ da massa)	2,1	48	o tubo de PVC rolou no plano inclinado
4º tubo ($\frac{1}{3}$ da massa)	3	24	o tubo de PVC ficou em equilíbrio no plano inclinado

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 6 - Informações referentes a demonstração de rolamento dos tubos de PVC com grãos de feijão.

Ângulo de inclinação (φ)	Ângulo de equilíbrio (θ)	Altura (h) da massa de grãos (cm)	Diâmetro do tubo de PVC (D) (cm)	Massa do tubo de PVC vazio (m) (g)	Massa de grãos (M) (g)
11	22	3	4	24	24

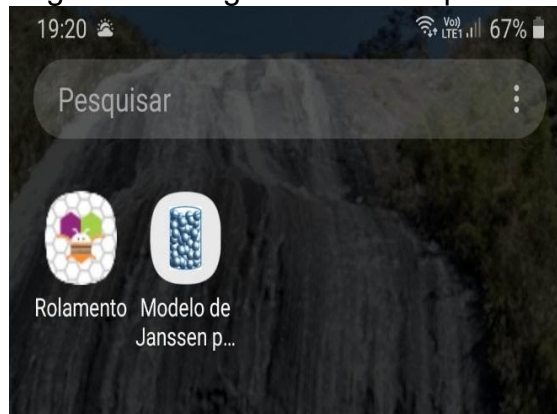
Fonte: elaborada pela autora (2021)

Em seguida o aluno utilizará o seu *smartphone* e a partir do link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1DO-vOMnc1dS5iGrMQGn63XzJ8OacQeld?usp=sharing>

irá baixar o *software* intitulado Rolamento.(Figura 14)

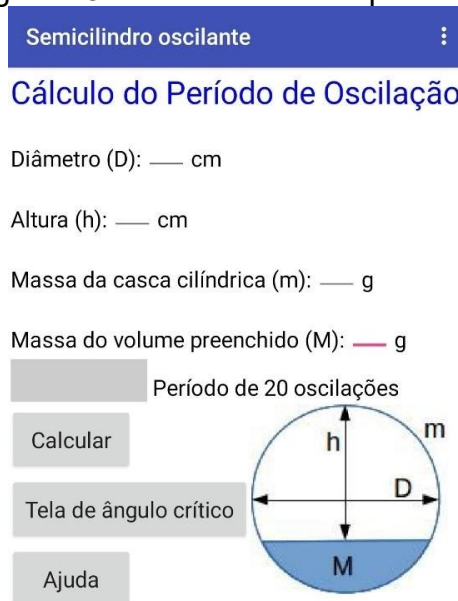
Figura 14 - Página inicial do aplicativo



Fonte: Acervo da autora (2021)

Com o aplicativo pronto para uso, o aluno irá visualizar o ícone Rolamento e irá clicar em cima e aparecerá a tela inicial do experimento. (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** Figura 15).

Figura 15 - Tela inicial do experimento



Fonte: Acervo da autora (2021)

Clique no ícone Tela de ângulo crítico e insira os dados coletados na tabela C. Após ter inserido os dados, clique em Calcular.

Figura 16 - Tela do cálculo do ângulo de equilíbrio do arroz

Semicilindro oscilante

Cálculo do ângulo de equilíbrio

Inclinação do plano: φ 15 graus

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 2.9 cm

Massa da casca cilíndrica (m) 24 g

Massa do volume preenchido (M): 28 g

21.35 graus Ângulo crítico φ_c

30.30 graus Ângulos de equilíbrio θ

**119.70
graus**

Calcular Tela de período Ajuda

Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 17 - Resultado calculado pelo aplicativo para o experimento do ângulo de equilíbrio do tubo de PVC com grãos de feijão

Semicilindro oscilante

Cálculo do ângulo de equilíbrio

Inclinação do plano: φ 11 graus

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 3 cm

Massa da casca cilíndrica (m) 24 g

Massa do volume preenchido (M): 24 g

20.64 graus Ângulo crítico φ_c

21.77 graus Ângulos de equilíbrio θ

**136.23
graus**

Calcular Tela de período Ajuda

Fonte: Acervo da autora (2021)

ATIVIDADE 2

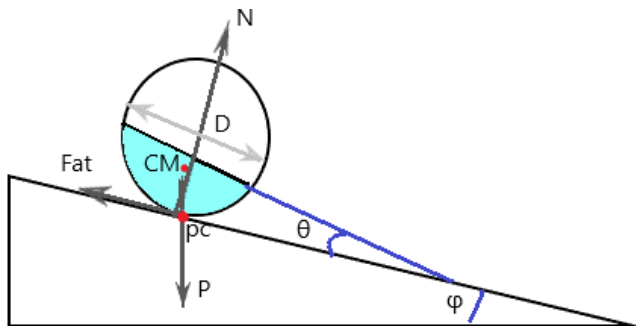
Usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula responda:

1 - Com relação à demonstração rolando grãos, qual dos tubos ficou parado em equilíbrio no plano inclinado?

