COINTER PDVL 2021
VIII CONGRESSO INTERNACIONAL DAS LICENCIATURAS
Edição 100% virtual | 01 a 03 de dezembro
ISSN:2358-9728 | PREFIXO DOI:10.31692/2358-9728

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NO ESTUDO SOBRE A VELOCIDADE DOS CORPOS

ANÁLISIS DEL EFECTO DOPPLER Y SU APLICACIÓN EN EL ESTUDIO DE VELOCIDAD DE LOS CUERPOS

ANALYSIS OF THE DOPPLER EFFECT AND ITS APPLICATION IN THE STUDY ON VELOCITY OF BODIES

Apresentação: Comunicação Oral

Marcos André Araújo de Sousa¹; Bruno Carvalho Silva²; Lucas de Moura Santos³; Emanuel Veras de Souza⁴

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VIIICOINTERPDVL.0078>

RESUMO

O efeito Doppler é caracterizado pela mudança de frequência percebido por um receptor a partir do movimento relativo de fontes de ondas sonoras, mas que pode ser estendido para demais tipos de ondas, inclusive ondas eletromagnéticas. O presente artigo tem como finalidade explicar este fenômeno, a partir de uma abordagem que indique a importância de sua descrição, com intuito de integrar tal conhecimento no contexto de ensino de modo mais prático. Portanto, também apresentamos uma proposta de ensino eficaz através das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). O artigo exposto é fundamentado na condensação de conhecimentos baseados no efeito Doppler e nas suas consequências, que culminaram no desenvolvimento de inúmeras áreas que abrangem o escopo da física, e evolução de teorias modernas que só foram possíveis devido à descoberta e estudo deste fenômeno. Estas informações são explanadas com intuito de serem utilizadas no Ensino de Física juntamente com o uso das TICs, instigando a curiosidade dos discentes na sala de aula. De modo sucinto, este artigo contém a descrição do conceito base que permeia o efeito Doppler, o desenvolvimento das equações particulares e geral por meio de imagens e analogias que simulam casos cotidianos e uma amostra de um simples experimento usando aplicativos de aparelhos eletrônicos, que pode ser utilizado como recurso didático em sala de aula, viabilizando a visualização deste fenômeno de forma prática. Por fim, fazemos uma explanação sobre as aplicações na aeronáutica, analisando aeronaves que ultrapassam a velocidade do som, e no campo da astronomia, abordando a comprovação da expansão do universo por meio dos estudos de Hubble. Diante do exposto é concreto ratificar que descrever tal fenômeno foi de grande relevância para o desenvolvimento inclusive da física moderna e da ciência como um todo, e que este especial fenômeno pode ser detalhado, experimentado e visualizado em um contexto de ensino usando TICs como modo de instigar o conhecimento dos discente sobre o assunto estudado e suas amplas aplicações.

Palavras-Chave: Efeito Doppler. Ensino de Física. Tecnologias de Informação e Comunicação.

¹ Licenciatura em Física, Instituto Federal do Piauí (IFPI), marcos.cygnox1@gmail.com

² Licenciatura em Física, Instituto Federal do Piauí (IFPI), brunocarvalhosilva04@gmail.com

³ Licenciatura em Física, Instituto Federal do Piauí (IFPI), lu.casmoura8989@gmail.com

