



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL
SIMULADOR MECÂNICO DE
MOVIMENTO VIBRACIONAL

EDMAR LUIZ DA SILVA

Barra do Garças-MT

2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física**

**MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL
SIMULADOR MECÂNICO DE
MOVIMENTO VIBRACIONAL**

EDMAR LUIZ DA SILVA

Produto educacional adaptado da dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, intitulada *Estudo dos Gases, do Ponto de Vista Cinético, com o Auxílio de um Simulador Mecânico*, sob orientação do Prof. Dr. Adellane Araujo Sousa, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Mato Grosso.

Barra do Garças-MT 2018

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO AO PROFESSOR.....	5
2. OBJETIVOS.....	5
3. VALIDADE DAS SIMULAÇÕES.....	6
4. MATERIAIS E MONTAGEM DO PRODUTO.....	8
5. SIMULAÇÕES.....	12
5.1. MOVIMENTO BROWNIANO.....	12
5.2. LEI DE BOYLE-MARIOTTE.....	14
5.3. LEI DE GAY-LUSSAC.....	16
5.4. DIFUSÃO.....	18
5.5. PRESSÃO VERSUS NÚMERO DE MOLES.....	20
5.6. DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES DE MAXWELL.....	24
5.7. EVAPORAÇÃO.....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1. APRESENTAÇÃO AO PROFESSOR

Apresentamos à comunidade escolar do ensino médio, esse produto educacional intitulado Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (SMMV). O produto também pode ser adaptado para ser usado com os estudantes do último ano do ensino fundamental. Esse produto permite simular o aquecimento ou resfriamento de um gás dentro de um recipiente aberto através do aumento ou diminuição do volume de uma caixa de som que transmite suas vibrações às bolinhas de tênis de mesa que por sua vez representam as partículas de um gás (moléculas ou átomos). O produto permite realizar simulações mecânicas de alguns fenômenos relacionados ao estudo dos gases do ponto de vista da Teoria Cinética dos Gases. Assim, fenômenos estudados nos gases como as transformações isotérmica (Lei de Boyle-Mariotte) e isovolumétrica (Lei de Gay-Lussac) também podem ser trabalhadas do ponto de vista microscópico ou cinético. Também é possível simular fenômenos e explorar conceitos que envolvem o movimento browniano, livre caminho médio, interpretação cinética da temperatura e da pressão. O simulador também permite explorar fenômenos como a ebulição e evaporação do ponto de vista cinético com base na distribuição de Maxwell de velocidades das partículas. A relação da pressão com o número de moles e difusão gasosa também é explorada no produto. As simulações têm a função de ser um material de apoio, auxiliando os estudantes na compreensão de atividades que envolve esses conteúdos. No total sugerimos 07 atividades experimentais.

2. OBJETIVOS

Simular, do ponto de vista da teoria cinética dos gases:

- 1) Movimento browniano e livre caminho médio
- 2) Lei de Boyle-Mariotte
- 3) Lei de Gay-Lussac
- 4) Difusão
- 5) Pressão x número de moles
- 6) Distribuição de velocidade de Maxwell
- 7) Evaporação

3. VALIDADE DAS SIMULAÇÕES

O uso da simulação mecânica não é uma reprodução fiel dos fenômenos e conceitos envolvendo os gases. Algumas características dos átomos e de seu movimento, como rigidez, volume pontual, não podem ser simuladas com o nosso modelo. Assim, listamos abaixo as características **do modelo da teoria cinética dos gases** ou teoria cinético-molecular e como nosso produto pode se encaixar nesse modelo:

1) **As moléculas estão se movendo em todas as direções.** Em nossa simulação isso é representado pelo movimento das bolinhas no recipiente de plástico.

2) **As moléculas se movem em linha reta entre as colisões.** Representado em nosso simulador pelo movimento em linha reta das bolinhas.

3) **As colisões são perfeitamente elásticas.** Essas colisões elásticas são representadas em nosso simulador pelas colisões entre as bolinhas de plástico de tênis de mesa e destas contra a parede do recipiente de plástico. Embora existam pequenas deformações das bolinhas nas colisões, acreditamos que isso é desprezível no simulador, pois as velocidades não são grandes.

4) **O diâmetro das moléculas é desprezível em comparação com a distância percorrida entre as colisões.** No nosso modelo, usamos bolinhas de tênis de mesa, portanto as dimensões não são desprezíveis em relação ao volume do recipiente. Mas acreditamos que isso possa ser contornado com o uso de bolinhas bem menores.

5) **Forças intermoleculares são desprezíveis, exceto durante as colisões.** Não existem forças entre as bolinhas de tênis de mesa, exceto nas colisões.

6) **O tempo gasto durante a colisão é muito menor que o tempo gasto entre as colisões.** Isso de fato pode ser observado a olho nu em nosso simulador.