Resposta: O tubo 4 com $\frac{1}{3}$ de massa de grãos de arroz e o tubo com $\frac{1}{3}$ de massa grãos de feijão.

2 - Faça um esquema das forças atuantes no tubo que ficou em equilíbrio no plano inclinado.

Resposta:



Legenda da figura:

D = diâmetro do tubo de PVC

N = força normal

P = Mg peso do tubo de PVC

pc = Ponto de contato com o plano inclinado

Fat = Força de atrito

CM = Centro de massa

θ = ângulo de equilíbrio do tubo de PVC

φ = ângulo de inclinação do plano com a horizontal

3 - A partir dos dados obtidos no experimento, utilize o software e calcule:

a) O ângulo de inclinação crítica (φ_c) para os tubos com grãos de arroz e feijão com o plano inclinado.

Resposta: O ângulo de inclinação crítico (φ_c) para os grãos de arroz tem o valor de $21,35^\circ$. O ângulo de inclinação crítico (φ_c) para os grãos de feijão tem o valor de $20,64^\circ$

b) O ângulo de equilíbrio (θ) dos tubos de pvc que ficam parados para os grãos de arroz e feijão no plano inclinado.

Resposta: O ângulo de equilíbrio (θ) do tubo de pvc com grãos de arroz tem o valor de $30,30^\circ$. O ângulo de equilíbrio (θ) do tubo de pvc com grãos de feijão tem o valor de $21,77^\circ$

4 - Para que ângulo o tubo de arroz e feijão começam a rolar?

Resposta: Para os tubos com grãos de arroz, ângulos menores que o ângulo crítico calculado, com o valor de $21,35^\circ$. Para os tubos com grãos de feijão, ângulos menores que o ângulo crítico calculado, com o valor de $21,77^\circ$.

5 - Compare os resultados obtidos no experimento e no aplicativo.

Resposta: Os resultados ficaram próximos entre os ângulos medidos no experimento e calculado pelo aplicativo. Isso se deve aos erros de medição que podem ser creditados aos instrumentos utilizados não aferidos, à inabilidade dos alunos, as simplificações matemáticas devido à forma como os algarismos utilizados para representar quantidades dentro de seus sistemas numéricos são representados e tratados, as propriedades físicas dos grãos como bolsas de ar e acomodação dos grãos.

6 - O que você entende por sistemas granulares?

Resposta: Os sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA.**

1.3. ROTEIRO DE AULA

PROFESSORA: Maria Saionara Accordi dos Santos Scussel

Tema: MECÂNICA

Disciplina: Física

Série, Nível: 3º ano do Ensino Médio

Números de aulas: 4 horas/aula

Introdução

As diversas estratégias e atividades realizadas pelos professores têm despertado a aprendizagem significativa, principalmente em disciplinas da área de Ciências da Natureza, consideradas de difícil compreensão por muitos alunos. Nesse sentido, propõe-se explorar o conteúdo de Mecânica vinculado ao uso da experimentação para revisão sobre os conceitos de oscilações mecânicas associados a sistemas granulares.

Os sistemas granulares são tipicamente particulados, quimicamente inertes ou quase inertes, com um grande número de partículas com dimensões superiores a um micrômetro. Eles aparecem em inúmeras aplicações industriais como, por exemplo, as areias e agregados na construção civil, os adubos e fertilizantes, os produtos farmacêuticos, materiais em metalurgia, bem como na agroindústria nos grãos cereais e outros produtos alimentares, numerosos.

O estudo de oscilações mecânicas é uma parte importante da mecânica devido à frequência com que este tipo de fato ocorre. Os fenômenos oscilatórios estão presentes nas mais diversas formas na natureza com aplicações em várias áreas do conhecimento, tais como, engenharia, química, física e biologia.

O movimento descrito por um pêndulo de um relógio, o movimento de um pistão em uma engrenagem de um automóvel, movimentos vibratórios de uma colheitadeira de grãos, rotação e vibrações moleculares, são exemplos de fenômenos de natureza oscilatória. O movimento oscilatório pode ser definido como um movimento periódico

realizado por uma partícula quando a partícula é deslocada desta posição de equilíbrio através de uma força externa.

Figura 18 - Relógio de pêndulo e cilindros com grãos



Fonte: <http://consertandofacil.blogspot.com> Acesso em 28/02/21

Objetivo geral

Possibilitar ao aluno compreender as propriedades, os conceitos e as definições presentes na Mecânica com enfoque em sistemas granulares.

Objetivos específicos

O aluno deverá ser capaz de:

- Rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton, enfocando as oscilações, período e frequência;
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de software.
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.

