



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA- CCT
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

KAROLINA SALES PEREIRA

**BURACOS NEGROS: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA ALUNOS
DO ENSINO MÉDIO**

**CAMPINA GRANDE
2022**

**BURACOS NEGROS: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA ALUNOS
DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientadora: Prof^a. Dra. Raissa Maria Pimentel Neves

**CAMPINA GRANDE
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

P436b Pereira, Karolina Sales.
Buracos negros [manuscrito] : uma proposta didática para alunos do ensino médio / Karolina Sales Pereira. - 2022.

49 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2022.

"Orientação : Profa. Dra. Raissa Maria Pimentel Neves , Coordenação do Curso de Física - CCT."

1. Física moderna. 2. Ensino médio. 3. Buracos negros. 4. Ensino de Física. I. Título

21. ed. CDD 530.7

KAROLINA SALES PEREIRA

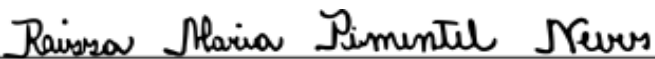
**BURACOS NEGROS: UMA PROPOSTA
DIDÁTICA PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Licenciatura em Física da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Graduado
em Física.

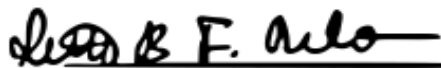
Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em: 28 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Raissa Maria Pimentel Neves –
Orientadora Universidade Estadual da Paraíba
(UEPB)



Profa. Dra. Ruth Brito de Figueiredo Melo – Membro
Interno Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Documento assinado digitalmente



EMILIO DE LUCENA SILVA

Data: 05/12/2022 22:48:27-0300

Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Ms. Emílio de Lucena Silva – Membro
Externo Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Dedico à Deus pelo dom
da vida, e à minha
família por todo apoio
nessa
Caminhada.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	O ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DOS PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS	6
	2.1 Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	7
3	INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA	8
	3.1 Espectro de radiação eletromagnética	8
	3.2 Corpo negro e radiação da cavidade	9
	3.3 Radiação de Corpo negro	10
	3.4 Leis associadas a radiação de um corpo negro	10
	3.4.1 Lei de Stefan-Boltzman	10
	3.4.2 Lei de deslocamento de Wien	11
	3.4.3 Lei de Rayleigh-Jeans e a catástrofe do ultravioleta	12
	3.4.4 Solução de Planck para catástrofe ultravioleta	13
4	BURACOS NEGROS	13
	4.1 Uma breve história sobre o estudo dos Buracos Negros	13
	4.2 Formação Estrelar	14
	4.3 Formação dos Buracos Negros	15
	4.4 A Estrutura de um Buraco Negro	16
	4.5 Classificação dos Buracos Negros	17
5	METODOLOGIA	17
6	CONCLUSÃO	18
	REFERÊNCIAS	19
	APÊNDICE A - SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS	21

BURACOS NEGROS: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

KAROLINA SALES PEREIRA*

RESUMO

O presente trabalho procura justificar a inserção do tema Buracos Negros nos conteúdos de física moderna e contemporânea no ensino médio, trazendo uma construção de sequências didáticas que promova o ensino de Buracos Negros de forma facilitada, com coerência e de maneira significativa para alunos do terceiro ano do Ensino Médio. O artigo sugere a aplicação de aulas práticas, com a execução de experimentos, simuladores e jogos que venha a facilitar à construção do conhecimento. Este método proporciona uma melhor compreensão de fenômenos físicos como o Buraco Negro, minimizando assim as dificuldades de ensino-aprendizado.

Palavras-chave: física moderna e contemporânea; buracos negros; ensino médio.

ABSTRACT

The present work seeks to justify the insertion of the Black Holes theme in the contents of modern and contemporary physics in high school, bringing a construction of didactic sequences that promote the teaching of Black Holes in an easy, coherent and meaningful way for third year students. from high school. The article suggests the application of practical classes, with the execution of experiments, simulators and games that will facilitate the construction of knowledge. This method provides a better understanding of physical phenomena such as the Black Hole, thus minimizing teaching-learning difficulties.

Keywords: modern and contemporary physics. black holes. high school.

* Karolina Sales Pereira. E-mail: karol_sales23@outlook.com

1 INTRODUÇÃO

Este artigo visa pautar a importância da inserção da Física moderna e Contemporânea(FMC) no ensino médio, uma vez que é através dessa área de ensino que podemos compreender diversos fenômenos existentes no nosso universo, e também no nosso cotidiano como as tecnologias que estão a cada dia mais avançadas.

O ensino de física nas escolas enfrenta diversas dificuldades, e uma dessas é a falta de interesse dos estudantes por verem a física como uma disciplina muito difícil. Isso ocorre pela seleção de conteúdos que restringe a Física escolar ao ensino da Física Clássica, combinado com uma abordagem tradicional, contribuindo para que o aluno tenha a percepção de que a Física é um conhecimento antigo sem relação com a realidade, o que poderá desestimulá-lo do estudo.

Pinto e Zanetic (1999), afirmam que é importante modificar a forma de ensinar Física, é preciso considerar o desenvolvimento da Física Moderna, não apenas como algo curioso, mas, como a Física que explica fenômenos que a Física Clássica não consegue explicar, e estabelecer uma nova visão para esse tema.

Mesmo a FMC já estando presente nos currículos escolares oficiais do ensino médio, como no PCN+ (BRASIL, 2002), existe ainda uma dificuldade grande em inseri-la na sala de aula. Sales et al. (2008) ressalta a dificuldade de discussão sobre um projeto político-pedagógico para uma proposta de ensino de FMC, assim como o despreparo dos professores para abordarem de tal conteúdo em sala de aula.

Buracos negros(BNs) é um tema que está ganhando cada vez mais visibilidade e curiosidade nas redes sociais devido às novas descobertas e imagens realizadas pelo EHT(*Event Horizon Telescope*). Partido desse pressuposto o professor pode usar isso a seu favor e despertar o interesse do aluno sobre o tema. Uma estratégia de ensino é criar uma discussão com os alunos sobre como ocorre o funcionamento do EHT, e em seguida partir para explicação sobre o que são os Buracos Negros.

Diante do exposto, esse trabalho tem por objetivo sugerir uma proposta didática para abordagem dos BNs no ensino médio. Foram elaboradas sequências didáticas com utilização de experimentos, Tecnologias da Informação e Comunicação(TICs), jogos educacionais, simuladores para facilitar o entendimento do estudante, e desenvolver uma aprendizagem significativa.