7) **Todos os gases são constituídos por um enorme número de esferas perfeitas, rígidas e extremamente pequenas.** Em nosso simulador as bolinhas não são extremamente pequenas e nem esferas rígidas. No entanto isso pode ser contornado com a escolha de bolinhas bem menores. Acreditamos que possamos desprezar a condição de serem esferas rígidas pois o que queremos é uma visualização do fenômeno e não uma exatidão das condições propostas pelo modelo.

8) **O volume total ocupado pelas moléculas é desprezível se comparado ao volume do recipiente.** O volume ocupado pelas bolinhas não é desprezível em relação ao volume total do recipiente, mas é bem menor.

9) **Estão constantemente em movimento aleatório e colidindo entre si e com as paredes do recipiente.** De fato, as bolinhas usadas em nosso simulador possuem um

movimento aleatório após as colisões contra outras bolinhas e com as paredes do recipiente como pode ser visto na primeira atividade experimental proposta mais abaixo.

10) **Quando as moléculas gasosas colidem com a parede do recipiente ocorre a transferência de momento, diretamente relacionado com a pressão do gás.** Podemos realmente visualizar em nosso simulador a relação entre a pressão do gás e suas colisões contra a parede transferindo o momento linear. Isso pode ser melhor visto ao congelar as imagens do vídeo dos experimentos como na atividade experimental 2. Ao congelar a imagem podemos ver quantas bolinhas estão colidindo com a parede naquele momento.,

11) **A energia cinética dos gases das moléculas é diretamente proporcional a temperatura do gás, em kelvin.** Essa relação pode ser simulada em nosso produto pelo movimento das bolinhas causados pela energia transferida pelo amplificador através do alto-falante. Ao aumentarmos o volume do amplificador, uma energia maior é transferida às bolinhas aumentando a taxa de colisão entre elas e destas com as paredes.

4. MATERIAIS E MONTAGEM DO DISPOSITIVO

A seguir detalhamos os materiais utilizados e o procedimento de montagem do dispositivo a ser usado em nossa simulação mecânica através do Simulador de Movimento Mecânico Vibracional (SMMV):

Materiais Utilizados

As figuras 1 a 6 mostram fotografias dos materiais utilizados.

- 1) Um amplificador de som da marca voXstorm. Potência: 25 W – Tensão: Bivolt



Figura 1. Amplificador Voxstorm. Fonte: Do autor.

- 2) Uma caixa de som com um alto falante da marca “Bomber One” de 10 polegadas. Especificação: Potência 200W – Rms 4 Ohms.



Figura 2. Caixa de som. Fonte: Do autor.

3) Um cilindro plástico de 5 litros.



Figura 3. Cilindro plástico de 5 litros. Fonte: Do autor.

4) 30 Bolinhas de tênis de mesa.



Figura 4. Bolinhas de tênis de mesa. Fonte: Do autor.

5) 30 Bolinhas de isopor de diversas medidas.



Figura 5. Bolinhas de isopor de diversas medidas. Fonte: Do autor.

6) 01 Balão plástico de “festa” ou “papo de peru”.



Figura 6. Balão plástico. Fonte: Do autor.

Esses itens não precisam ser exatamente como os descritos acima. É possível variações na potência do amplificador e do alto-falante. Também é possível usar menos quantidades de bolinhas ou trabalhar apenas com as bolinhas de tênis de mesa. A seguir imagens da montagem do produto:

Montagem



Figura 7. Amplificador voXstorm – 25 W. Fonte: Do autor.



Figura 8. Caixa de som. Fonte: Do autor.

Na Figura 9 temos a ligação da caixa de com o amplificador.



Figura 9. Amplificador acoplado a caixa de som. Fonte: Do autor.

Na Figura 10 é colocado o cilindro de plástico sobre o alto-falante.



Figura 10. Amplificador acoplado a caixa de som e cilindro plástico de 5 L. Fonte: Do autor.

Na Figura 11 são colocadas as bolinhas dentro do cilindro de plástico.



Figura 11. Simulador de Movimentos Vibracionais (SMMV), amplificador, caixa de som, cilindro plástico e bolinhas de tênis de mesa. Fonte: Do autor

Na Figura 12 temos uma visão do equipamento montado na sala de aula.



Figura 12. Simulador de Movimentos Vibracionais (SMMV), em sala de aula. Fonte: Do autor.

Com o intuito de facilitar a aplicação do produto em sala de aula, propomos abaixo uma lista de atividades que foram realizadas com o simulador.

5. SIMULAÇÕES

5.1. MOVIMENTO BROWNIANO

Objetivo. Visualizar o movimento browniano.

Material utilizado:

Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (amplificador, caixa de som com alto-falante de 10 polegadas), um cilindro plástico de 5 Litros, 16 bolinhas de tênis de mesa e um balão de festa número 10.