Conhecimentos:

- I. Leis de Newton
- II. Oscilações
- III. Período e frequência

Pedagógico:

- I. Aula expositiva

- II. Execução do experimento
- III. Coleta de dados
- IV. Utilização do aplicativo de *software*

1ª e 2ª aulas

Nessa aula será realizada uma revisão, com auxílio de slides de Powerpoint, sobre os conceitos de Oscilações mecânicas, período e frequência, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

3ª e 4ª aulas

Como abordagem inicial, será realizada a demonstração de oscilação de semicilindro em superfície horizontal plana.

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência utilizar o aplicativo de *software*.

1.4 ROTEIRO EXPERIMENTAL

1- SEMICILINDRO OSCILANTE

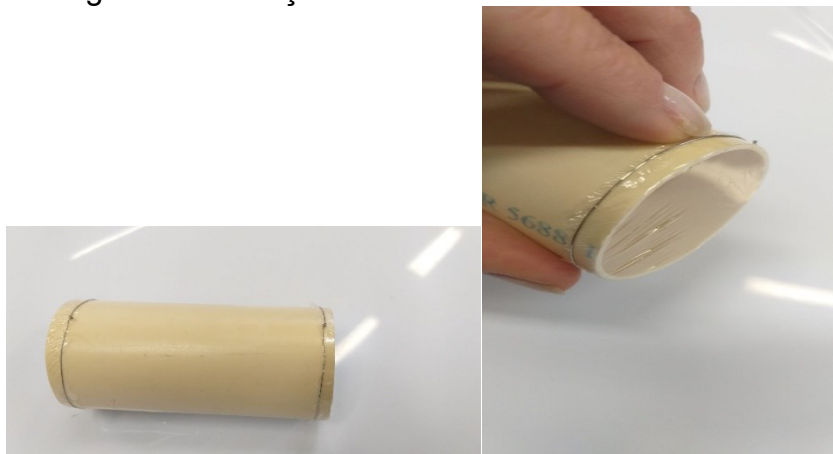
Materiais utilizados

- 04 pedaços de tubo de PVC de 4 cm de diâmetro x 6 cm de comprimento.
- Papel filme
- 20g de arroz e feijão (aproximadamente)
- 02 pedaços de fio de cobre bem fino (obtido de cabo multifilar)
- 01 Balança digital
- 01 Tesoura
- 01 Espátula
- Cronômetro (*smartphone*)
- 01 Placa de vidro
- 01 Régua
- 01 nível de bolha ou *smartphone* com acelerômetro
- *Smartphone*

Procedimento

Utilize um nível de bolha para verificar se a superfície a ser utilizada para o experimento se encontra na horizontal. Em seguida, com o auxílio de uma balança digital, pese um tubo de PVC vazio e anote o valor da massa da casca cilíndrica (m) na tabela C. Coloque papel filme em uma das pontas de outro tubo de PVC e fixe com um pedaço de fio de cobre, encha o tubo com grãos de arroz e feche o outro lado do tubo da mesma forma (Figura 19).

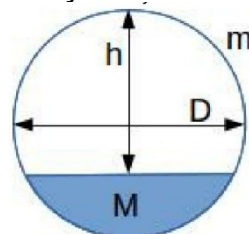
Figura 19 - Fixação do fio de cobre no tubo de PVC



Fonte: Acervo da autora (2021)

Faça o mesmo procedimento com o terceiro tubo que contém 20 g de arroz (M) pesados na balança digital e com o quarto tubo com 30g de arroz. Meça com a régua a medida da altura (h) representada na Figura 20. Disponha uma placa de vidro sobre uma superfície horizontal e plana.

Figura 20 - Representação das medidas do tubo de PVC

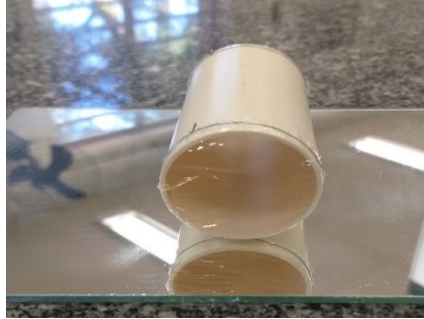


Fonte: elaborado pela autora (2021)

Coloque o tubo de PVC vazio, em equilíbrio, no centro da placa de vidro (Figura 21). Desloque levemente o tubo de pvc e com auxílio do cronômetro do *smartfone*, cronometre o tempo para movimento de 20 oscilações. Repita essa operação para os

outros três tubos de pvc com grãos de arroz e anote na Tabela 7. Para a o procedimento com tubo de PVC com grãos de feijão anote na Tabela 9.