Com isso iremos abordar inicialmente temas que são necessários para que haja o entendimento dos BNs que são respectivamente Gravidade, Ondas e Radiação Eletromagnética, Radiação do Corpo Negro, Formação Estelar e por fim, Buracos Negros.

1

2 O ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA DOS PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS

¹ EHT (Event Horizon Telescope) criado em 2006, é um projeto desenvolvido por uma rede global de radiotelescópios, que combina dados de interferometria, para melhor entender como se comportam e influem no espaço os buracos negros.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN's) referem-se a criar uma nova visão da física que vai além da matemática, uma física que esteja presente no nosso cotidiano, e que contribua na formação de um cidadão ativo, pensante.

Sendo assim, a física deve-se apresentar para os alunos de forma que permitam perceber e lidar com fenômenos naturais e tecnológicos, que estão presentes no nosso dia a dia e também na compreensão de fenômenos que ocorrem no nosso universo.

Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o Ensino de Física na Escola Média contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. (BRASIL, 1999, p. 18).

2.1 Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

A Física Moderna e Contemporânea (FMC) está cada vez mais presente no nosso dia a dia, é através dessa física que podemos compreender o funcionamento de celulares, leitores de códigos de barra, lasers, microprocessadores e etc. Fenômenos esses que a Física Clássica (FC), não consegue explicar, por isso observamos a importância do estudo da FMC no ensino médio (EM).

No currículos escolares do EM já encontramos a FMC presente, contudo existe certa dificuldade de implementá-la, e um dos motivos é a falta de formação do professor para trabalhar esse conteúdo em sala de aula, como ressalta Menezes (2000):

É claro que precisa ser cautelosa a sinalização para a inclusão desses novos conteúdos, seja pelos desafios didáticos que implica, encontrando professores despreparados e os textos escolares desguarnecidos, seja porque as próprias universidades, ainda por algum tempo, continuarão a solicitar os velhos conteúdos em seus vestibulares. Será preciso algum tempo para que a mensagem seja, primeiro, compreendida e, mais tarde, aceita (MENEZES, 2000, p. 7).

Mesmo com sua implementação nos currículos do EM, percebe-se que a FMC é apresentada de maneira muito superficial, apenas com teorias iniciais, e muitas vezes tratada apenas como uma curiosidade sobre os temas, e não como um conteúdo que tenha relevância e importância no nosso cotidiano.

Por isso, é importante que essa temática seja abordada em sala de aula, como são previstas nos parâmetros curriculares nacionais:

Os parâmetros curriculares nacionais (PCN) preveem a inserção de tópicos de Astronomia e Física Moderna no currículo de Física do Ensino Médio. Os PCNs sugerem a organização de conteúdos através de temas estruturadores, para promover a articulação entre habilidades, competências e conhecimentos a serem trabalhados. Tal organização pode auxiliar na superação de ações didáticas centradas em tópicos disciplinares, ou ainda, lista de conteúdo. Aliar tal organização de conteúdo com uma abordagem do ensino de Física a partir de tópicos de Astronomia e Física Moderna pode contribuir no desenvolvimento

de competências relacionadas à contextualização sociocultural, como propõe os próprios documentos oficiais. (MARRANGHELLO E PAVANI, 2011. p.1)

Segundo Terrazzan (1992, p.210), a influência crescente dos conteúdos de FMC para a compreensão do mundo atual, bem como a inserção consciente e participante da sociedade, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola do ensino médio.

Para ser trabalhado a FMC em sala de aula é importante que sejam utilizadas atividades que despertem o interesse e a curiosidade dos alunos sobre os temas. Um tipo de abordagem é as atividades experimentais.

As novas diretrizes da BNCC(Base Nacional Comum Curricular) que determina que o ensino médio deve se explorar o ensino de forma crítica, enfatizando a importância de temas importantes tais como exploração do universo e novas tecnologias, que estão diretamente ligados a assuntos relacionados a FMC e fazem parte de discussões presentes no cotidiano dos alunos.

3 INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA

A teoria quântica surgiu no início do século XX, servindo como parâmetros para inúmeras mudanças em ramos da física e suas aplicações. Com isso, neste capítulo, apresentaremos a contextualização da teoria quântica de acordo como foi desenvolvida em relação à Radiação do Corpo Negro partindo do espectro de radiação eletromagnética e percorrendo a algumas teorias que resultaram na Lei de Planck.

3.1 Espectro de radiação eletromagnética

As ondas eletromagnéticas são classificadas de acordo com seus comprimentos de onda e frequência. Essa classificação é chamada de espectro de radiação eletromagnética. Este, apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região. Nas subdivisões encontra-se o tipo de processo físico que dá origem a energia eletromagnética.

O espectro eletromagnético é composto de todas as variedades de radiação, se estende desde comprimentos de ondas muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de baixa frequência e grandes comprimentos de onda. A luz visível está, aproximadamente, no meio do espectro. Como podemos observar na figura 1.

Figura 1: Espectro de radiação eletromagnética.



Fonte: USP, 2017.

Podemos observar na figura as seguintes regiões no espectro:

- Raios Gama: é formada por ondas eletromagnéticas emitidas por núcleos instáveis que buscam diminuir sua energia. São ondas eletromagnéticas ionizantes. E por possuírem alta energia, tem grandes aplicações na medicina.
- Raios X: assim como os raios gama, são ondas eletromagnéticas ionizantes. E são produzidas através do freamento de elétrons de grande energia eletromagnética. Possuem médio poder de penetração e são utilizados para realização de exames raio x.
- Ultra-violeta(UV): parte da luz solar que chega à Terra é radiação ultravioleta. São responsáveis pela presença da ionosfera, pois possuem energia suficiente para ionizar os átomos da atmosfera. Seu poder de penetração a torna nociva, aos seres vivo.
- Luz Visível: é o conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser detectadas pela visão humana. A sensação de cor que é produzida pela luz está associada a diferentes comprimentos de ondas. O sol é uma fonte natural de luz visível.
- Infravermelho: é a região do espectro que se estende a 0,7 a 1000 μm . Todos os corpos quentes irradiam ondas eletromagnéticas na região infravermelho como os aquecedores elétricos, carvão em brasa.
- Micro-ondas: são geradas nos circuitos elétricos em algumas transições entre níveis energéticos próximos dos átomos, e se estendem pela região do espectro de 1mm até cerca de 1m. São utilizadas em sinais telefônicos, televisão.
- Rádio: é o conjunto de energias de frequência menor que 300MHz, e são produzidas em circuitos elétricos. Estas ondas são utilizadas em telecomunicações e radiodifusão.