⁴ Mestre, Instituto Federal do Piauí (IFPI), emanuel.veras@ifpi.edu.br

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

RESUMEN

El efecto Doppler se caracteriza por el cambio de frecuencia que percibe un receptor a partir del movimiento relativo de las fuentes de ondas sonoras, pero que puede extenderse a otros tipos de ondas, incluidas las ondas electromagnéticas. Este artículo tiene como objetivo explicar este fenómeno, desde un enfoque que indica la importancia de su descripción, con el fin de integrar dichos conocimientos en el contexto docente de una manera más práctica. Por ello, también presentamos una propuesta didáctica eficaz a través de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). El artículo expuesto se basa en la condensación de conocimientos a partir del efecto Doppler y sus consecuencias, que culminó en el desarrollo de numerosas áreas que abarcan el ámbito de la física, y la evolución de teorías modernas que solo fueron posibles gracias al descubrimiento y estudio de este fenómeno. Esta información se explica con la intención de ser utilizada en la Enseñanza de la Física junto con el uso de las TIC, instigando la curiosidad de los estudiantes en el aula. Brevemente, este artículo contiene una descripción del concepto básico que impregna el efecto Doppler, el desarrollo de ecuaciones particulares y generales a través de imágenes y analogías que simulan casos cotidianos y una muestra de un experimento sencillo utilizando aplicaciones de dispositivos electrónicos, que se pueden utilizar como recurso didáctico en el aula, posibilitando la visualización de este fenómeno de forma práctica. Finalmente, explicamos las aplicaciones en aeronáutica, analizando aeronaves que superan la velocidad del sonido, y en el campo de la astronomía, acercándonos a la prueba de la expansión del universo a través de estudios de Hubble. A la luz de lo anterior, es concreto ratificar que describir tal fenómeno fue de gran relevancia para el desarrollo, incluso de la física y la ciencia modernas en su conjunto, y que este fenómeno especial puede ser detallado, experimentado y visualizado en un contexto de enseñanza. utilizar las TIC como forma de instigar el conocimiento de los estudiantes sobre el tema estudiado y sus amplias aplicaciones. **Palabras Clave:** Efecto Doppler. Enseñanza de la física. Tecnologías de la información y la comunicación.

ABSTRACT

The Doppler effect is characterized by the change in frequency perceived by a receiver from the relative movement of sound wave sources, but which can be extended to other types of waves, including electromagnetic waves. This article aims to explain this phenomenon, from an approach that indicates the importance of its description, in order to integrate such knowledge in the teaching context in a more practical way. Therefore, we also present an effective teaching proposal through Information and Communication Technologies (ICTs). The exposed article is based on the condensation of knowledge based on the Doppler effect and its consequences, which culminated in the development of numerous areas that cover the scope of physics, and the evolution of modern theories that were only possible due to the discovery and study of this phenomenon. This information is explained in order to be used in Physics Education along with the use of ICTs, instigating the curiosity of students in the classroom. Briefly, this article contains a description of the basic concept that permeates the Doppler effect, the development of particular and general equations through images and analogies that simulate everyday cases and a sample of a simple experiment using electronic device applications, which can be used as a didactic resource in the classroom, enabling the visualization of this phenomenon in a practical way. Finally, we explain the applications in aeronautics, analyzing aircraft that exceed the speed of sound, and in the field of astronomy, approaching the proof of the expansion of the universe through Hubble studies. Given the above, it is concrete to ratify that describing such a phenomenon was of great relevance to the development, including of modern physics and science as a whole, and that this special phenomenon can be detailed, experienced and visualized in a teaching context using ICTs as a way of to instigate the knowledge of students about the studied subject and its wide applications.

Keywords: Doppler Effect. Teaching Physics. Information and Communication Technologies.

INTRODUÇÃO

Inúmeras descobertas, quando são descritas, não são mensuradas seu precioso valor para o desenvolvimento da sociedade e da comunidade científica. Ficando na maior parte das vezes apenas como tópico de curiosidade ou informação que complementa uma teoria vigente, cujo seu valor intrínseco somente é conferido tempos depois da descrição do evento estudado. Um exemplo disto é o efeito Doppler, que teve suas aplicações em diversas áreas, como astronomia e aeronáutica, somente após a morte de Christian Doppler, homenageado por descrever o efeito em questão.

Assim, este artigo objetiva abordar a importância da descrição do efeito Doppler em distintas áreas, com intuito de servir como base para o Ensino de Física, através de uma abordagem que simplifique e facilite o entendimento deste fenômeno e das suas aplicações. Pois além das inúmeras aplicações que podem ser apresentadas no contexto do ensino, este artigo contém uma metodologia de experimento proposta para ser feita em sala de aula utilizando Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs).