Para realizarmos essa atividade, é necessário:

1. acoplar o cabo de energia do amplificador a uma fonte de energia 110 ou volts;
2. Conectar a caixa de som ao amplificador;
3. Colocar o recipiente cilíndrico no alto falante da caixa de som;
4. Colocar as bolinhas de tênis de mesa, dentro de recipiente cilíndrico plástico, que está delimitando a circunferência do alto falante.
5. Colocar o balão de festa, em cima das bolinhas de tênis de mesa.
6. Regular o volume do amplificador na posição 6.
7. Ligar o SMMV e observar o Livre Caminho Médio e Movimento Browniano.

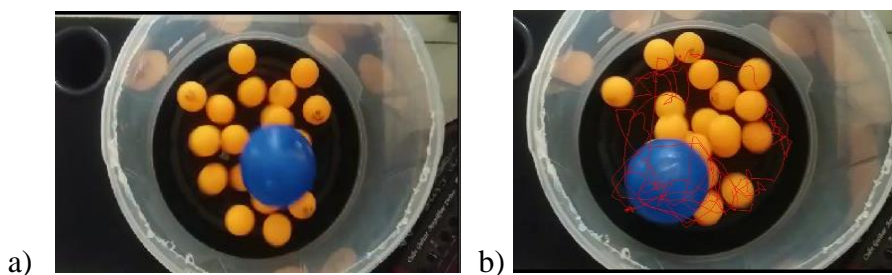


Figura 13. a) Imagem do movimento browniano no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV). Fonte: Do autor. b) Imagem do movimento browniano no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) com o uso do programa “Tacker. Fonte: Do autor. Vídeos disponíveis nos “links”: <https://drive.google.com/open?id=1TsyuZr0mfSWzOnWpf0eIBgINb4o8CvoQ> e <https://drive.google.com/open?id=1QVcnPaw-JTO7qaSdbOz9Ks-7oYN09ldF>.

Ao fornecer energia ao alto-falante (simulando um “botão” que controla a temperatura), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômicas) que agitam se com maior ou menor velocidade, chocando umas com as outras e a parede do recipiente. O balão de festa representa uma partícula imersa no fluido (líquido ou gás) que sofre um constante bombardeio ou colisões devidas às partículas (menores) vizinhas (que representam os átomos ou moléculas num líquido

ou gás). Assim, conforme podemos ver na Figura 13a, temos a simulação do movimento browniano de um, por exemplo, grão de pólen na água ou partículas de gordura no leite ou mesmo partículas de fuligem no ar.

Podemos ver que as principais particularidades do movimento browniano real são mostradas usando o simulador como o “livre caminho médio” percorrido pelo balão de festa ou a “dança browniana” que pode ser observado a “olho nu”. Opcionalmente é possível usar o programa computacional para ensino de Física, “Tracker” (2018), para uma melhor visualização do caminho médio do balão de festa como podemos ver ainda na Figura 13b. Aumentando ou diminuindo o número de bolinhas no recipiente, podemos ver que o livre caminho médio do balão varia diretamente proporcional a este número. Também é possível observar que o livre caminho médio do balão vai depender do aumento ou diminuição do volume do recipiente plástico, caracterizando que o livre caminho médio é diretamente inversamente proporcional ao número de bolinhas e diretamente proporcional ao volume, ou seja, o livre caminho médio é inversamente proporcional à densidade de partículas (ver questões a seguir).

A seguir, recomendamos algumas questões que podem ser trabalhadas com os alunos na visualização do movimento browniano usando o simulador:

Para saber mais

1. Aumente e diminua o número de bolinhas no recipiente. O que pode se observar sobre a frequência de colisões com o balão de festa? O livre caminho médio sofre alteração? Qual a relação observada entre o livre caminho médio e o número de bolinhas no mesmo recipiente?
2. Fixe um certo número de bolinhas num recipiente plástico de 5 L e observe a frequência de colisões com o balão de festa. Agora substitua o recipiente de 5 L por um de 2 L. O livre caminho médio sofre alteração? Qual a relação observada entre o livre caminho médio e o volume do recipiente com o mesmo número de bolinhas?
3. Após observar as simulações nos itens 1 e 2 acima, qual a relação observada entre o livre caminho médio, o número de bolinhas e o volume? E relação com a densidade de bolinhas de tênis de mesa?
4. Utilizando se da simulação do fenômeno do movimento browniano, é plausível imaginar a existência de átomos? Explique.
5. Sabe-se que as moléculas de um perfume se difundem-se no ar, tendo um livre caminho médio da ordem de 10^{-8} m, sofrendo da ordem de 10^9 colisões por segundo. Um estudante, abre um frasco de amônia em um lado da sala de aula e outro estudante, em um outro lado da sala, leva o tempo de um minuto para sentir o cheiro das moléculas da amônia. Dê uma explicação para justificar esse fenômeno em termos do livre caminho médio percorrido pelas moléculas de amônia.