3.2 Corpo negro e radiação da cavidade

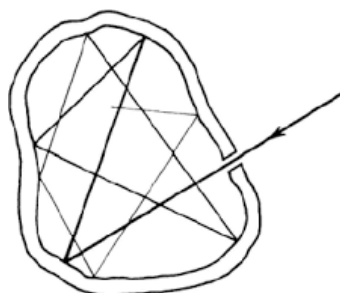
Podemos definir corpo negro, como sendo um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele, independente do comprimento de onda ou direção de incidência, e assim conseqüentemente, nenhuma parte da radiação incidente será refletida ou transmitida.

Um exemplo de um corpo “quase” negro seria utilizar um objeto coberto por uma camada de pigmento preto. Independentemente da sua composição verificava-se que todos os corpos negros à mesma temperatura emitiam radiação térmica com o mesmo espectro. Este fenômeno foi entendido por envolver equilíbrios termodinâmicos. O sol também pode ser considerado um corpo negro pois a radiação produzida em seu interior é expelida para o universo e conseqüentemente aquece o nosso planeta.

Na figura 2, podemos perceber que toda radiação externa que penetra

pelo orifício será integralmente absorvida pelas paredes internas da cavidade após sofrer várias reflexões, pois o orifício de entrada é pequeníssimo, culminando na dificuldade do escape de seu interior.

Figura 2: Representação de um corpo negro ideal.



Fonte: Eisberg e Resnick (2001, p. 22)

3.3 Radiação de Corpo negro

Um corpo em qualquer temperatura irá emitir radiações eletromagnéticas. A temperatura corresponde a uma agitação das moléculas que mudam de direção constantemente. Devido as cargas elétricas existentes nas moléculas, qualquer corpo é capaz de emitir radiação, sendo chamada de radiação térmica.

Utilizando a figura 2 como exemplo, considere agora que a cavidade está a uma temperatura T e, portanto, emite radiação térmica que é absorvida e emitida pelas paredes internas e, eventualmente sai pelo orifício. O orifício tem propriedades de um corpo negro, portanto, a radiação que sai por ele tem propriedades de radiação de corpo negro, mas, já que ela é meramente uma amostra da radiação que existe dentro da cavidade, podemos dizer que a radiação dentro da cavidade tem propriedades de radiação de corpo negro.

3.4 Leis associadas a radiação de um corpo negro

3.4.1 Lei de Stefan-Boltzmann

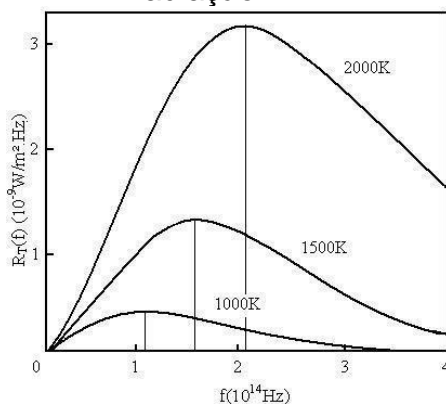
Como podemos observar na Figura 3, a radiação espectral observada prolonga-se rapidamente com o aumento da temperatura. Este resultado foi proposto em 1879 por Josef Stefan, que levou em consideração a definição de corpo negro declarada por Kirchoff¹, assim desenvolveu a lei que determinava a energia total irradiada (R_{total}) por unidade de área superficial de um corpo negro sendo diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura.¹

Essa lei é dada pela seguinte equação:

$$R_{total} = \sigma T^4 \quad (1)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ chamada constante de Stefan-Boltzmann.

Figura 3: Radiança espectral de um corpo negro em função da frequência da Radiação.



Fonte: Eisberg e Resnick (2001, p. 21)

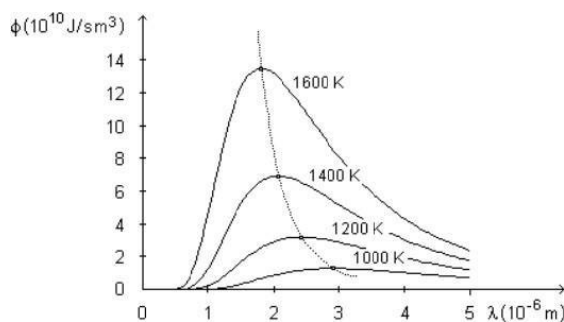
Em 1884, Ludwig Boltzmann, ao analisar teoricamente a lei proposta por Stefan, observou que o espectro irá deslocar para maiores frequências na medida que a temperatura T aumenta. Como visto na figura 3.

¹¹ Kirchoff foi um físico alemão, e suas principais contribuições científicas foram nos ramos da espectroscopia e na radiação do corpo negro.

3.4.2 Lei de deslocamento de Wien

Em 1893, o físico alemão, Wihelm Wien, propôs a lei de descolamento de Wien que define a frequência máxima irradiada por um corpo negro a uma dada temperatura. Com ela é possível estimar a temperatura de uma fonte a partir do seu conhecimento de espectro de emissão.

Figura 4: Intensidade da radiação do corpo negro em função do comprimento de onda em diferentes temperaturas.



Fonte: UFSM, 2010.

A figura 5, é a representação gráfica da lei de Wien, observa-se que o pico de distribuição dos comprimentos de onda se desloca para os comprimentos de ondas menores à medida que a temperatura se eleva. O deslocamento irá

obedecer a seguinte relação:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} \cdot m \cdot K \quad (2)$$

3.4.3 Lei de Rayleigh-Jeans e a catástrofe do ultravioleta

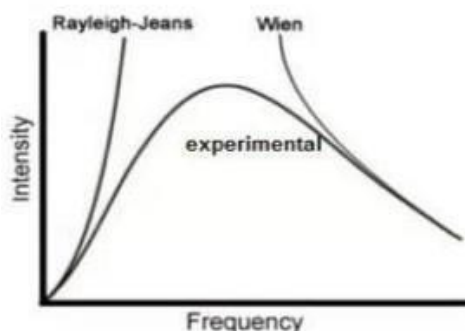
No final do século XX, Rayleigh e Jeans, obtiveram o cálculo da densidade de energia da radiação de cavidade ou de um corpo negro, o que mostrou uma grandedivergência entre a física clássica e os resultados experimentais.

A previsão clássica para a radiancia é a lei de Rayleigh- Jeans:

$$R(\lambda) = \frac{c}{4} \frac{8\pi}{\lambda^4} K_B T \quad (3)$$

onde K_B é a constante de Stefan-Boltzmann e c a velocidade da luz.

Figura 5: Comparação da radiação do corpo negro para Rayleigh-Jeans e Wien.



Fonte: Guimarães(2018, p.28).