A proposição de um experimento prático que pode ser usado como recurso de ensino em sala de aula, faz com que os discentes possam visualizar como este fenômeno se estabelece de forma concreta na realidade e como pode ser usado, por exemplo, para medir a velocidade de um corpo emissor de ondas sonoras.

Portanto, neste artigo apresentamos os conceitos que envolvem o efeito Doppler, desenvolvimento da equação que decreve o seu comportamento, relato e elaboração de um experimento simples e de fácil acesso, com finalidade de visualizar e interpretar o fenômeno de uma maneira mais pragmática e por fim explanar sobre suas aplicações e consequências.

CONCEITO E DESENVOLVIMENTO DA EQUAÇÃO DO EFEITO DOPPLER

Quando uma fonte emite periodicamente uma sequência de pulsos em um meio, um receptor irá captar a frequência desta onda, caso os dois estejam em repouso um em relação ao outro a frequência recebida será igual a emitida. Porém, caso a fonte ou o receptor se mova, a frequência captada não mais será igual. De forma geral, quando fonte e receptor estiverem se aproximando, a frequência captada é maior que a emitida e o contrário acontece se estiverem se afastando. Este fenômeno, característico de ondas, é denominado efeito Doppler, e é causado devido ao movimento relativo da fonte e do receptor (HEWITT, 2010, p.366).

A maneira mais simples de perceber este fenômeno é através de ondas sonoras, pois basta ir em alguma rodovia, por exemplo, que será notável este efeito a partir do movimento dos automóveis. Quando os automóveis estiverem se aproximando do observador, será

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

percebido um som mais agudo, e quando se afastarem o som será mais grave, pois quanto maior for a frequência de uma onda sonora mais agudo será o som, o contrário acontece quando a frequência for baixa. Este teste ficará ainda mais evidente caso o automóvel observado esteja com uma sirene ligada ou buzinando.

Trabalhando com esse exemplo do automóvel, em que a fonte está em movimento com velocidade “ V_e ” e emitindo uma onda sonora com frequência “ f_e ”, ambos constantes, vamos fazer a discussão das equações para o efeito Doppler.

Com o observador em repouso e o automóvel se aproximando dele, é possível perceber que as ondas recebidas possuem um comprimento de onda menor do que a originalmente emitida. Pois à medida que o veículo se aproxima do observador, as cristas da onda emitida precisam percorrer um espaço menor para chegar nele. Partindo disso, temos que o comprimento de onda percebido “ λ ” é o comprimento de onda emitido “ λ_e ” menos o espaço percorrido pela fonte quando ela emite duas cristas sucessivas. Portanto:

$$\lambda = \lambda_e - V_e \cdot T_e \quad (1)$$

Figura 01: Automóvel emitindo uma frequência se movendo em direção à um observador.

Fonte: Própria.

O termo “ T_e ” é o período da onda emitida pela fonte, que quando multiplicada pela sua velocidade é igual à distância percorrida quando ela emite duas cristas sucessivas como ilustrado na Figura 1. As marcações “C” são os centros das cristas de onda, e se deslocam devido ao movimento da fonte.

O sinal negativo do segundo termo à direita da equação (1) é aplicado para o caso onde a fonte está se aproximando do veículo, caso contrário receberia sinal positivo.

A velocidade de propagação da onda é a velocidade do som “ V_s ” (NUSSENZVEIG,2002 p.149). sabendo que “ $V = \lambda \cdot f$ ” para qualquer onda e usando “ f ” para a frequência percebida pelo observador, pode-se escrever a seguinte equação, utilizando a equação (1):

$$\frac{V_s}{f} = \frac{V_s}{f_e} - \frac{V_e}{f_e} \quad (2)$$

Partindo da equação (2) é possível chegar à equação do efeito Doppler para fontes em movimento. Isolando a frequência “ f ” e usando sinal negativo para aproximação e positivo para afastamento, podemos então obter a expressão.

$$f = \frac{f_e}{1 \mp \frac{v_e}{v_s}} \quad (3)$$

Agora vamos supor o caso inverso, onde é o observador que se move, como ilustrado na Figura 2.

