

1. Introdução

Durante esse semestre, não foi possível que eu estivesse presente nos eventos realizados com experimentos de óptica, que os outros alunos puderam participar, excetuando um deles, que será descrito nesse relatório.

Por esse motivo, meu trabalho durante todo o semestre foi voltado para tema ROTAÇÃO. Escrevi uma aula simplificada sobre rotação e projetei uma apresentação de experimentos relacionados a esse tema, que pudessem ficar expostos no instituto de física da Unicamp durante o dia todo, e que houvesse uma possibilidade de interação do público que por ali passasse.

Além disso, participei de um evento em uma escola em Campinas, levando alguns experimentos de óptica para alunos do Ensino Médio.

2. Desenvolvimento

Quando começamos a conversar sobre o assunto de rotação, falamos muito sobre o experimento de Galileu e seu plano inclinado.

Meu primeiro passo, então, foi ler o Relatório Final do primeiro semestre de 2008 da disciplina “Tópicos de Ensino de Física 1” da Unicamp, chamado “Galileu e o plano inclinado”, do aluno Gilberto Pessato Junior.

Esse relatório foi utilizado para que eu fizesse a introdução da aula sobre rotação. Nessa introdução foi falado resumidamente sobre o experimento de Galileu: *“O experimento consiste em uma esfera descendo por uma rampa inclinada de aproximadamente 8 metros de comprimento. Galileu mediu o tempo gasto para a esfera percorrer diferentes distâncias. Obteve experimentalmente que “os espaços percorridos estavam entre si como os quadrados dos tempos e isso em todas as inclinações do plano, ou seja, da canaleta, pela qual se fazia descer a bola.”*

Com esse experimento, Galileu descobriu que havia aceleração no movimento da esfera, pois a proporção dos espaços estavam entre si como os quadrados dos tempos. E com essa informação, eu e o professor discutimos bastante o quanto a rotação foi ignorada por Galileu nesse experimento.

Para conversar melhor sobre esse assunto, marquei um horário com o professor Andre Koch Torres Assis, pois sua pesquisa está relacionada com o que eu estava estudando. Nessa conversa falamos bastante sobre o experimento de Galileu e ele me afirmou que a rotação não influenciou muito no movimento da esfera.

Uma outra questão que foi bastante discutida na montagem da minha aula, foi a questão da demonstração da fórmula da força centrípeta.

O professor pediu para que tentasse demonstrar a fórmula da maneira que conseguisse. Levei o que eu tinha escrito para o professor ver e ele me fez perceber que um objeto em rotação tem o módulo da velocidade constante, então não posso usar a variação da velocidade para encontrar a aceleração. Chegamos à conclusão de que não era possível encontrar uma variação na velocidade, se essa não fosse considerada como vetor.

Eu e o professor tivemos uma conversa, onde tentamos chegar a algo aproximado da fórmula, considerando um objeto que está com velocidade constante no espaço e que então se prende a uma colher e começa a rotacionar, desviando de sua rota e como se estivesse se aproximando do centro.

Mas com essa demonstração não foi possível chegar ao que gostaríamos. A idéia era fazer uma demonstração que não utilizasse o conceito de vetor, pois se tratava de uma demonstração para o ensino médio.

O desafio de demonstrar a formula foi lançado em sala de aula, e uma aluna demonstrou, utilizando um pendulo em rotação.

A demonstração foi a seguinte:

Temos um objeto em rotação com módulo de velocidade tangencial constante, como mostra a figura, com vista de cima:

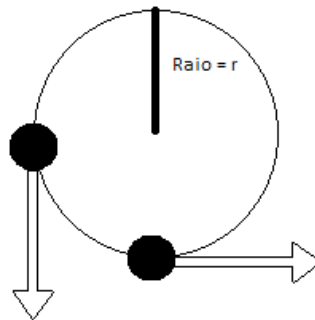


Figura 1

Temos que a aceleração seria a variação da velocidade. Pegamos então dois pontos na rotação, de forma a abranger $\frac{1}{4}$ da volta, como mostra a Figura 1.

Temos então:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Podemos considerar que a variação da velocidade seria um vetor que é a diferença entre os dois vetores, como mostra a figura 2.