Na figura 5 acima, podemos observar a comparação entre a teoria clássica de Rayleigh-Jeans em relação a experimentação. Percebemos que a equação de Wien se ajusta para altas frequências e a lei de Rayleigh para baixas frequências.

Diante disto Wien, de maneira empírica, elaborou uma equação que adaptava uma proporcionalidade entre frequência e temperatura absoluta, quando o corpo negro emite radiação de intensidade máxima. A discordância surge, quando a equação é utilizada para descrever raios ultravioletas, pois a emissão tende para o infinito, e isso não estava correto. Logo essa discrepância foi denominada como Catástrofe da ultravioleta.

Para melhor compreensão, a catástrofe da ultravioleta é uma falha da teoria clássica do eletromagnetismo para explicar a emissão eletromagnética de um corpo em equilíbrio térmico com o ambiente, ou um corpo negro.

De acordo com as previsões do eletromagnetismo clássico, um corpo negro ideal em equilíbrio térmico deve emitir uma certa quantidade de energia em cada frequência. Quando se calcula a quantidade total de energia emitida de acordo

com a teoria clássica, observa-se que para comprimentos de onda maiores a teoria clássica concorda com a observação experimental, mas para comprimentos de ondas menores a intensidade da radiação emitida tende ao infinito, que não concorda com os experimentos. Deve-se, então, uma das primeiras indicações de que existiam questões que não a física clássica não consegue explicar. A solução para este problema levou ao desenvolvimento das primeiras formas de física quântica.

3.4.5 Solução de Planck para catástrofe ultravioleta

Em 1900, o físico alemão Max Planck, apresentou sua solução para este problema. Planck postulou que, na superfície do corpo negro, existem cargas elétricas oscilantes que emitem energia radiante não de modo contínuo, como é dito pela física clássica, mas em porções descontínuas, "partículas" que transportam, cada qual, uma quantidade de energia E .

Essas partículas foram denominadas fótons. E sua energia E de cada fóton é denominada quantum.

O quantum E de energia radiante de frequência f é dado por:

$$E = h \cdot f \quad (4)$$

onde, h é conhecida por constante de Planck e seu valor é dado por:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Desse modo, ele conseguiu provar de forma teórica e experimental a radiação do corpo negro. A descoberta dos quanta de energia promoveu um avanço na Física e permitiu explicar diversos problemas na física.

4 BURACOS NEGROS

4.1 Uma breve história sobre o estudo dos Buracos Negros

Desde o século XVIII, a ideia sobre os buracos negros já existiam entre os cientistas. Em 1783, John Mitchel, propôs que, uma estrela com massa suficientemente compacta poderia ter um campo gravitacional tão intenso que a luz não poderia escapar. Qualquer luz emitida pela superfície da estrela seria puxada de volta por uma atração gravitacional antes que conseguisse se afastar.

Sendo assim, Buracos negros são corpos tão massivos e densos que nada consegue escapar de dentro dele, nem mesmo a luz.

O termo Buraco negro surgiu com o cientista John Wheeler:

A expressão buraco negro foi adotada em 1969 pelo cientista americano John Wheeler (WHEELER, 1969), como descrição gráfica de uma ideia que, retrocedendo pelo menos 200 anos, chega a um tempo em que haviam duas teorias sobre a luz: segundo Isaac Newton, a luz era composta por partículas; a outra dizendo que a luz se formava por ondas. Segundo a dualidade onda/partícula da mecânica quântica, as duas teorias estão corretas, sendo que, a luz pode ser considerada tanto onda como partícula. Segundo a teoria

de que a luz é formada por ondas, não fica estabelecido o fato de ela responder à gravidade. Mas se a luz é composta por partículas, pode-se esperar que ela seja afetada pela gravidade". FRANCHI et al. (2013, p.1)

Entretanto, a teoria de Newton sobre a gravidade e a luz não poderia ser aplicada aos buracos negros. No século XX, Albert Einstein, propôs a teoria da relatividade geral que justifica como a gravidade atua sobre a luz.

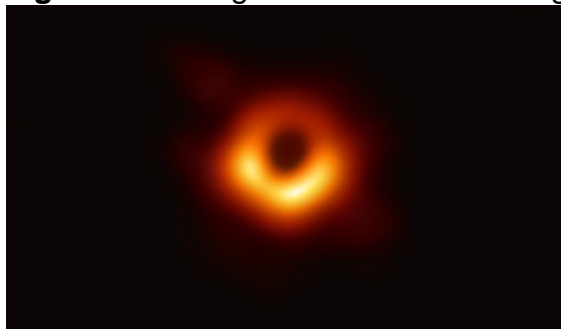
Em 1915, Karl Schwarzschild, foi reconhecido por muitos cientistas como o primeiro cientista a conseguir uma solução que previa a existência dos buracos negros, dos horizontes de eventos e raio de Schwarzschild. Posteriormente muitos cientistas tentaram resolver as equações de Schwarzschild, e aprofundar os conhecimentos sobre os estudos dos elementos dos Buracos negros.

Sendo cada vez mais explorado os conhecimentos sobre os buracos negros, e buscando cada vez mais sua comprovação, os equipamentos utilizados para que consiga ser detectado o buraco negro teria que ser bem avançado.

Em 2019, o telescópio do horizonte de eventos EHT (*Event Horizon Telescope*), após uma década de tentativas, conseguiu mostrar a imagem de um Buraco Negro. Sendo um grande avanço no estudos dos buracos negros.

A imagem acima, se refere a primeira imagem obtida de um Buraco Negro que possui cerca de 6,4 bilhões de vezes a massa do Sol, e está localizada no centro da galáxia M87. Essa imagem fornece a evidência mais forte da existência dos Buracos Negros Supermassivos e é um grande avanço em seus estudos.

Figura 7: A imagem de um Buraco Negro



Fonte: Nasa, 2019.

4.2 Formação Estelar

A formação estelar é o processo pelo qual uma nuvem escura e fria de gás e poeira é transformada em uma estrela. Diversas regiões da via láctea estão cheias de nuvens frias de gás, devido essas baixas temperaturas ocorre a agregação da matéria, gerando um campo gravitacional e aumentando a temperatura do núcleo.

Quando uma dessas nuvens se contrai, ela esquenta e tende a se tornar esférica. O aquecimento, no entanto, produz pressão no gás que neutraliza a contração e, eventualmente, a contração pode ocorrer se a gravidade e a pressão do gás se equilibrarem.

Se a nuvem estiver quente o suficiente para iniciar as reações de fusão termonuclear no centro, ela poderá se sustentar contra sua própria gravidade por

um longo tempo. Essa nuvem é então chamada de estrela.