5.2. LEI DE BOYLE-MARIOTTE

Objetivo: Simular e visualizar a transformação isotérmica.

Material utilizado: Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (amplificador, caixa de som com alto-falante de 10 polegadas), cilindros plásticos de 2 Litros e 5 Litros (vasilhames) e 16 bolinhas de tênis de mesa.

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

1. Acoplar o SMMV à fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
2. Colocar o cilindro plástico de 2 litros, no raio do alto falante.
3. Colocar 16 bolinhas de tênis de mesa, dentro do cilíndrico plástico de 2 litros.
4. Regular o botão de controle do volume e do grave do amplificador, na posição 6.
5. Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Ao fixar o volume na posição 6, é fornecida uma energia fixa ao alto-falante simulando uma temperatura fixa em um gás. O alto-falante vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômicas) que agitam-se com uma certa velocidade, chocando umas com as outras e com a parede do recipiente (Figura 14a). Os choques das bolinhas de tênis dotadas de uma certa velocidade com paredes do cilindro plástico simulam a pressão exercida pelas partículas de um gás em um recipiente e que depende da velocidade de choque das partículas. Assim temos uma visualização direta da interpretação cinética da pressão em um gás com o uso do simulador.

Refaça a simulação, mantendo o mesmo número de bolinhas e fixe o volume do amplificador na posição 6. Faça a substituição do cilindro plástico de 2 litros por cilindro plástico de 5 litros, o que nos possibilita observar uma maior liberdade de movimentação das partículas (Figura 14b). Nessa situação, estamos simulando uma transformação isotérmica em um gás, pois a energia oriunda do amplificador não é alterada e podemos ver que ao aumentar o volume, o número de colisões com a parede diminui, simulando a diminuição da pressão em um gás mantido a temperatura constante. Assim temos a simulação da Lei de Boyle-Marionette na Figura 29:



a) Recipiente de 2 litros.



b) Recipiente de 5 litros.

Figuras 14. a) Imagem da simulação de uma transformação isotérmica no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 16 bolinhas no recipiente de 2L b) Imagem da simulação de uma transformação isotérmica no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 16 bolinhas no recipiente de 5L. Fonte: Do autor. Vídeos disponíveis nos “links”: https://drive.google.com/open?id=1-q_xcLHW_DP2Zx-rxIVNRpq-nUkHSnyu e https://drive.google.com/file/d/1mHLTfrKJUzx_ze9FLbmZIJf0Gq_3Q06.

A seguir, recomendamos algumas questões que podem ser trabalhadas com os alunos na visualização do movimento browniano usando o simulador:

Para saber mais

1. Podemos interpretar as colisões das bolinhas contra a parede do recipiente como uma “pressão” das bolinhas contra a parede?
2. Ao variar o volume do recipiente de plástico, mantido o volume do alto-falante na posição 6, o número de colisões das bolinhas de tênis contra a parede do recipiente, aumenta ou diminui? Então o que podemos observar sobre a relação entre pressão e volume do recipiente mantida fixa a energia do alto-falante?
3. Que Lei dos Gases foi simulado no experimento? Enuncie.
4. Uma certa massa de gás, está confinada a um volume de 100 cm^3 e pressão de 1 atm, com temperatura constante. Qual será o novo volume ocupada por essa mesma massa de gás, quando a pressão passar para 4 atm?
5. O time de futebol Cuiabá F. C., saiu da cidade de Cuiabá, Brasil, cuja altitude é de 811 metros, para disputar uma partida de futebol na Cidade de La paz, na Bolívia, cuja a altitude é de 3600 metros, e levou em sua bagagem diversas bolinhas de futebol, com as especificações determinadas pela regra número dois do **futebol** que determina que a **bola** de jogo deve ser esférica, construída de couro ou outro material adequado, com circunferência de 70 cm, peso de 450 g.

Pergunta-se, ao chegar a cidade de La Paz:

- a. O volume da bola aumentou ou diminuiu? Justifique sua resposta.
- b. A pressão aumentou ou diminuiu? Justifique sua resposta.
- c. A quantidade de partículas aumenta ou diminui? Justifique sua resposta.

5.3. LEI DE GAY-LUSSAC

Objetivo: Simular e visualizar a transformação isovolumétrica.

Material utilizado: Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (amplificador, caixa de som com alto-falante de 10 polegadas), um cilindro plástico de 5 L e 16 bolinhas de tênis de mesa.