Figura 02: Observador se movendo em direção à uma fonte sonora.

Fonte: Própria.

Analisando este caso, ele irá captar um número de cristas de onda por unidade de tempo maior do que se estivesse parado. Agora a frequência percebida é a frequência emitida pela fonte adicionada a frequência causada por sua movimentação.

Esta frequência adicional é dada pela razão entre velocidade do observador “ V_o ” e distância entre duas cristas “ λ_e ”. Assim:

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

$$f = f_e + \frac{V_o}{\lambda_e} \quad (4)$$

Colocando “ f_e ” evidência e usando sinal positivo para aproximação e negativo para afastamento encontramos a equação do efeito Doppler para observador em movimento.

$$f = f_e \left(1 \pm \frac{V_o}{V_s} \right) \quad (5)$$

Partindo das equações (3) e (5), caso se queira obter uma equação geral onde fonte e observador estão em movimento, basta combinar estas duas equações e podemos obter:

$$f = f_e \left(\frac{1 \pm \frac{V_o}{V_s}}{1 \mp \frac{V_e}{V_s}} \right) \quad (6)$$

Ou ainda:

$$f = f_e \left(\frac{V_s \pm V_o}{V_s \mp V_e} \right) \quad (7)$$

É importante ressaltar que esta equação só é válida para um referencial onde o meio em que a onda se propaga esteja em repouso.

Quanto maior for a frequência emitida mais notável será o efeito Doppler, pois segundo a equação (7) a frequência percebida aumenta proporcionalmente com a frequência emitida. Portanto, quanto maior for “ f_e ”, maior será a diferença entre, “ f_e ” e “ f ”. Assim não é necessário mover a fonte ou receptor à grandes velocidades para perceber a mudança da frequência.

Com base no que foi explicitado, também é possível calcular a velocidade de corpos em movimento a partir da Equação (7), caso haja conhecimento das incógnitas restantes, como será visto no estudo experimental.

EXPERIMENTO DE MEDIÇÃO DE VELOCIDADE A PARTIR DO EFEITO DOPPLER

Para este experimento foram utilizados softwares livres, disponível em smartphones e dispositivos Android. O “*Frequency Generator*” usado para gerar uma frequência e o “*Sound Analyzer Free*” para detectar os espectros de frequência recebida da fonte.

O detector de frequência é bem prático, e mostra os picos de uma determinada frequência, sendo possível distinguir facilmente sons e analisá-los separadamente.

Após a instalação deles em dois aparelhos diferentes, um sendo receptor e outro emissor, foram feitos testes para verificar sua eficácia. Com os dois aparelhos em repouso, foi captado a mesma frequência da fonte. Depois foram feitos testes afastando e aproximando a fonte do observador. Após a verificação dos aplicativos, foi confirmado que eles desempenham bem suas funções e poderiam ser utilizados para o experimento. A verificação consta nas Figuras 3 e 4.

Figura 03: Aplicativo Frequency Generator, emitindo som de 7000 Hz.

Fonte: Própria.

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

Figura 04: Aplicativo Sound Analyzer Free Captando a frequência emitida de 7000 Hz.

Fonte: Própria.

O primeiro procedimento experimental consistiu em mover uma fonte sonora com uma velocidade aproximadamente constante por um percurso em direção ao receptor. Uma régua milimetrada foi utilizada para marcação. Um outro celular, com a funcionalidade câmera lenta, foi usado para gravar o percurso. Feitas as medições de tempo a cada intervalo é possível calcular a velocidade. Os dados estão pesentes na Tabela 1.

Tabela 01: Dados obtidos durante o experimento.

Posição (m)	0	0,10	0,20	0,30	0,40
Tempo (s)	3,08	3,97	4,70	5,34	6,08
Velocidade (m/s)	0,112	0,136	0,156	0,135	

Fonte: Própria

Com esses dados, calcula-se uma velocidade média de 0,133 m/s.