Peruzzo, Potker e do Prado afirmam que:

“Chega um momento em que o núcleo atinge uma determinada densidade que faz com que ele consiga suportar a pressão exercida pelas camadas mais externas, sem necessidade de continuar se contraindo. Neste momento em que ocorre o equilíbrio, nasce uma protoestrela” (PERUZZO, POTKER, PRADO, 2014, p.294).

A formação estelar pode ser originada de duas formas. No primeiro caso, quando a estrela é considerada pequena e tem uma massa próxima da do Sol, eventualmente irá agregar toda matéria que está em volta, em seu alcance gravitacional, e os processos de fusão nuclear irão emitir ondas eletromagnéticas dentro do espectro visível.

No caso das estrelas, cuja massa é pelo menos cinco vezes maior que a massa do Sol, elas evoluem de maneira diferente. O núcleo fica muito quente e brilhante muito antes da matéria ao seu redor realmente estabilizar, pois já existe o processo inicial de fusão nuclear acontecendo e é neste momento em que nasce uma estrela.

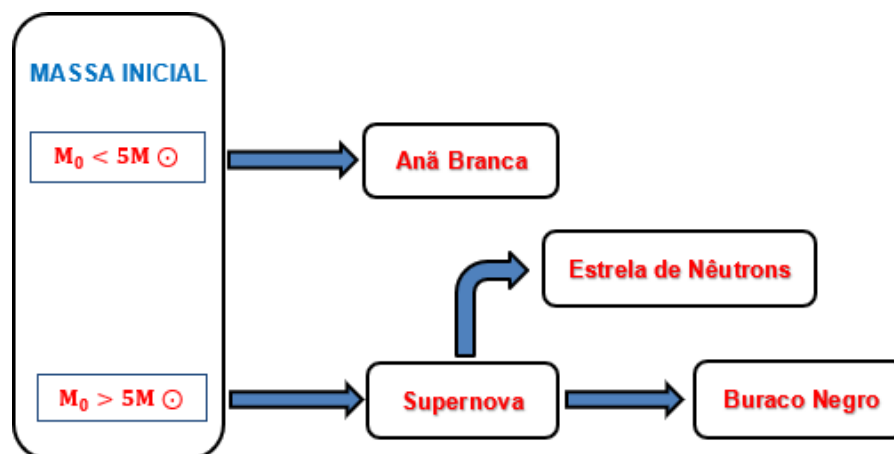
Podem existir inúmeras regiões de formação estelar em uma galáxia, sendo preenchidas por nuvens de gás e poeiras. Essas regiões são chamadas de berçários de estrelas.

4.3 Formação dos Buracos Negros

Para que exista a formação de buracos negros é necessário que a matéria seja muito compacta. As estrelas são mantidas por reações de fusão nuclear, ou seja, fundem o hidrogênio em hélio em seus núcleos, processo no qual elas perdem uma determinada quantidade de massa, que se converte em enorme quantidade de energia.

Com o tempo, esse combustível acaba, e as estrelas morrem. Antes disso ocorrer, o equilíbrio favorece a gravidade, e o núcleo começa a entrar em colapso. Algumas estrelas, cuja massa é igual ou menor que o nosso Sol, terminam sua evolução como anãs brancas. Mas, em estrelas maiores com massa superior a 5 sóis, a probabilidade é que a sua morte cause um colapso gravitacional, explodindo em uma supernova e formando um buraco negro. O organograma abaixo ilustrará a relação entre as massas iniciais das estrelas e seus destinos finais:

Figura 9: Esquema simplificado da formação dos buracos negros.

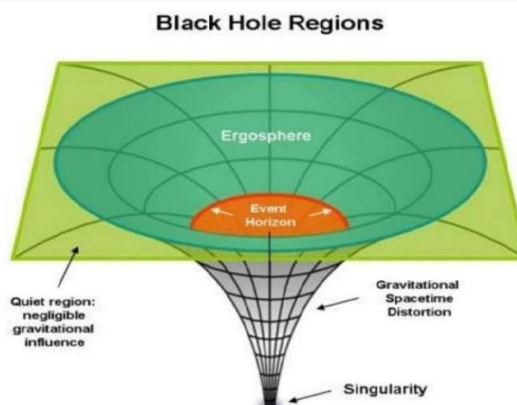


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

4.4 A Estrutura de um Buraco Negro

Os buracos negros possuem um campo gravitacional tão intenso que nem mesmo a luz consegue escapar dele. Por isso sua “aparência” escura, e mesmo após inúmeras pesquisas não é possível dizer o que acontece com elementos que são atraídos para dentro dele. Os cientistas estruturam os Buracos negros em horizonte de eventos, singularidade e ergosfera. Podemos observar na figura 4 sua estrutura.

Figura 10: Regiões de um buraco negro.



Fonte: Astronomy source, 2011.

A ergosfera é a combinação da deformação do espaço-tempo e da rotação de um buraco negro, ficando próximo da curva gravitacional. O horizonte de eventos é conhecido como ponto de não retorno. Quando qualquer objeto chega próximo a ele, o mesmo não consegue mais escapar do Buraco negro. De modo que, podemos dizer que o horizonte de eventos é o limiar da separação de uma região que ainda exista a possibilidade de escapar do buraco negro, podemos calcular essa fronteira através do raio de Schwarzschild.

O ponto central de um buraco negro é a singularidade. Nela encontra-se a massa total da estrela que entrou em colapso, juntamente com a massa de

todos os corpos que foram sugados pelo seu campo gravitacional. É conhecida pelos astrônomos como um local que possui massa infinita em volume zero, em que todo objeto que se torna um Buraco negro precisa colapsar de acordo com a teoria da relatividade geral.

4.5 Classificação dos Buracos Negros

Os buracos negros são classificados de acordo com sua massa e, nessa classificação teremos os Buracos negros estelares, supermassivos e de massa intermediária.

Os Buracos negros estelares são os mais simples, e seu surgimento ocorre pelo colapso gravitacional de uma estrela cuja massa de aproximadamente $10M_{\odot}$ ao final do seu tempo de vida, esse processo é observado como uma explosão de supernova. Esses tipos de buracos negros geralmente estão localizados em sistemas binários.

Os buracos negros supermassivos é encontrado no centro das galáxias, e possuem de milhões a dezenas de massas solares. Estimativas atuais, obtidas através de observações indicam que os primeiros Buracos negros supermassivos se formaram quando o universo tinha menos de 1 bilhão de anos de idade.