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

- 1 Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
- 2 Colocar o cilindro plástico de 5 litros, na circunferência do alto-falante.
- 3 Colocar 16 bolinhas de tênis de mesa, dentro do cilíndrico plástico de 2 litros.
- 4 Regular o botão de controle do volume e do grave do amplificador, inicialmente na posição 1.
- 5 Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Ao fixar o volume na posição 1, é fornecido uma energia fixa ao alto-falante (esse botão do volume simula um botão de controle de temperatura em um gás). O alto-falante vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômicas) que agitam se com uma certa velocidade, chocando umas com as outras e com a parede do recipiente (Figura 15). Os choques das bolinhas de tênis dotadas de uma certa velocidade com paredes do cilindro plástico simulam a pressão exercida pelas partículas de um gás em um recipiente e que depende da velocidade de choque das partículas. Assim temos uma visualização direta da interpretação cinética da pressão em um gás com o uso do simulador.

Aumente aos poucos o volume do amplificador passando pelas posições 2,3,4,5 e 6. Observe que nessa situação, o número de colisões entre as bolinhas e entre as bolinhas e as paredes vão aumentando, pois é transferido mais energia de vibração do alto-falante para as bolinhas no interior do cilindro. Nessa situação estamos simulando uma transformação isovolumétrica em um gás, pois o aumento da energia oriunda do amplificador mantendo o volume fixo, simula o aumento de temperatura em um gás. Assim temos a simulação da Lei de Gay-Lussac na Figura 30:



Figuras 15. Imagem da simulação de uma transformação isovolumétrica no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV).

Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: <https://drive.google.com/open?id=1VRLFFVK7OzWsUI250UH5uJUGhrFZRluF>.

A seguir, recomendamos algumas questões que podem ser trabalhadas com os alunos na visualização do movimento browniano usando o simulador:

Para saber mais

1. Podemos interpretar as colisões das bolinhas contra a parede do recipiente como uma “pressão” das bolinhas contra a parede? Podemos interpretar o aumento ou diminuição de energia do amplificador como uma variação de “temperatura” das bolinhas? Explique.
2. Ao manter o volume do recipiente de plástico fixo e ao aumentar ou diminuir o volume do amplificador, o número de colisões das bolinhas de tênis contra a parede do recipiente, aumenta ou diminui? Então que relação podemos observar entre o número de colisões e a energia do amplificador?
3. Que Lei dos Gases foi simulado no experimento? Enuncie.

5.4. DIFUSÃO

Objetivo: Simular e visualizar a difusão de partículas.

Material utilizado: Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (amplificador, caixa de som com alto-falante de 10 polegadas), cilindros plástico de 2 e 5 Litros (vasilhames), 20 bolinhas de tênis de mesa, 01 bolinha de tênis de mesa de cor azul, 06 bolinhas de tênis de mesa de cor branca, 20 bolinhas de isopor de 25 mm de cor branca e 10 bolinhas de isopor de 35 mm de cor branca.

1ª Simulação

Simular a difusão das partículas monoatômicas (partículas iguais e cores diferentes)

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

1. Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
2. Colocar o cilindro plástico de 2 litros, na circunferência do alto falante.
3. Colocar 20 bolinhas de tênis de mesa de cor amarela e 6 bolinhas de tênis de mesa de cor branca, dentro do recipiente cilíndrico plástico de 2 litros.
4. Regular o botão de controle do volume e do grave, na posição 6.
5. Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Acionar o botão de partida do SMMV, fornecendo energia ao alto-falante (simulador de temperatura), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa amarelas e brancas (que representam partículas monoatômicas) que agitam se e transferem energia através de colisões para outras bolinhas de tênis de mesa vizinhas, fazendo que se misturem de maneira espontânea, com maior ou menor velocidade, chocando se umas com as outras e com a parede do recipiente (onde os choques com paredes simulam a pressão), conforme Figura 16:



Figura 16. Imagem de uma simulação da difusão no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) pra 26 bolinhas. Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: https://drive.google.com/open?id=13kSUCwkf7XipZq9Jwy801JelwGOR_07F

2ª Simulação

Simular a velocidade de difusão de várias partículas monoatômicas (partículas de tamanhos e cores diferentes).

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

1. Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
2. Colocar o cilindro plástico de 5 litros, no raio do alto falante.
3. Colocar 20 bolinhas de tênis de mesa de cor amarela, 01 bolinha de tênis de mesa de cor azul, 06 bolinhas de tênis de mesa de cor branca, 20 bolinhas de isopor de 25 mm de cor branca e 10 bolinhas de isopor de 35 mm de cor branca, no cilíndrico plástico de 5 litros do SMMV.
4. Regular o botão de controle do volume e do grave, na posição 6.
5. Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Acionar o botão de partida do SMMV, fornecendo energia ao alto-falante (simulador de temperatura), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômica) que agitam, e transferem energia para as outras bolinhas de tênis de mesa, de massas e volumes diferentes, fazendo que se misturem de maneira espontânea, com diferentes velocidades, chocando umas com as outras e a parede do recipiente (onde os choques com paredes simulam a pressão), umas com maiores ou menores intensidades, conforme Figura 17:



Figura 17. Imagem de uma simulação da difusão no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 57 bolinhas. Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: https://drive.google.com/open?id=1-21WTXTZS-gkwMHgKfOgow_9MFKiFUP.