Durante este procedimento o dispositivo emissor emitia uma frequência de 7000 Hz, o qual estava sendo monitorado pelo dispositivo receptor. Ao término do experimento foi reunido os dados do receptor, e captada uma variação média de frequência no valor de 2,6 Hz.

Utilizando a Equação (3), calcula-se a velocidade de 0,130 m/s para a fonte sonora. Velocidade esta que é bem próxima da calculada pela gravação, comprovando a eficácia do método. Para o cálculo, foi usado a velocidade do som igual à 350m/s, conforme as condições do ambiente em que foi executado os procedimentos experimentais.

Para o segundo experimento, foram utilizados os mesmos aplicativos, no entanto, com objetivo de registrar velocidades maiores, fez-se útil, usar uma motocicleta. Já para emitir o

som do aplicativo com maior intensidade foi usado um alto-falante.

A frequência emitida foi a mesma do primeiro experimento (7000 Hz), e para critério de comparação e verificação, usou-se o velocímetro da motocicleta.

Figura 05: Aproximação da motocicleta (fonte sonora) do receptor de frequência.

Fonte: Própria.

Figura 06: Afastamento da motocicleta (fonte sonora) do receptor de frequência.

Fonte: Própria.

Tabela 02: Medição das frequências do segundo experimento

Medições	Frequência Captada	Velocidade calculada	Velocidade do velocímetro
Medição 1	7140 Hz	24,7 km/h	30 km/h
Medição 2	7192 Hz	33,64 km/h	40 km/h
Medição 3	6865 Hz	24,78 km/h	30 km/h
Medição 4	6812 Hz	34,78 km/h	40 km/h

Fonte: Própria

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

Nas medições 1 e 2 o veículo estava se aproximando do receptor, nas medições 3 e 4, se afastando.

É importante ressaltar que o velocímetro dos automóveis brasileiros são regulamentados pelo Inmetro, e geralmente sofrem um erro para mais na mediação de até 7 km/h da velocidade real, por questões de segurança, isto acontece na marcação do velocímetro entre 0 e 100 km/h (INMETRO, 2014).

Portanto, os dados coletados, presentes na Tabela 2, indicam que as velocidades calculadas a partir do efeito Doppler ficaram dentro da margem de erro, indicando novamente a eficácia dos aplicativos utilizados e da operação realizada, com finalidade de medir a velocidade dos corpos analisados a partir do fenômeno estudado.

EXPERIMENTO COMO FERRAMENTA DE ENSINO APRENDIZAGEM

Frente à realidade escolar brasileira, onde instigar o desejo do conhecimento dos discentes é uma tarefa árdua, o uso de novas tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), pode ser de ímpar importância como facilitador no processo de aprendizagem (NASCIMENTO, 2019), além disso a falta de laboratórios no ensino médio pode ser compensada através destas tecnologias (FERNANDES, 2016). É importante evidenciar que o uso de TICs ainda promove significativo avanço à prática docente em si, pois pressupõe a reorganização de práticas educativas já consolidadas (ESPÍNDOLA, 2010, apud NASCIMENTO, 2019) e contribui para o enfoque Científico e Tecnológico no ensino médio difundido nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (PINHEIRO, 2007, apud NASCIMENTO, 2019).

Com base no que foi exposto, este experimento pode ser utilizado como recurso didático em sala, de uma maneira muito simples. Basta que o professor tenha posse de dois aparelhos celulares, um para agir como receptor e outro como emissor de ondas sonoras. Então o Docente pode ficar com o aparelho emissor, e entregar o dispositivo que será o receptor para um ou mais alunos, e pedir que prestem bem atenção na frequência que será captada pelo aplicativo “*Sound Analyzer Free*”. Deste modo basta acionar o “*Frequency Generator*”, (quanto maior a frequência gerada melhor) andar em direção aos alunos e pedir que digam qual foi a variação de frequência notada. Assim, basta utilizar o resultado na equação 3 e mensurar a velocidade média do andar de um ser humano.