Segundo, Bergmann:

“Os buracos Negros Supermassivos podem ter sido originados do colapso gravitacional de imensas nuvens de gás ou de aglomerados de milhões de estrelas no centro de galáxias, que se formaram quando o universo era mais jovem e mais denso.”

Os buracos negros de massa intermediária são os mais enigmáticos para os cientistas, pois pouco se sabe sobre ele e sua formação. Há alguns estudos que mostram que estes buracos negros presentes no núcleo de aglomerados globulares de estrelas. Este é o caso do Aglomerado Globular Omega Centauri, as quais são muito luminosas para serem originadas em buracos negros estelares, mas pouco luminosas para serem originadas em buracos negros supermassivos

5 METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa bibliográfica que teve como objetivo desenvolver uma proposta metodológica para a inserção do tema Buracos Negros no ensino médio. A justificativa para este vínculo está no fato do tema ser multidisciplinar e interdisciplinar e a sua compreensão dependerá dos pré-requisitos que os alunos possuam. Esta destina-se a auxiliar professores de física que desejem ensinar conceitos de Buracos Negros através de um viés mais flexível e menos matematizado.

A previsão para execução será de cinco encontros, cada encontro com duração máxima de cinquenta minutos. Sendo assim, foi elaborada uma proposta didática para que haja uma construção significativa do conteúdo, para ser utilizada em turmas do terceiro ano do ensino médio. A proposta para a introdução do ensino de Buracos Negros no ensino médio, consiste numa

sequência didática que rompe com a forma tradicional das aulas, na medida em que os conceitos dos fenômenos a serem estudados serão tratados de forma coletiva e interativa, utilizando questionários, apresentação de vídeos e atividades experimentais que permitirão a construção de analogias entre os fenômenos estudados. No quadro abaixo, observamos o cronograma de como as aulas foram planejadas.

Quadro 1: Cronograma do planejamento das aulas.

AULA	CONTEÚDO	DESCRIÇÃO	PROCEDIMENTO
1	GRAVIDADE	Introdução à gravidade proposta por Isaac Newton, e à teoria da relatividade proposta por Albert Einstein.	Aula expositiva e dialogada, e ao final da aula será realizado experimento sobre o espaço-tempo.
2	ONDAS E RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	Definição de ondas e radiação eletromagnética, e quais os tipos.	Aula expositiva e dialogada, e ao final da explicação do conteúdo, os alunos responderam um quiz pela plataforma Kahoot.
3	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	Definição de um corpo negro, como ocorre a emissão da radiação.	Aula expositiva e dialogada, e para facilitar a compreensão será utilizado um simulador do corpo negro.
4	FORMAÇÃO ESTELAR	Como ocorre a formação das estrelas, quais os tipos e o que ocorre em seu destino final.	Aula expositiva e dialogada, e um simulador que mostra a formação de uma estrela.
5	BURACOS NEGROS	Como se formam, quais os tipos de buracos negros e suas principais características.	Aula expositiva e dialogada, e apresentação de um vídeo que ilustra um Buraco Negro supermassivo.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

6 CONCLUSÃO

Este artigo visa propor uma forma de realizar um estudo voltado para uma construção de conhecimento significativo para os estudantes de ensino médio, através da aplicação de sequências didáticas para a explicação dos Buracos Negros, utilizando de conhecimentos básicos da física moderna e astronomia.

As sequências didáticas foram construídas de forma que as aulas sejam dinâmicas e despertem o interesse do aluno, fugindo assim daquela abordagem tradicional que estão acostumados.

A física é muito importante para o desenvolvimento tecnológico, com isso

os professores devem abandonar o método tradicionalista, e adotar a metodologia apresentada nesse estudo, apresentando aos alunos uma nova forma de usar experimentos, simuladores e jogos online. Devemos utilizar a tecnologia ao nosso favor para facilitar a compreensão da temática, assim podendo mudar a forma como os alunos veem a Física, proporcionando uma aula mais dinâmica fugindo do monótono.

Ao aderir esse tipo de abordagem, conceitos abstratos como os da física moderna podem se tornar mais acessíveis e claro para os alunos, e deixar de serem vistos como conceito de uma teoria de difícil compreensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. R. **Tópicos de Astrofísica e Cosmologia: uma aplicação de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, 2010.

BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais**. Brasília, DF: MEC/SEF, 1999. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/introducao.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**, Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. **PCN+ - ENSINO MÉDIO. ORIENTAÇÕES EDUCACIONAIS COMPLEMENTARES AOS PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS**, 2002. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+ – Ensino Médio)**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação e dos Desportos -MEC; SEMTEC, Brasília – DF, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**, Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRANDT, J. C.; MARAN, S. P; **New horizons in Astronomy**: 2. Ed. San Francisco: W. H Freeman and Company, 1979. p. 279-529.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física moderna, origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro. Campus. Ed. Rio de Janeiro, 2001.

FERREIRA, ELVIS CAMILO. **Inclusão de Astrofísica e cosmologia no ensino médio: uma motivação ao estudo de ciências**. 2011.

FRANKOI, A.; MORRISON, D.; WOLFF, S.C.: **Astronomy**: 1 ed, 2013. p.805-875.

FILHO, S. O. K.; SARAIVA, M. F. O. S. **Astronomia e astrofísica**. 1. Ed.Porto Alegre. Departamento de Astronomia- Instituto de física, 2012.

OHANIAN, H. C; RUFFINI, R. **Gravitation and Spacetime**: 3 ed.Cambridge: Cambridge Press. 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física:ótica e física moderna**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2016

LLEWELLYN, R. A.; TIPLER, P. A. **Física Moderna**: 5 ed. Rio de Janeiro:LTC, 2013. p. 393-435.

MENEZES, L. C. **Uma Física para o Novo Ensino Médio**. Física naEscola, v. 1, n.1, p.7, out. 2000.

Marranghello, G. F. ; Pavani, D. B.; Torbes, L. . **O ano internacional da astronomia no município de Bagé: o projeto Astronomia para Todos**. CCNExt – Revista de Extensão, v. 2, p. 1-8, 2011.

NASA- National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/>> Acesso em 18 set. 2022.

OHANIAN, H. C.; RUFFINI, R. **Gravitation and Spacetime**: 3 ed.Cambridge: Cambridge Press. 2013.

PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; PRADO, T. G do.; **Física Moderna e Contemporânea: Das teorias quânticas às fronteiras da física**. v. 1 e 2. ed. São Paulo: Livraria da Física 2014.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; DENARDIN, J. C.; MAGNAGO, P. R. **Física Moderna**. Grupo de Ensino de Física. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. **É possível levar a física quântica para o ensino médio? Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 16, n. 1, p.7-34, 1999. Acesso em 18 out. 2022.