Para saber mais

1. Sabe-se que a velocidade de efusão dos gases está relacionada com sua massa, ou seja, quanto menor for a sua massa, maior a velocidade de efusão. Determine corretamente a ordem crescente de velocidade de efusão dos gases, He, CH₄, O₂, H₂S e NH₃? (Massas atômicas: He = 4, C = 12, H = 1, O = 16, N = 14, S = 32).
2. Um balão de borracha, desses usados em aniversários, cheio de ar, murcha após algum tempo. Por que isso ocorre?

5.5. PRESSÃO VERSUS NÚMERO DE MOLES

Objetivo: Simular a influência do número de moles na pressão de um gás, mantido fixo a temperatura.

Primeira simulação.

Materiais utilizados: Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (amplificador, caixa de som com alto-falante de 10 polegadas), um cilindro plástico de 5 Litros e 26 bolinhas de tênis de mesa.

Para as realizações dessas atividades, é necessário seguir os seguintes passos:

1. Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
2. Colocar o cilindro plástico de 5 litros, na circunferência do alto falante.
3. Colocar **10 bolinhas de tênis de mesa** no cilíndrico plástico de 5 litros do SMMV. Cada bola possui 45 mm de diâmetro e 1,75 gramas de peso.
4. Regular o botão de controle do volume e do grave, na potência 6.
5. Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Acionar o botão de partida do SMMV, onde este, fornece a energia fixa ao alto-falante (simulador de botão de temperatura fixa), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômicas) que agitam se, e transferem energia para as outras bolinhas de tênis de mesa, de massas e volumes iguais, promovendo choques uma com as outras e contra à parede do recipiente. Assim, podemos simular a pressão de um gás, pois as colisões das bolinhas contra a parede do recipiente simulam as colisões das moléculas de um gás contra a parede um recipiente que contém esse gás. A pressão de um gás pode ser entendida justamente por essas colisões de moléculas do gás dotadas de certas velocidades contra a parede do recipiente. Essa é a interpretação cinética da pressão de um gás. Nessa simulação, o número de bolinhas de tênis de mesa simula o número de moles das moléculas em um gás. Na Figura 18 podemos ver a simulação clicando na figura:



Figura 18. Imagem de uma simulação pressão versus número de moles no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 10 bolinhas. Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: <https://drive.google.com/file/d/1tloZ2NGrPa-GgAk3rrdH2q8fuMIVQdHH>

Segunda simulação.

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

1. Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
2. Colocar o cilindro plástico de 5 litros, no raio do alto falante.
3. Colocar **16 bolinhas de tênis de mesa** no cilíndrico plástico de 5 litros do SMMV. Cada bola possui 45 mm de diâmetro e 1,75 gramas de peso.
4. Regular o botão de controle do volume e do grave, na potência 6.
5. Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Acionar o botão de partida do SMMV, onde este, fornece a energia fixa ao alto-falante (simulador de botão de temperatura fixa), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômicas) que agitam se, e transferem energia para as outras bolinhas de tênis de mesa, de massas e volumes iguais, promovendo choques uma com as outras e contra à parede do recipiente. Assim, podemos simular a pressão de um gás, pois as colisões das bolinhas contra a parede do recipiente simulam as colisões das moléculas de um gás contra a parede um recipiente que contém esse gás. A pressão de um gás pode ser entendida justamente por essas colisões de moléculas do gás dotadas de certas velocidades contra a parede do recipiente. Essa é a interpretação cinética da pressão de um gás. Nessa simulação, o número de bolinhas de tênis de mesa simula o número de moles das moléculas em um gás. Este número de bolinhas é maior nesse experimento. Na Figura 19, podemos ver a simulação clicando na figura:



Figura 19. Imagem de uma simulação pressão versus número de moles no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 16 bolinhas. Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: https://drive.google.com/file/d/1itmb1AjjhI5cbQMfa3zWs7_JKHUhad.

Terceira simulação

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

1. Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
2. Colocar o cilindro plástico de 5 litros, no raio do alto falante.
3. Colocar **25 bolinhas de tênis de mesa** no cilíndrico plástico de 5 litros do SMMV. Cada bola possui 45 mm de diâmetro e 1,75 gramas de peso.
4. Regular o botão de controle do volume e do grave, na posição 6.
5. Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Acionar o botão de partida do SMMV, onde este, fornece a energia fixa ao alto-falante (simulador de botão de temperatura fixa), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômicas) que agitam se, e transferem energia para as outras bolinhas de tênis de mesa, de massas e volumes iguais, promovendo choques uma com as outras e contra à parede do recipiente. Assim, podemos simular a pressão de um gás, pois as colisões das bolinhas contra a parede do recipiente simulam as colisões das moléculas de um gás contra a parede um recipiente que contém esse gás. A pressão de um gás pode ser entendida justamente por essas colisões de moléculas do gás dotadas de certas velocidades contra a parede do recipiente. Essa é a interpretação cinética da pressão de um gás. Nessa simulação, o número de bolinhas de tênis de mesa simula o número de moles das moléculas em um gás. Este número de bolinhas é maior nesse experimento. Na Figura 20 podemos ver a simulação clicando na figura:



Figura 20. Imagem de uma simulação pressão versus número de moles no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 25 bolinhas. Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: <https://drive.google.com/open?id=1bR0cVHsRfRAfFIWMIuvxsmDStvMldJz> .