Figura 21 - Oscilação do tubo de PVC vazio



Fonte: Acervo da autora (2021)

Tabela 7 - Informações referentes ao experimento de oscilação do tubo de PVC com grãos de arroz

Tubos de PVC	Diâmetro do tubo de pvc (cm)	Altura da massa de grãos arroz (cm)	Massa da casca cilíndrica (g)	Massa de grãos(g)	Tempo das oscilações (s)	Frequência (s)
1º tubo (vazio)	4	0	24	0	não oscila	
2º tubo (cheio)	4	0	24	132	não oscila	
3º tubo	4	2	24	20	12	1,66
4º tubo	4	1,7	24	30	14	1,42

Fonte: elaborada pela autora (2021)

Tabela 8 - Informações referentes ao experimento de oscilação do tubo de PVC com grãos de feijão

Tubos de PVC	Diâmetro do tubo de pvc (cm)	Altura da massa de grãos feijão (cm)	Massa da casca cilíndrica (g)	Massa de grãos(g)	Tempo das oscilações (s)	Frequência (s)
1º tubo (vazio)	4	0	24	0	não oscila	
2º tubo (cheio)	4	0	24	83	não oscila	
3º tubo	4	2,8	24	20	8	2,50
4º tubo	4	2,4	24	30	11	1,81

Fonte: elaborado pela autora (2021)

Em seguida o aluno utilizará o seu *smartphone* e irá utilizar o *software* intitulado Rolamento (Figura 14). Com o aplicativo pronto para uso, o aluno irá inserir os dados anotados na tabela 5, para os grãos de arroz e em seguida os dados da Tabela 6, para os grãos de feijão. Após ter inserido os dados, clique em Calcular.

Figura 22 - Resultados para o tubo de PVC com 20g de grãos de arroz

Semicilindro oscilante

Cálculo do Período de Oscilação

Diâmetro (D): 4 cm

Altura (h): 2.1 cm

Massa da casca cilíndrica (m): 24 g

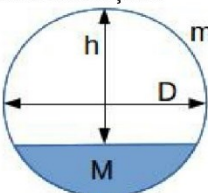
Massa do volume preenchido (M): 20 g

13.11 s Período de 20 oscilações

Calcular

Tela de ângulo crítico

Ajuda



Fonte: Acervo da autora (2021)

Figura 23 - Resultados para o tubo de PVC com 20g de grãos de feijão

Semicilindro oscilante

Cálculo do Período de Oscilação

Diâmetro (D): $\frac{4}{\text{---}}$ cm

Altura (h): $\frac{2.8}{\text{---}}$ cm

Massa da casca cilíndrica (m): $\frac{24}{\text{---}}$ g

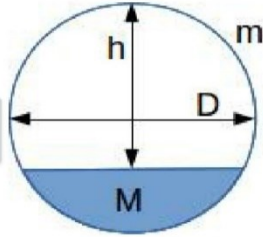
Massa do volume preenchido (M): $\frac{20}{\text{---}}$ g

10.31 s Período de 20 oscilações

Calcular

Tela de ângulo crítico

Ajuda



Fonte: Acervo da autora (2021)

ATIVIDADE 3

Usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula responda:

1 - Podemos considerar o movimento dos tubos de PVC como um movimento harmônico simples?

Resposta: O movimento harmônico simples é um tipo particular de movimento periódico oscilatório em que a partícula se move, para frente e para trás num dado referencial, sobre uma reta, de modo que a intensidade da força que tende a levá-la a um ponto referencial cresce na mesma proporção em que aumenta o seu afastamento deste ponto e o sentido da força é oposto ao deslocamento do tubo de PVC.

2 - Por que não há oscilação no tubo de pvc cheio e vazio?

Resposta: O torque da força-peso em relação ao centro de massa é nulo, bem como o da força normal à superfície, por isso não oscila pois não tem torque restaurador. Ele é sempre nulo para qualquer posição do cilindro.

3 - Qual o valor do período e da frequência calculados para o tubo 3?

Resposta: Utilizando a relação $f = n / \Delta t$ para os tubos de arroz teremos

$$f = 20/12 \quad T = 1/f$$

$$f = 1,66 \text{ s} \quad T = 0,60 \text{ s}$$

Utilizando a relação $f = n / \Delta t$ para os tubos de feijão teremos

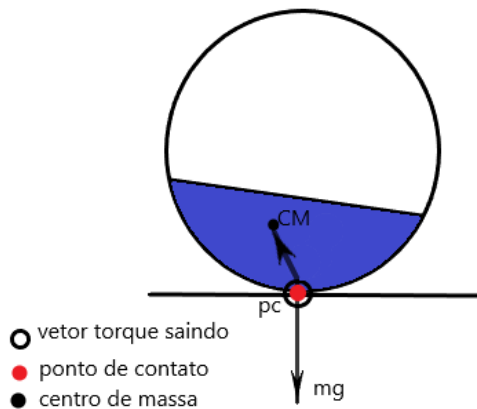
$$f = 20/8 \quad T = 1/f$$

$$f = 2,5 \text{ s} \quad T = 0,40 \text{ s}$$

4 - Quais as possíveis causas da diferença entre os valores calculados e obtidos experimentalmente?