SALES, Gilvandenys Leite; VASCONCELOS, Francisco Herbert Lima;CASTRO FILHO, José Aires de; PEQUENO, Mauro Cavalcante. **Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico**.Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 30 (3), 2008.

TERRAZZAN, E. **A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º grau**. Cad.Cat.Ens.Fís., Florianópolis.v.9,n.3: p.209-214, 1992.

APÊNDICE A – SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

Entendendo o conceito de Gravidade – Albert Einstein

Objetivo Geral

- A partir das definições de conceitos, produzir aprendizagens referentes ao fenômeno da gravidade.

Objetivos específicos

- Desenvolver o conhecimento dos fenômenos físicos sem a utilização de conceitos matemáticos;
- Compreender o fenômeno da gravidade e as principais divergências na teoria de Isaac Newton e Albert Einstein;
- Compreender quais os efeitos da gravidade no buraco negro.

Justificativa:

Gravidade para Newton é entendida como uma força de atração entre corpos. A gravidade da Terra é a força que faz com que os objetos sejam atraídos para o centro do planeta. De acordo com a Teoria da Relatividade de Einstein, esse fenômeno acontece em consequência da curvatura formada no espaço-tempo do objeto.

A gravidade age sobre a massa de um corpo, portanto, quanto maior a massa de um objeto, maior é a gravidade sobre ele. Tomando a Terra como exemplo, como o planeta possui massa muito superior à de um ser humano e dos objetos presentes nela, estes são atraídos para o centro da Terra. Cada objeto tem um centro de gravidade, isto é, o ponto onde a força gravitacional é exercida.

A força gravitacional também é responsável pelo buraco negro. A maioria dos buracos negros surgem após a morte de uma estrela supermassiva, ou seja, que possui massa superior à do Sol. A força gravitacional existente na superfície de estrelas supermassivas é tão intensa que nem mesma a luz consegue escapar dela. Qualquer tipo de matéria que se aproxime de um buraco negro pode ser sugada pelo seu campo gravitacional.

Procedimentos Metodológicos:

As atividades da aula ocorrerão em dois momentos pedagógicos. O primeiro momento terá início com exposição de slides explicando o que é o fenômeno da gravidade, a parte história de como Isaac Newton começou a estudá-la. No segundo momento, irá ser abordado a gravidade de Einstein, teoria da relatividade restrita e geral, e quais as divergências existentes na teoria de Newton para a de Einstein. Nessa etapa o professor através do uso de um experimento irá formular algumas perguntas para observar o entendimento dos alunos sobre os conteúdos que foram trabalhados.

Tempo estimado para aula: 50 minutos.

Materiais utilizados:

- Computador (para slide), data show, malha quadriculada, esferas de massas diferentes.

Problematização:

- Experimento e Ilustração de imagens.

Perguntas-chave:

- O que nos mantém presos à Terra?
- Por que a maçã que Newton observou caiu e não subiu?
- Qual a diferença do espaço- tempo para Newton e Einstein?
- Como Einstein entende a gravidade?

Momento I**A GRAVITAÇÃO UNIVERSAL**

Desde cedo, o brilho e o movimento de corpos celestes desafiaram a curiosidade humana. Os antigos navegadores eram guiados pelos movimentos da lua e das estrelas. As crenças antigas, colocavam seus deuses no céu e explicavam os fenômenos observados como manifestações divinas.

Os filósofos gregos deram início ao estudo científico dos astros. São deles as primeiras explicações do sistema planetário. No século II d.C., Claudio Ptolomeu, desenvolveu o sistema geocêntrico que estabelece que a Terra é fixa no centro do universo e os outros corpos celestes orbitam ao seu redor. A teoria de Ptolomeu foi aceita durante um bom tempo.

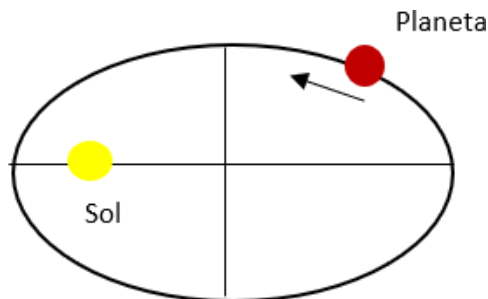
No século XVI, o astrônomo Nicolau Copérnico, afirmou em sua obra "Sobre a revolução dos corpos celestes" que o Sol é o centro do universo, e os planetas descreveriam órbitas circulares ao seu redor.

O físico e matemático italiano Galileu Galilei foi um grande defensor das ideias de Copérnico. Com a utilização de instrumentos para fazer suas observações astronômicas, Galileu conseguiu observar fortes evidências que comprovavam o sistema planetário heliocêntrico de Copérnico. Suas observações levaram o astrônomo alemão, Johannes Kepler, a criar leis que comprovam que a ideia do heliocentrismo.

AS LEIS DE KEPLER

Primeira Lei de Kepler: A trajetória das órbitas dos planetas em torno do Sol é elíptica, ele está posicionado em um dos focos dessa elipse.

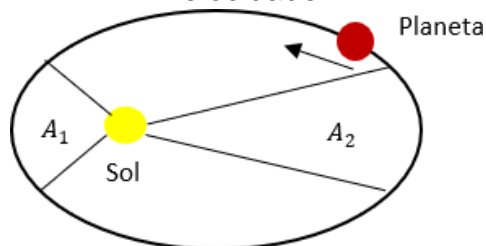
Figura 1: Os planetas orbitam em volta do Sol formando uma elipse. O Sol está situado em um dos focos dessas elipses.



Fonte: O próprio autor.

Segunda Lei de Kepler: As áreas varridas pelo segmento imaginário que une o centro do Sol ao centro do planeta são proporcionais aos tempos gastos em varrê-las.

Figura 2: Quanto mais próximo o planeta estiver do Sol maior será sua velocidade.



Fonte: O próprio autor.

Terceira Lei de Kepler: O quadrado do período de revolução dos planetas é proporcional ao cubo de sua distância média do Sol. Podendo ser expressos matematicamente:

$$\frac{T^2}{r^3} \quad (1)$$

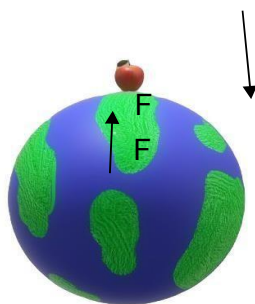
Onde, T é o período de revolução do planeta, o r será o raio médio da órbita do planeta, e o K representa a constante de Kepler com valor igual a $2,98 \cdot 10^{-34} \text{anos}^2/m^3$

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

A gravidade foi identificada primeiramente por Isaac Newton em 1687. Ao observar uma maçã caindo de uma árvore, Newton concluiu que a Terra exerce uma força que atrai todos os objetos para o seu centro. Além disso, Newton foi o primeiro a perceber a lei fundamental que seria básica para a compreensão de vários fenômenos, antes inexplicáveis, que ocorrem no universo.