Para saber mais

1. Observando o comportamento de um sistema gasoso, podemos afirmar que, a pressão de um gás é o resultado das colisões das moléculas com as paredes do recipiente.
 - a. Qual a relação da pressão com o número de bolinhas mantido fixa a energia para as três simulações observadas?

2. Utilizando a equação de Clapeyron, $p.V = n.R.T$, determine os valores das pressões encontradas para cada simulação, supondo que cada 12 bolinhas de tênis de mesa é igual a 1 mol, e R é a constante universal dos gases, cujo valor é de 0,082 atm.L/mol.K e temperatura de 300 kelvin (“Temperatura” das bolinhas de tênis”).

5.6. DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES DE MAXWELL

Objetivo: Simular e visualizar a distribuição de velocidades de Maxwell de partículas.

Material utilizado: Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (amplificador, caixa de som com alto-falante de 10 polegadas), um cilindro plástico de 2 Litros e 16 bolinhas de tênis de mesa.

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

- 1 Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
- 2 Colocar o cilindro plástico de 5 litros, na circunferência do alto falante.
- 3 Colocar 26 bolinhas de tênis de mesa, dentro do recipiente cilíndrico plástico de 5 litros.
- 4 Regular o botão de controle do volume e do grave, na posição 6.
- 5 Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Acionar o botão de partida do SMMV, fornecendo energia fixa ao alto-falante (simulador de botão de temperatura), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa amarelas e brancas (que representam partículas monoatômicas) que agitam se e transferem energia através de colisões para outras bolinhas de tênis de mesa vizinhas, com maior ou menor velocidade, chocando se umas com as outras e com a parede do recipiente. Podemos observar que as bolinhas possuem velocidades diferentes. Algumas possuem velocidades elevadas mais próximas da superfície do recipiente, enquanto outras possuem velocidades menores no fundo do recipiente. As partículas com velocidades maiores tendem escapar do recipiente. Essa observação está em acordo com a distribuição de Maxwell de velocidades, pois nessa distribuição de velocidades à uma dada temperatura T (aqui simulado por uma energia constante de vibração no alto-falante), temos um número pequeno de partículas com grandes velocidades, um número pequeno de partículas com pequenas velocidades e a maioria das partículas estão com velocidades intermediárias. A simulação pode ser vista abaixo clicando na Figura 21:



Figura 21. Imagem de uma simulação distribuição de Maxwell de velocidades das partículas no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 26 bolinhas. Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: https://drive.google.com/open?id=1KWYKi22SXcn_D3bQz1LVfvU6NEnDkFvN .

Para saber mais

Que tipo de fenômeno forneceria boa evidência de que nem todas as moléculas de um corpo está ao se movendo com a mesma velocidade a uma dada temperatura?

5.7. EVAPORAÇÃO

Objetivo: Simular a evaporação em um líquido ou gás.

Material utilizado: Simulador Mecânico de Movimento Vibracional (amplificador, caixa de som com alto-falante de 10 polegadas), um cilindro plástico de 2 Litros e 16 bolinhas de tênis de mesa.

Para a realização dessa atividade é necessário seguir os seguintes passos:

- 1 Acoplar o SMMV a fonte de energia de 110 ou 220 Volts.
- 2 Colocar o cilindro plástico de 2 litros, na circunferência do alto falante.
- 3 Colocar 20 bolinhas de tênis de mesa, dentro do recipiente cilíndrico plástico de 2 litros.
- 4 Regular o botão de controle do volume e do grave, na posição 6.
- 5 Ligar o botão de partida do SMMV, e visualizar a movimentação das bolinhas de tênis de mesa.