Resposta: A fixação incorreta do fio de cobre, avalanche que ocorre com os grãos dentro do tubo de PVC a superfície de contato com o tubo de PVC.

5 - Faça um diagrama de forças e torques para demonstrar porque o cilindro oscila.



2 PLANO DE ENSINO DA PRIMEIRA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

2.1 Primeiro encontro

Duração: 1ª e 2ª aula (aulas com 45 minutos)

Objetivos

O aluno deverá ser capaz de:

- Rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton.
- Identificar os tipos de forças que agem nos sistemas granulares em um rolamento.

Metodologia

Nessa aula será realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint (Apêndice A), sobre os conceitos das Leis de Newton, Plano Inclinado, Rolamento, Torque e Centro de Massa, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

2.2 Segundo encontro

Duração: 3ª e 4ª aulas (aulas com 45 minutos)

Objetivos

- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de *software*;
- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.

Metodologia

Nessa aula, a turma será dividida em cinco grupos com dois alunos e receberão o material referente ao roteiro de aula, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, conteúdo a serem abordados, roteiros experimentais e atividade 1 referente às aulas apresentadas.

2.3 Terceiro encontro

Duração: 5ª e 6ª aulas (aulas com 45 minutos)

Objetivos

- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de *software*

Metodologia

Complementando a 3ª e 4ª aulas, será realizado o seguinte experimento: Rolamento de tubos de PVC contendo grãos de arroz e feijão com massas diferentes sob um plano inclinado.

Levantar a seguinte questão: "Qual dos tubos ficará parado em equilíbrio no plano inclinado? "

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência, utilizar o aplicativo de *software*. Após a conclusão desta etapa, os alunos receberam a atividade 2 que devem realizar.

3 PLANO DE ENSINO DA SEGUNDA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

3.1 Primeiro encontro

Duração: 1ª e 2ª aulas (aulas com 45 minutos)

Objetivo

- O aluno deverá ser capaz de rever os conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton, enfocando as oscilações, período e frequência;

Metodologia

Nessa aula, será realizada uma revisão, com auxílio de slides de PowerPoint (Apêndice B), sobre os conceitos de Oscilações mecânicas, período e frequência, características básicas e a sua relação com os sistemas granulares.

3.2 Segundo encontro

Duração: 3ª e 4ª aulas (aulas com 45 minutos)

Objetivos

- Ressaltar a geometria das forças que atuam num movimento de rolamento;
- Observar os diferentes conhecimentos articulados no processo de ensino e aprendizagem dos roteiros experimentais.
- Utilizar ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de *software*.

Metodologia

Nessa aula, a turma será dividida em cinco grupos com dois alunos e receberão o material referente ao roteiro de aula, contendo um texto sobre a justificativa da aula, objetivos geral e específicos, conteúdo a serem abordados, roteiros experimentais e atividade 3 referente às aulas apresentadas. Na sequência, será realizado o experimento de oscilação de semicilindro em superfície horizontal plana.

Com a participação dos alunos, anotar as respostas em tabelas disponíveis nos roteiros experimentais; na sequência, utilizar o aplicativo de *software*.

Após a conclusão desta etapa, os estudantes receberão a atividade 3 que deverão realizar usando os conhecimentos adquiridos em sala de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto educacional tem como objetivo a revisão dos conceitos mecânicos sobre as Leis de Newton, oscilações, período e frequência, utilizando ferramentas analíticas que combinam demonstrações de experimento com avançadas simulações e cálculos matemáticos feitos em aplicativos de software. Logo, a sequência didática trata da abordagem de sistemas granulares buscando a revisão de alguns conceitos físicos e científicos relacionados com o tema.

Espera-se que este material se torne uma ferramenta e inspiração para os colegas professores possam ser difundidas em outros momentos, por outros docentes, em outras instituições. Facilitando as práticas educacionais no ensino de Física, especialmente no uso do aplicativo Rolamento, disponível gratuitamente na internet. Além de se tratar de um material didático de baixo custo e de fácil execução, com a proposta de experimentos que podem ser usados materiais acessíveis.

Neste sentido, consideramos interessante o uso de práticas experimentais que envolvam todos os estudantes e se relacionem ainda mais com a realidade deles, tornando o conhecimento físico aplicado à realidade do aluno um modo diferenciado, instigante e interativo.

Verificou-se que, com a interpretação dos resultados, o uso de diversificadas estratégias de ensino associadas ao uso de novas tecnologias contribuiu para o aprendizado e motivação dos alunos.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, L. F; OLIVEIRA, T. P; PORTO, A. G; SILVIA, F. S. A capacidade estática de armazenamento de grãos no Brasil. Artigo do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, RJ, p.04-05, 2008.

CASTRO, E. da M. de; VIEIRA, N. R. de A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. da. Qualidade de grãos em arroz. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/transferencia/informacoestecnicas/publicacoesonline/circularartecnica_34.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2016.