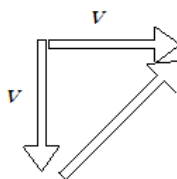


Figura 2

Então, se considerarmos Δv como a diferença entre os vetores, que estão perpendiculares, e considerarmos que cada vetor tem módulo v , temos que o módulo de Δv seria:

$$\Delta v = v \sqrt{2}$$

Temos que T é o período, ou seja, o tempo que o objeto gasta para completar uma volta. Por isso, para o caso de $\frac{1}{4}$ de volta, temos:

$$a = \frac{\Delta v}{\frac{T}{4}}$$

Sabemos que

$$v = \frac{2\pi r}{T} \text{ e, portanto } T = \frac{2\pi r}{v}$$

Onde r é o raio da circunferência.

Substituindo na fórmula da aceleração, chegamos em:

$$a = \frac{v \sqrt{2}}{\frac{T}{4}} = \frac{v \sqrt{2}}{\frac{2\pi r}{v}} = \frac{2 v^2 \sqrt{2}}{\pi r}$$

$$a = \frac{2\sqrt{2}v^2}{\pi r}$$

Se considerarmos que $2\sqrt{2}$ é aproximadamente igual a π , chegamos em:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

e como $F = ma$,

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

O professor me falou que eu deveria levar essa demonstração no próximo encontro, para verificarmos sua veracidade.

Refiz então a demonstração e levei ao professor. Quando estava fazendo a demonstração, pensei no ângulo entre os dois vetores. Supus que quanto menor o ângulo, melhor seria a aproximação.

Comentei isso com o professor. Fiquei então com a tarefa de fazer a demonstração para ângulos menores e até mesmo tendendo a zero.

Fiz então a demonstração para um ângulo genérico:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ e } T = \frac{2\pi r}{v}$$

Para um ângulo qualquer θ , podemos encontrar o valor da variação da velocidade:

$$(\Delta v)^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \theta$$

$$(\Delta v)^2 = 2v^2 (1 - \cos \theta)$$

$$\Delta v = \sqrt{2} \sqrt{(1 - \cos \theta)} v$$

Podemos calcular a aceleração da seguinte forma:

$$a = \frac{\sqrt{2} \sqrt{(1 - \cos \theta)} v}{\frac{T}{x}} = \frac{\sqrt{2} \sqrt{(1 - \cos \theta)} v}{\frac{2\pi r}{v x}} = \frac{\frac{x}{2} \sqrt{2} \sqrt{(1 - \cos \theta)} v^2}{\pi r}$$

Onde x é o número de divisões do círculo.

Para 45° temos $x = 8$:

$$4 \sqrt{2} \sqrt{(1 - \cos 45^\circ)} = 3,897$$

Para 30° , temos $x=12$ e encontramos a aproximação para π : 3,105823.

Percebemos que com a diminuição de 90° para 45° e para 30° a aproximação para π se tornou cada vez melhor, confirmando o que imaginávamos.

Realizei as demonstrações e comprovei que no limite, conseguimos chegar na fórmula da aceleração, e consequentemente na fórmula de força centrípeta, como mostra abaixo:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

Com a regra de três, temos o seguinte:

$$\frac{T}{dt} = \frac{2\pi}{d\theta}$$

Então:

$$T d\theta = dt 2\pi$$

$$dt = \frac{T d\theta}{2\pi}$$

Como $T = \frac{2\pi r}{v}$,

$$dt = \frac{T d\theta}{2\pi} = \frac{2\pi r d\theta}{v 2\pi}$$

$$dt = \frac{r d\theta}{v}$$

Da mesma maneira que anteriormente, vamos analisar dois pontos em que o objeto passa durante a rotação. Nesse caso o ângulo entre esses dois vetores que representam as velocidades nos dois pontos é infinitesimalmente pequeno.