Feito este experimento com um frequência de 20000 Hz, pode-se constatar que a frequência é aumentada para 20044 Hz quando se aproxima do receptor, como mostra a

interface do aplicativo na Figura 8, deste modo, calcula-se uma velocidade média de 0,78 m/s.

Figura 07: Interface do aplicativo Sound Analyzer Free, mostrando uma frequência de 20044 Hz, quando se aproxima um emissor de frequência de 20000 Hz.

Fonte: Própria.

Como é visto, a descrição do efeito Doppler foi eficaz para medir a velocidade dos corpos nos experimentos, mas sua importância não se restringe a isso. As aplicações do efeito Doppler são bem mais vastas. Portanto, faz-se necessário estudar mais a fundo algumas de suas aplicações.

QUEBRA DA BARREIRA DO SOM

A “barreira do som” se trata de um efeito que já pairava há um tempo na área aerodinâmica, mas não se tinha uma explicação consistente para este evento. No entanto, mesclando conhecimentos da área com a concepção do Efeito Doppler, pôde-se ter um esclarecimento.

A onda sonora é mecânica, e necessita de um meio para se propagar. Ela transporta energia através das moléculas e a variação de pressão causada por este transporte é o que causa o som que ouvimos. Quanto maior for a mudança de pressão, maior é a energia transportada e consequentemente maior é a intensidade sonora.

Analisando a equação 3, é possível prever uma situação em que a fonte se aproxima do observador com velocidade aproximadamente igual ao de propagação da onda. Nesta suposição, é possível inferir que a frequência cresce abruptamente, pois a “ f ” tenderia ao infinito.

As cristas de onda emitidas ficarão cada vez mais próximas umas das outras na parte frontal da fonte. Até chegar no limiar em que as cristas de onda se “chocam”, como visto na figura 09, causando uma interferência construtiva, aumentando a intensidade da onda sonora naquele ponto.

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

É válido ressaltar que quanto maior for o tempo nessa condição de velocidade, mais cristas de onda serão emitidas e maior será a interferência construtiva nas “ondas de choque”. A intensificação da onda sonora, por conseguinte, causa uma maior diferença de pressão que cresce cada vez mais, a medida que a fonte mantém-se na velocidade referida.

Figura 08: Velocidade do avião menor que a da onda,

Fonte: HEWITT

Figura 09: Velocidade do avião igual à da onda propagada.

Fonte: HEWITT (2015)

Antigamente, muitos pilotos de aviões a jato achavam que o acúmulo dessas ondas de pressão era o que constituía a tal da barreira do som, e que para um avião ultrapassar a velocidade do som era preciso que ele quebrasse essa barreira. No entanto, o que acontece na verdade é que a superposição das ondas geradas pelo avião, quebra o fluxo de ar que está sobre as asas, o que dificulta o manejo da aeronave (HEWITT, 2015).

Quando o avião se desloca a uma velocidade igual a Velocidade do Som, ela atinge a

velocidade de Mach 1, que é um termo denominado pelo físico austríaco Ernst Mach (WANDERLEY, 2010).

Quando a aeronave alcança a velocidade de Mach 1, é perceptível a criação de uma “parede de ar”, visível na figura 10. Este visual é criado devido às ondas de choque, que causam uma variação de pressão intensa que é capaz de condensar a água presente no ar daquela região. Após ultrapassar essa velocidade a “parede” não poderá mais ser vista, pois as ondas de pressão serão deixadas para trás.

Figura 10: Avião caça quebrando a “barreira do som”

Fonte: HARADA (2016)

Quando a aeronave está viajando a uma velocidade maior do que as ondas de pressão, as ondas formam um padrão que se assemelha a um cone, que é idealizado na figura 11, e é denominado como “Cone de Mach”. Estas ondas deixadas para trás vão sofrer interferência entre si em alguns pontos, que estão ilustrado na figura 11 por uma linha tracejada. Estas ondas de choque também são intensas, porém não tão fortes quanto a explicitada na figura 9, que ficam concentradas em um único ponto.