(Halliday 2009) D. Halliday et al., Fundamentos da Física. v. 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

J. L'opez¹, A. Vercik e E.J.X. Meios granulares e experimentos simples para a sala de aula. Costa Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1308 (2008). Disponível em: <www.sbfisica.org.br>

(Nussenzveig 2002) H. M. Nussenzveig, Física Básica - Mecânica. vol 1. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

PEREIRA J. A.; PEREIRA J. C. A.; SILVA R. C. DA; CARVALHO R. DO O.; FEITOSA R. M. Determinação das propriedades físicas de grãos de feijão caupi. V. 1, 2017, ISSN 2526-186X.

Tavares, Abraão Marques T231s Simulação de materiais granulares aplicada a transportadores de correia. / Abraão Marques Tavares. – – Belo Horizonte, 2018.

(Tipler 2002) P. A Tipler e G . Mosca, Física para cientistas e engenheiros. vol. 1. 6. ed. São Paulo: LCT. 2002.

UNESCO BRASIL. Ensino de Ciências: o futuro em risco. 2005. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001399/139948por.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2021.

APÊNDICE A

SLIDES DE MECÂNICA

ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO.

TÓPICO: REVISÃO DA MECÂNICA

Profª Mª Saionara A. Santos Scussel

LEIS DE NEWTON

• PRIMEIRA LEI NEWTON

A Primeira Lei de Newton afirma que: "um objeto permanecerá em repouso ou em movimento uniforme em linha reta, a menos que tenha seu estado alterado pela ação de uma força externa". (HALLIDAY)

SEGUNDA LEI NEWTON

A resultante (F_r) das forças que agem sobre um corpo é igual ao produto de sua massa (m) pela aceleração (a) adquirida.

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

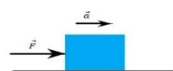
(segunda lei de Newton, forma vetorial)

$$\Sigma F_x = ma_x \quad \Sigma F_y = ma_y \quad \Sigma F_z = ma_z$$

(segunda lei de Newton, forma de componentes)

OBS:

- A **aceleração** adquirida pelo corpo sempre possui a mesma DIREÇÃO e SENTIDO da força resultante.
- A unidade da força no S.I. é **N** (Newton)



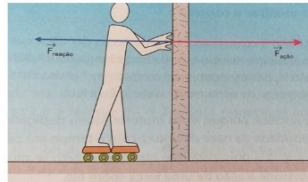
TERCEIRA LEI NEWTON

A Terceira Lei de Newton, também chamada de Ação e Reação, relaciona as forças de interação entre dois corpos. Quando um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo corpo exerce uma força sobre o primeiro. Em outras palavras, "a toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade e sentido oposto" (HALLIDAY).

É importante salientar que a magnitude das forças é idêntica, mas as forças estão aplicadas em corpos diferentes. Sejam dois corpos, A e B e utilizando a força de A sobre B como sendo \vec{F}_{AB} e a força de B sobre A como sendo \vec{F}_{BA} .

De acordo com a terceira lei,

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA} \quad \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{BA} = 0$$

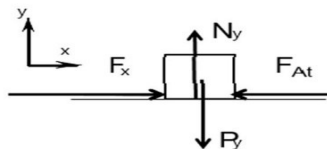


Forças de contato

As forças de contato são aquelas em que ocorre um contato direto entre as superfícies dos corpos que estão interagindo, ou entre o elemento que aplica força e o corpo que a recebe, quando o contato é cessado a força deixa de agir [Tipler 2002].

Força Normal, também chamada de "força de apoio", é a força que as superfícies exercem para impedir que objetos as atravessem. [Tipler 2002] Sua direção é sempre perpendicular à superfície de apoio.

Força de atrito é aquela que resulta do atrito entre os corpos, isto é, que se opõe ao movimento de uma superfície sobre outra (de sentido contrário a componente da força que produz o deslocamento/movimento).



Percebemos que ao iniciar o movimento, a força de atrito é proporcional à força Normal, conforme a Equação:

$$\vec{F}_{ate} = \mu e N$$

Nesse sentido, vale observar que o coeficiente (μe) do atrito estático será sempre maior que o coeficiente (μd) do atrito dinâmico ($\mu e > \mu d$).

$$\vec{F}_{atd} = \mu d N$$

Quando a força aplicada em um corpo em repouso é igual ou menor que o limite da força de atrito estático, o corpo permanece em repouso.

$$\vec{F} \leq \mu e N$$

Força peso

A força peso do corpo, nesse local, é igual ao produto da massa do corpo pela aceleração de gravidade característica do local.

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

- Onde \vec{g} aceleração da gravidade. Usaremos o valor aproximado para g de $9,8 \text{ m/s}^2$.