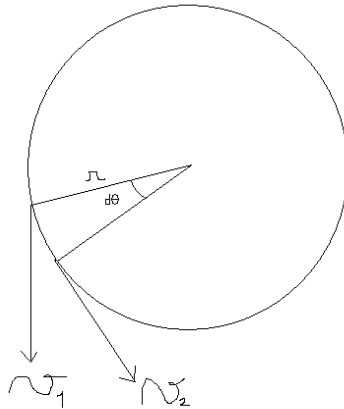


Figura 3

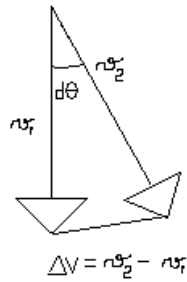


Figura 4

Temos que a aceleração seria a variação da velocidade no tempo. Pegamos então dois pontos na rotação e podemos considerar que a variação da velocidade seria um vetor que é a diferença entre os dois vetores. Temos então:

$$(\Delta V)^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos d\theta$$

$$v_1 = v_2$$

$$(\Delta V)^2 = 2v^2(1 - \cos d\theta)$$

$\Delta V = \sqrt{2v^2(1 - \cos d\theta)} = \sqrt{2} v \sqrt{1 - \cos d\theta}$
$\cos d\theta = \frac{1 - (d\theta)^2}{2!} = \frac{1 - (d\theta)^2}{2}$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2} v \sqrt{1 - \cos d\theta}}{\frac{r d\theta}{v}}$$

$$a = \frac{\sqrt{2} v^2}{r} \frac{\sqrt{1 - \cos d\theta}}{d\theta} =$$

$$a = \sqrt{2} \frac{v^2}{r} \frac{\sqrt{1 - (1 - \frac{d\theta^2}{2})}}{d\theta} =$$

$$a = \sqrt{2} \frac{v^2}{r} \frac{1}{d\theta} \sqrt{\frac{d\theta^2}{2}} = \frac{v^2}{r}$$

e como $F = ma$,

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

3. Projeto de exposição de experimentos no IFGW

Como já citado, uma outra parte das minhas atividades englobou o projeto de apresentação de experimentos relacionados ao tema rotação, no Instituto de Física. Os experimentos ficariam expostos atrás de uma vitrine e pensaríamos em uma forma de proporcionar a interação dos expectadores com os experimentos. Isso poderia ser feito através de um cordão ou controle, que ficaria disponível.

Os experimentos da apresentação seriam inicialmente um giroscópio, um pêndulo composto e um pião.

Com relação ao giroscópio, a idéia era deixá-lo girando e que houvesse uma forma de que as pessoas girassem sua base e percebessem a influência dessa rotação na rotação dos outros eixos.

O pião é um objeto que é alimentado por uma pilha e que poderia ficar girando durante todo o dia, e a atração seria o fato de que ele nunca deixa de rotacionar, além do fato de que quando ele gira, algumas luzes coloridas se acendem e mudam de cores, gerando um efeito muito bonito.

O pêndulo composto precisaria de algumas adaptações. Uma delas seria com relação à interação das pessoas. Foi adaptado nele um interruptor, que quando apertado, gera uma força no pêndulo superior, a fim de que ele gire. Com isso, surgiu a questão de que uma pessoa poderia destruir o componente, apertando o botão exageradamente. Foi desenvolvido então, por um outro aluno, um sistema de proteção. Esse sistema faz com que haja um limite de apertos num certo intervalo de tempo.

Depois disso, pensamos em uma forma de deixá-lo mais visível para o público. Pensamos em acoplar uma madeira grande branca, de forma que a base e a haste que sustenta o pêndulo se escondesse, e apenas o acrílico do pêndulo ficasse à mostra.

Em um dos encontros eu e um outro aluno furamos a madeira, de forma que pudéssemos encaixá-la entre duas peças de acrílico do pêndulo. Após o furo percebemos que não seria possível encaixar como planejávamos, e o professor fez uma adaptação, retirando uma peça de acrílico e encaixando o furo no motor.

Após a adaptação da madeira, surgiu um problema com relação ao sistema de proteção. Devido à espessura da madeira, o sensor não conseguia detectar o ímã acoplado ao pêndulo, do outro lado da madeira. Por isso, com um furo mais grosso, aproximamos o ímã da madeira, para que fosse detectado pelo sensor.

Após essas adaptações nos experimentos, visitamos o lugar onde os experimentos ficariam expostos. Surgiu a idéia de colocar um novo pião, feito com um motor pequeno.

Esse pião começou a ser construído, mas inicialmente não parou fixamente enquanto rotacionava, e ainda está em fase de ajustes.

4. Apresentação dos Experimentos de Rotação

Os experimentos foram apresentados aos alunos dessa mesma disciplina. O experimento que mais chamou atenção dos alunos foi o pêndulo composto, pois podíamos interagir com ele e tentar girá-lo.