Figura 11: Ondas de choque formada pelo avião ao quebrar a barreira do som.

Fonte: HEWITT (2015).

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

Este fenômeno acontece de maneira visível quando um inseto se move na superfície da água, e dependendo de sua velocidade ele forma “rastros” na água, representados pelos tracejados na figura 12

Figura 12: Ondas de choque formada por um inseto ao se mover na superfície da água.

Fonte: HEWITT (2015).

Percebe-se, que quanto maior a velocidade da aeronave, mais estreito é o cone formado pelas ondas de choque. Quando o avião “quebra a barreira do som”, é possível ouvir um estrondo sônico que por muitas vezes se compara com um estrondo de uma explosão, esse efeito é fruto das ondas de choques.

Não se escuta um estrondo sônico originado por uma aeronave mais lenta do que o som, ou subsônica, porque as ondas sonoras que chegam aos nossos ouvidos são percebidas como um som contínuo. Somente quando a nave se mover mais rapidamente do que o som é que ocorrerá a superposição das ondas que alcançarão nossos ouvidos como um único estouro. O súbito aumento da pressão causa praticamente o mesmo efeito que a rápida expansão do ar durante uma explosão. Ambos os processos emitem um estouro de ar comprimido para o ouvinte [...] (HEWITT, 2015, p. 368).

Muitos pensam que o estrondo sônico é sentido somente quando o avião está viajando com velocidade acima da barreira do som, no entanto, não é o que acontece. “A realidade é que uma onda de choque e o estrondo sônico dela resultante estão continuamente varrendo as regiões acima e abaixo da aeronave que se desloca com rapidez maior do que a do som” (HEWITT, 2015 p. 369). Um exemplo disso pode ser visto na figura 13, onde destaca três receptores que vão ouvir o estrondo sônico produzido pela aeronave, o receptor do ponto C já escutou o estrondo sônico e mesmo se a fonte parar de se mover com velocidade acima de Mach 1, os ouvintes B e A ainda o ouvirão.

Figura 13: Ouvintes recebendo uma onda de choque

Fonte: HEWITT (2015).

APLICAÇÃO DO EFEITO DOPPLER PARA A EXPLICAÇÃO DA EXPANSÃO DO UNIVERSO

Um dos problemas mais pertinentes do século XX, era a ideia de que o universo fosse perfeito e estático. Porém com o avanço da tecnologia os cientistas começaram a estudar as nebulosas e acreditava-se que elas fossem “universos ilhas” e estavam muito distantes do sistema solar, mas ainda faziam parte da nossa via láctea (HAWKING, 2015). Atualmente sabe-se que as nebulosas consistem em uma nuvem de gás que é ionizado a partir de partículas energéticas, vindas de um conjunto de estrelas vizinhas quentes (CCVALG, 2012).

Em 1912 Slipher, um cientista norte-americano, mediu os espectros de luz vindos de quatro nebulosas e verificou que três apresentavam seu aspecto para o extremo vermelho, em 1914, repetiu as medições, dessa vez com 12 nebulosas e o resultado foi que onze apresentavam desvio para o vermelho (HAWKING, 2016). Isto implica dizer que estas nebulosas com espectro avermelhado estão se movendo em relação a nós. Pois a luz é uma onda eletromagnética, portanto também sofre variação de frequência com modificação nas velocidades da fonte ou receptor, conforme a prerrogativa do efeito Doppler. De modo geral, uma luz visível com frequência baixa tem tonalidade avermelhada, enquanto que uma fonte luminosa visível de alta frequência tem espectro voltado para o violeta. Em síntese, estas nebulosas teriam essa coloração pois o afastamento delas, em relação a nós, resultou em uma frequência recebida menor do que a emitida.

Hubble ficou curioso sobre esse aspecto que desenvolvia uma coloração voltada para o vermelho que o físico Slipher havia verificado, e começa a estudar as nebulosas, que eram as

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

chamadas estranhas nuvens difusas de luz, Figura 14. Em 1923 Hubble inicia uma série de observações sobre a nebulosa Andrômeda e chega à uma conclusão: Andrômeda estava muito distante para pertencer a nossa galáxia, era outra galáxia, semelhante a via láctea (HAWKING, 2015).