PLANO INCLINADO

O plano inclinado é tratado em todos os livros de mecânica de física básica, nos quais aparece como um dos primeiros exemplos das aplicações das leis de Newton. Em geral é encontrado em rampas, esteiras rolantes, morros e ladeiras são superfícies comuns no cotidiano, pode ser caracterizado pelo seu ângulo θ de inclinação com a horizontal.

Num plano inclinado, ângulo crítico é o ângulo máximo no qual a rampa ou declive suportará o objeto sem que ele deslize para baixo e as forças que atuam em um objeto podem ser representadas conforme o diagrama de forças.

Assim, ao analisarmos o diagrama ao lado obtém-se:

$$P_x = P \cdot \sin \theta$$

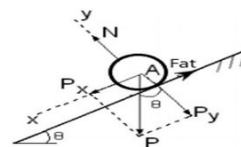
$$P_y = P \cdot \cos \theta$$

$$F_{at} = \mu N$$

Na direção y , de acordo com a segunda lei de Newton, tem-se:

$$F_y = m \cdot a_y$$

Temos que $a_y = 0$, logo a força resultante na direção y é nula.



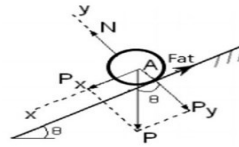
Analisando a força normal na direção y, obtêm:

$$N - P_y = 0 \quad (1)$$

Como $P_y = P \cdot \cos\theta$, ao substituírmos na equação(1) tem-se:

$$N - P \cdot \cos\theta = 0$$

$$N = P \cdot \cos\theta$$



Na direção x, de acordo com a segunda lei de Newton:

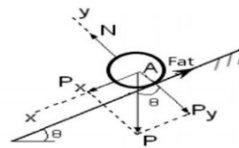
$$F_x = m \cdot a_x$$

Temos a componente P_x e a componente Fat , contrária ao movimento que se encontra o objeto.

$$P_x - Fat = m \cdot a_x$$

como $Fat = u \cdot N$, obtemos

$$P_x - u \cdot N = m \cdot a_x \quad (2)$$



e relacionando:

$$N = P \cdot \cos\theta \text{ e } P_x = P \cdot \sin\theta$$

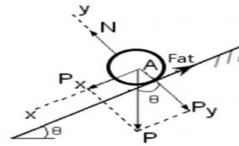
obtemos na substituição em (2)

$$P \cdot \sin\theta - u \cdot P \cdot \cos\theta = m \cdot a_x$$

substituindo $P = mg$ obtém-se:

$$mg \cdot \sin\theta - u \cdot mg \cdot \cos\theta = m \cdot a_x$$

a aceleração $a_x = g \cdot \sin\theta - u \cdot g \cdot \cos\theta$



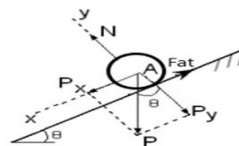
considerando o objeto em repouso $a_x=0$, temos:

$$0 = g \cdot \sin\theta - u \cdot g \cdot \cos\theta$$

$$u = \frac{g \cdot \sin\theta}{g \cdot \cos\theta}$$

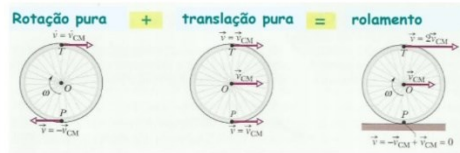
$$u = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$$

$$u = \operatorname{tg}\theta$$



Rolamento

Rolamento é a mistura do movimento de translação do centro de massa mais o movimento de rotação. Aplicando a Segunda Lei de Newton ao cilindro (rotação e translação), no rolamento sem deslizamento onde cada ponto toca apenas uma vez no chão e a translação acompanha a rotação.



Observe que o ponto P sofre um deslocamento angular $\Delta\theta$ num intervalo de tempo Δt , ocasionando assim, uma velocidade angular média ω , dada pela equação:

$$\omega = \Delta\theta / \Delta t \quad (2)$$

Esta equação representa quanto o ângulo muda por unidade de tempo sendo medido em radianos e o tempo em segundos, então ω será tantos radianos por segundo.

$$v = \omega R \quad (4)$$

Para que não haja deslizamento a condição será:

$$\Delta\theta / \Delta t = \omega R$$

Velocidade de translação = Velocidade de rotação

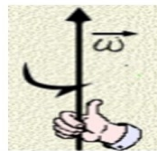
Torque

O torque é um vetor perpendicular ao plano formado pelos vetores força e raio de rotação. Pode-se indicar a equação do torque (τ) enquanto agente causador de alterações no movimento de rotação por:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

em que (I) corresponde ao momento de inércia do objeto em relação ao eixo de rotação e (α) é a aceleração angular produzida pela ação do torque.

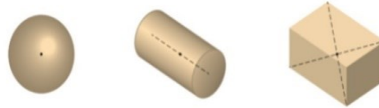
Uma maneira simples de se ratificar essa direção é através da regra da mão direita, onde o polegar representa o vetor da velocidade angular.