Incentivei que os alunos tentassem fazer o pêndulo rotacionar uma volta completa, utilizando o interruptor. Foi bastante divertido.

Alguns comentários foram muito interessantes durante a apresentação. Um aluno observou que até um certo instante, o segundo pendulo não estava rotacionando e que isso facilitava o “empurrão” do primeiro pendulo. Quando o segundo pendulo passava a rotacionar, o movimento perdia sua forma aproximadamente constante e passava a ficar mais confuso, dificultando para quem estava manipulando a força pela interruptor.

4. Apresentação dos Experimentos de Óptica

Acompanhei um dos colegas durante uma apresentação de diferentes experimentos de óptica para alunos do ensino médio.

Percebi que a montagem dos experimentos não é algo simples, principalmente quando a estrutura da escola é um pouco precária. Além de montar os experimentos, percebi que é necessário pensar na disposição da sala e na ordem dos experimentos, para que tudo aconteça o melhor possível. Encontramos um pouco de dificuldade em encontrar uma tomada, pois a da sala não estava funcionando. Resolvemos esse problema utilizando uma tomada da sala ao lado, através de uma extensão, e deixamos os experimentos que precisariam de tomada, agrupados perto da tomada da extensão.

Além disso, alguns experimentos necessitariam ser realizados no escuro e a luz da sala poderia ser apagada apenas em uma caixa de força, que ficava a alguns metros da sala. Deixamos também os experimentos do escuro agrupados e sendo os primeiros na ordem da apresentação, pois assim que todos fossem apresentados, acenderíamos a luz e prosseguiríamos com a apresentação.

Demoramos cerca de uma hora para conseguir transportar e montar todos os experimentos, que eram: caixa escura, espelho de reflexões infinitas, maquina fotografica como caixa escura, lampada de fendas, lâmpada com dois filamentos, porquinho invisível, quebra cara, entre outros.

Começamos a chamar os alunos em grupos de 4 ou 5 para mostrar os experimentos, um a cada vez.

Um dos experimentos se tratava de mostrar como um feixe de luz se comportava ao passa por uma lente convergente.

Para isso, utilizamos um laser, uma lupa, vaporizador de água e uma folha de papel para projetar a luz, como mostra a figura abaixo:



Figura 5

A montagem se tratava do seguinte: O laser é colocado em movimento giratório, de forma que o raio do laser forma um cone de luz. Esse cone é direcionado para passar pela lente da lupa. O vaporizador de água é projetado em direção ao cone de luz, para facilitar a visualização. A folha de papel é utilizada para projetar a luz, em distâncias diferentes, após a passagem pela lupa.

Nesse caso, eu fiquei responsável por fazer um movimento de rotação no laser. A aluna participou com o vaporizador.

Com a folha de papel, mostramos que, após o cone passar pela lupa e próximo à ela, a projeção mostrava um círculo. Isso nos garantia que, após o cone passar pela lupa, ele continua sendo um cone de luz.

Fomos afastando a folha de papel, mostrando que o círculo diminuía até se tornar um ponto de luz. Isso mostra que o feixe converge. Explicamos que todos os raios daquele cone, após passar pela lupa, estavam sendo direcionados para um ponto, que é o foco da lente, e por isso o círculo se transformou em um ponto.

Afastamos a folha um pouco mais e o círculo reapareceu e conforme afastávamos a folha, maior se tornava o círculo. Explicamos que depois dos raios se encontrarem em um ponto, eles continuavam reto, e por isso o cone se formava novamente.

Os alunos ficaram muito encantados com o que viram. Eles perceberam que aquilo que estudam na sala de aula realmente acontece.

Com relação à todos os experimentos, eu fiquei muito surpresa e feliz com a reação dos alunos. Percebi que coisas simples podem encantar os alunos. Percebi que os experimentos são muito bons e muito bem elaborados e que dessa forma é bem mais fácil e interessante ensinar certos conceitos de óptica.

Os alunos sorriam muito, brincavam, exclamavam e mostravam admiração pelo que estavam vendo. Percebi que é muito gratificante para mim conseguir provocar esse tipo de admiração nos alunos.

Essa experiência me fez repensar a forma de ensinar física e o quanto os experimentos podem ser essenciais nesse processo.