Acionar o botão de partida do SMMV, fornecendo energia fixa ao alto-falante (simulador de temperatura fixa), este vai vibrar, e essas vibrações serão transferidas para as bolinhas de tênis de mesa (que representam partículas monoatômicas) que agitam se e transferem energia através de colisões para outras bolinhas de tênis de mesa vizinhas, com maior ou menor velocidade, chocando se umas com as outras e com a parede do recipiente. Podemos observar que as bolinhas possuem velocidades diferentes. Algumas possuem velocidades elevadas mais próximas da superfície do recipiente, enquanto outras possuem velocidades menores no fundo do recipiente. As partículas com velocidades maiores tendem escapar do recipiente e aos poucos o número de bolinas vai diminuindo. Essas observações se aplicam ao fenômeno da evaporação de um líquido ou gás, pois neste, de acordo com a distribuição de Maxwell de velocidades, temos um número pequeno de moléculas com grandes velocidades, um número pequeno de moléculas com pequenas velocidades e a maioria das moléculas estão com velocidades intermediárias. As moléculas de velocidade mais elevadas escapam pela superfície para o ar atmosférico, reduzindo o número de moléculas disponíveis no recipiente e portanto, diminuindo a massa de líquido ou gás no recipiente. Através de novas colisões, as moléculas com velocidades menores, aleatoriamente adquirem velocidades maiores e também escapam pela superfície. A simulação pode ser vista abaixo clicando na Figura 22:



Figura 22. Imagem de uma simulação da evaporação em um líquido ou gás no Simulador de Movimento Vibracional (SMMV) para 26 bolinhas. Fonte: Do autor. Vídeo disponível no link: https://drive.google.com/open?id=1yEeP1KpRsh46ycdJhWNEcC620_pCLBZ5.

Para saber mais

1. Aumente ou diminua o volume do alto-falante e observe as novas velocidades das partículas. A distribuição de Maxwell continua valendo nessas situações? Em relação ao fenômeno da evaporação, o que é observado ao abaixar ou diminuir o volume do amplificador em relação à primeira simulação no volume 6?
2. Por que o fenômeno observado acima explica que o Sol tem brilhado por bilhões de anos?

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANTES, A.R.; MIRANDA, M.S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET. Física na escola, 2010.

BIGHETTI, R. C.; ZULIANI, S. R. Q. A. e LEGENDRE, A. O. A Utilização da Modelagem no Ensino da Teoria Cinética dos Gases: Avaliação de uma Aplicação de Conceitos a Situações Cotidianas. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ), Florianópolis, SC, 2016. Disponível em <<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R2210-1.pdf>>. Acesso em: 11/112018.

BROWNIAN Motion Demonstration, 2017. Disponível em <<https://www.stem.org.uk>>. Acesso em: 15 agosto 2017.

BROWN, R. A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies, Phil. Mag. 4, 161 (1828). Disponível em <http://www.damtp.cam.ac.uk/user/gold/pdfs/teaching/old_literature/Brown1828.pdf>. Acesso em: 10 novembro 2018.

CHAGAS, A. P. “Existem átomos? Abordando Jean Perrin. II Jornada de História da Ciência e Ensino, PUC-SP, 2009. Disponível em <<https://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/5605/4340>>. Acesso em: 11 novembro 2018.

EINSTEIN, A. Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. Ann. d. Phys. 17, 549 (1905). Disponível em <<https://pdfs.semanticscholar.org/9c1d/91a9f0a37e578ee9a6605b224ad554ec6e86.pdf>> (tradução em inglês) . Acesso em 10 novembro 2018.

Halliday & Resnick e Walker; Fundamentos de Física. Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC. 2016.

LARSEN, D. Kinetic Theory of Gases. 2015. Disponível em: Acesso em: 17 julho 2018.

MARQUES, P. M. A. et al. Demonstração em teoria cinética. Cad. Cat. Ens. Fís., v. 11, n. 2: p.100-104, ago. 1994. Acesso em 22 de julho de 2018.

MOVIMENTO browniano. IFUSP. São Paulo, 2011. Disponível em <https://portal.if.usp.br/labdid/sites/portal.if.usp.br/labdid/files/Browniano-L.pdf>. Acesso em: 31 de out. de 2018.

NUNES, V. M. B. Introdução à Teoria Cinética dos Gases. 2003. Disponível em <<http://www.docentes.ipt.pt/valentim/ensino/itcg.pdf>>. Acesso em: 20 julho 2018.

PERRIN, J. “Mouvement brownien et réalité moléculaire. Ann. Chem. Phys. 18, 1 (1909). Disponível em <https://fr.wikisource.org/wiki/Mouvement_brownien_et_r%C3%A9alit%C3%A9_mol%C3%A9culaire>. Acesso em: 10 de novembro 2018.

SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano: ensino médio / obra concebida, produzida por Edições SM; editor ANGELO STEFANOVITS. – 2. Ed. – São Paulo: Edições SM, 2013. – (Coleção ser protagonista: 2)

SILVIO R.A. SALINAS, Revista Brasileira de Ensino Física 27, 263 (2005). Acessado em 04 de abril de 2018.

TRACKER. Vídeo analysis and modelling tool. Disponível em <<http://physlets.org/tracker/>>. Acesso em: 12 de novembro de 2015.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A., Física II – Termodinâmica e Ondas, 10a ed. São Paulo, Pearson, 2003.