Representação da regra da mão direita.

Centro de Massa

A definição de centro de massa é o ponto hipotético onde toda a massa de um sistema físico está concentrada e que se move como se todas as forças externas estivessem sendo aplicadas nesse ponto. O centro de massa de um sistema de partículas de massa m se move como se houvesse nele uma partícula de massa m , submetida a todas as forças externas que atuam no sistema.

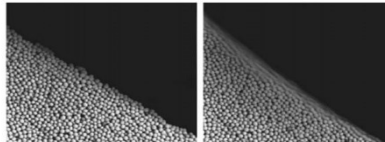


ÂNGULO DE REPOUSO

Quando uma pilha de grãos é formada, ela se estabiliza de forma natural em um certo ângulo θ , chamado ângulo de repouso ou equilíbrio dos grãos. Todas as pilhas formadas por um mesmo material se estabilizarão neste mesmo ângulo.



A medida que novos grãos são depositados sobre a pilha, o conjunto de grãos permanece estável, tal qual um sólido, até que o ângulo da pilha atinja um limite θ_{max} . Quando este limite é atingido, ocorre uma avalanche e os grãos mais superficiais fluem para a base da pilha, enquanto grãos mais profundos permanecem parados e não participam do movimento.



Inclinação do grãos de mostarda: (a) alguns graus abaixo do ângulo de repouso e (b) alguns graus acima.
Fonte: Jaeger et al. (1996)

O método de determinação do ângulo de repouso consiste na utilização de equações trigonométricas expressas abaixo:

$$\theta = \arctg h / r$$

No entanto foi calculada o arco tangente para obter o ângulo de repouso do arroz a partir de medições diretas no aparelho, realizadas com uma régua graduada em milímetros. Esses dados de altura e base dos amontoados utilizado na equação.



APÊNDICE B

SLIDES DE OSCILAÇÕES

ABORDAGEM DE SISTEMAS GRANULARES COM ÊNFASE EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NAS AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO.

TÓPICO: REVISÃO DE OSCILAÇÕES

Profª Mª Saionara A. Santos Scussel

MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

Nos estudos de Física, vemos que o Movimento Harmônico Simples, também representado pela sigla (MHS), consiste em um movimento periódico e oscilatório ou vibratório quando o móvel se desloca periodicamente sobre uma mesma trajetória, indo e vindo para um lado e para outro em relação a uma posição média de equilíbrio. Essa posição média é o ponto sobre a trajetória, para o qual a resultante das forças que agem sobre o móvel é nula.

Em um movimento periódico, o período (T) é o tempo decorrido entre duas passagens consecutivas do móvel por um mesmo ponto da trajetória. A frequência é o número de oscilações realizadas por um sistema em que são concluídas a cada segundo. As fórmulas usadas para calcular essas grandezas são as seguintes:

$$f = n / \Delta t \quad f = 1 / T \quad T = 1 / f$$

onde f = frequência (Hz)

T = período (s)

n = número de oscilações

Δt = intervalo de tempo (s).

As unidades de medida da frequência e do período são, respectivamente, o hertz (Hz) e o segundo (s).

A mais importante das grandezas angulares relacionadas ao MHS é a frequência angular, também conhecida como velocidade angular ou pulsação.

$$\omega = 2\pi / T \quad \text{ou} \quad \omega = 2\pi / f$$

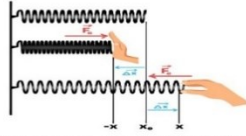
onde ω é a frequência angular (rad/s).

A frequência angular tem a dimensão de rad/s. Os radianos são uma das diferentes formas de se definir os ângulos sendo que uma volta completa ao longo do círculo trigonométrico corresponde a 360° ou 2 π radianos.

A força restauradora que tende a fazer a partícula voltar a posição de equilíbrio no MHS pode ser obtida por:

$$F(x) = -kx$$

onde, k é a constante de mola (obedecendo a Lei de Hooke) e x o deslocamento.



É possível perceber a presença de um **sinal negativo**, que indica que a força elástica apresenta sempre **sentido oposto à deformação da mola**. Se a mola estiver sendo esticada, por exemplo, a deformação x será positiva, portanto a força elástica F será negativa.

O pêndulo simples é um exemplo, pois o mesmo se desloca de uma posição até a mesma posição inversa passando pelo ponto de origem.

O pêndulo simples ideal realiza suas oscilações no vácuo com amplitude não superior a 15° , se amplitude $< 15^\circ$ o valor para $\text{sen} \theta \cong \theta$ (θ em radianos).

Se levamos o pêndulo até uma posição fora do equilíbrio, e o soltamos, ele irá oscilar por ação de uma força restauradora, no caso a componente da força-peso:

$$p = mg \text{sen} \theta$$