Figura 14: Nebulosa de águia

Fonte: CCVALG (2012)

A partir disto Hubble formulou sua equação, para as galáxias que estão se deslocando. Ao observar os aspectos de luz, percebeu que quanto maior é sua distância mais rápida ela está se afastando, ou seja, a velocidade é diretamente proporcional a sua distância, equação (8).

$$V = H \cdot R \quad (8)$$

Onde V é velocidade de afastamento entre as galáxias, R é a distância da terra em relação à galáxia estudada, e H é a constante de Hubble, estabelecendo a taxa de expansão e ligada a idade do universo (HAWKING, 2016).

Deste modo os cientistas descobriram que as galáxias estão se afastando entre si, o universo está se esticando e as estrelas e galáxias estão se expandindo pelo universo, esta confirmação só foi possível a partir do conhecimento do efeito Doppler. Assim, Hubble anunciou para o meio acadêmico e para o mundo que o universo está em expansão, destruindo a ideia de que fosse estático.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descrição do efeito Doppler foi de intrínseca importância para descobertas valiosas que implicaram no desenvolvimento de áreas distintas, tanto no âmbito do estudo de ondas

mecânicas, como em ondas eletromagnéticas. Como foi visto, através do conhecimento deste fenômeno é possível obter informações valiosas sobre os corpos estudados, como velocidade e distância. Além de poder ter uma breve ideia das consequências do que acontece quando os corpos atingem velocidades próximas ou maiores do que a de propagação da onda estudada.

Deste modo, é excepcional que se faça uso da condesação destas informações no Ensino de Física, visando um aperfeiçoamento no ensino-aprendizado do aluno. Pois o Efeito Doppler contém ímpares aplicações que podem ser explanadas a fim de instigar a curiosidade discente. Além de poder ser facilmente demonstrado com uso de TICs de uma forma simples e interativa. Deste modo é evidente que tal abordagem auxilie de forma significativa na compreensão do discente sobre o fenômeno evidenciado, e o faz ter uma visão complementada do efeito e de suas aplicações.

REFERÊNCIAS

CCVALG, Núcleo de Astronomia Centro de Ciência Viva do Algarve. **Nebulosas de emissão**. Jul, 2012 Disponível em: http://www.ccvalg.pt/astronomia/nebulosas/nebulosas_emissao.htm. Acesso em: 03 fev. 2020.

FERNANDES, A. C. P. et al. Efeito Doppler com tablet e smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, 2016.

HARADA, E. **Entenda o que é a barreira do som e como funcionam os aviões supersônicos**. 01 fev 2016. [tecmundo.com](http://www.tecmundo.com). Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/ciencia/94825-entenda-barreira-som-funcionam-avioes-supersonicos.htm>>. Acesso em: 05 nov 2019.

HAWKING, S. **O universo numa casca de noz**. Rio de Janeiro: Intrínseca. 2016.

HAWKING, S. **Uma breve história do tempo**. Rio de Janeiro: Intrínseca. 2015.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12º. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

INMETRO. Portaria Inmetro nº 544, de 12 de dezembro de 2014. Estabelece a regulamentação metrológica. Rio de Janeiro, 12 dez. 2014. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002192.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

NASCIMENTO, Marcílio da Silva. **Efeito doppler no ensino médio: uma sequência de ensino de ondulatória com prática, uso de tics e metodologia ativa**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física)- Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense. Volta Redonda, p. 120. 2019.

ANÁLISE DO EFEITO DOPPLER E SUA APLICAÇÃO NA VELOCIDADE

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica, Fluidos Oscilações e Ondas Calor**. 4°. ed. São Paulo: Edgard Blucher, v. 2, 2002.

WANDERLEY, D. S. **A quebra da barreira do som**. Monografia (Engenharia Eletrônica e de Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, p.54. 2010.