Figura 3: A maçã puxa a Terra para cima com a mesma força que a Terra puxa

a maçã para baixo.



Fonte: O próprio autor.

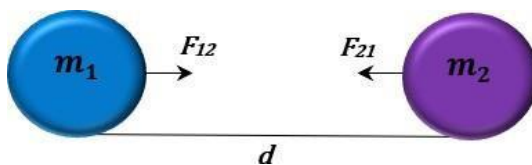
Com base nas leis de Kepler é que Newton conseguiu descobrir que a força gravitacional entre o Sol e um planeta possui intensidade diretamente proporcional à massa do Sol e à massa do planeta; e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Quando Newton realizou estudos sobre o movimento que a Lua descreve em volta da Terra, ele concluiu que a mesma força que atrai os objetos para a superfície da Terra é exercida pela Terra sobre a Lua, mantendo-a em órbita em torno da Terra. Newton, então, chamou essas forças de forças gravitacionais. Para ele, essas forças foram responsáveis por manter os planetas em órbita em volta do Sol.

O interessante foi que Newton descobriu um resultado que é válido para todo o Universo, ou seja, ele pode ser aplicado a qualquer corpo material, constituindo a Lei da Gravitação Universal, enunciada assim:

Dois pontos materiais, de massas m_1 e m_2 , atraem-se mutuamente com forças que têm a mesma direção da reta que os une e cujas intensidades são diretamente proporcionais ao produto das suas massas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância d que os separa. Como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Interação gravitacional entre duas esferas com massas diferentes.



Fonte: O próprio autor.

Essas forças têm a mesma intensidade, a direção que passa pelo centro dos dois corpos e sentidos contrários. Que podem ser calculados pela equação:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2} \quad (2)$$

- m_1 e m_2 são as massas;
- G é a constante de gravitação universal;
- d é a distância entre os centros dos dois corpos;
- F é a intensidade da força gravitacional;

O valor da constante G é dado pelo sistema internacional da unidade de medidas:

No SI, temos:

$$G = 6,6 \cdot 10^{-11} Nm^2 \quad (3)$$

Momento II

TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

A teoria da relatividade restrita, proposta por Albert Einstein em 1905, afirma que a velocidade da luz é uma constante igual para todo universo, e que o espaço e o tempo não são grandezas absolutas, mas totalmente subjetivas.

Einstein em suas observações experimentais conseguiu comprovar falhas na física Newtoniana, assim ele desenvolveu mudanças que revolucionaram a ideia existentes de espaço, tempo e gravidade. O conceito de relatividade se estende para toda as leis da natureza. São dois postulados que dão suporte à Relatividade Restrita:

1- Princípio da Relatividade: as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais, ou seja, não existe nenhum referencial inercial preferencial.

2- Princípio da constância da velocidade da luz: a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor constante c em todos os referenciais inerciais.

A teoria da Relatividade Restrita, implica que:

- O intervalo tempo de um evento não é um conceito absoluto, irá depender do referencial usado para sua observação;
- A massa do corpo não é invariável e irá também do referencial usado para observação. Assim, passamos a pensar em massa não como uma quantidade de matéria, e sim como uma medida de inércia do corpo;
- As dimensões de um corpo, não são grandezas absolutas, dependendo do referencial inercial de um corpo;
- De acordo com os postulados, a única grandeza absoluta em qualquer referencial é a velocidade da luz;

TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL

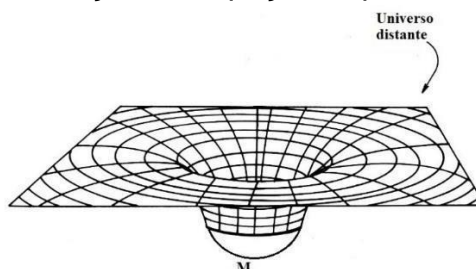
Devido ao fato que a Relatividade Restrita era válida apenas para referenciais que estejam em repouso ou em velocidade constante, Em 1915, Einstein apresentou sua teoria da gravidade chamada Relatividade Geral. Nesta teoria Einstein assume que os efeitos da gravidade podem ser descritos em termos de curvatura do espaço e do tempo juntos. Este é chamado espaço-tempo. A Relatividade Geral de Einstein une a curvatura do espaço-tempo com o modo com que a matéria e energia são distribuídas no universo.

Antes da teoria de Einstein o espaço era dado como algo imutável no qual todos os objetos e interações da matéria eram realizados. As propostas de

Einstein, entretanto, insinuaram que o espaço era extremamente mutável. Podemos dizer que ele era como um material flexível que acomodava todo objeto massivo encurvando adequadamente a vizinhança do local do objeto.

Na figura 5, podemos observar a ilustração da deformação do espaço-tempo sugerido por Einstein em sua teoria.

Figura 5: Representação do espaço-tempo.



Fonte: Adaptado de E. Taylor e J.A. Wheeler 2000, cap. 2.

O espaço-tempo é definido por Einstein como se fosse um tipo de malha quadriculada, a qual passa por todo o universo. Se colocarmos uma bola nessa malha, ela certamente vai afundar. Quanto maior a massa do corpo, mais ele afunda e altera o espaço-tempo, atraindo outros corpos a ficarem em sua órbita. Exemplo disso é nosso sistema solar, onde o Sol, que tem a maior massa, atrai os planetas a orbitarem ele. Isso também acontece na nossa galáxia, em que o nosso sistema solar orbita por um buraco negro. A gravidade passa a ser um resultado do espaço-tempo, que diz como um corpo irá se comportar.

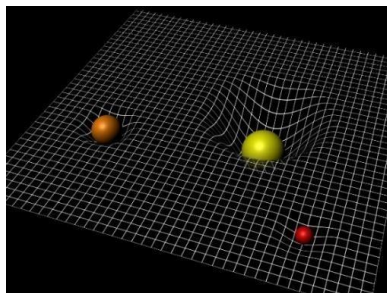
Podemos entender a curvatura do espaço através dessa ilustração, mas de que forma explicar a curvatura do tempo? Curvatura do tempo significa que a razão do fluxo do tempo será determinada pelo poder do campo gravitacional onde ele está sendo medido. O tempo passará mais lentamente em um campo gravitacional forte.

Apesar de ser chamada de teoria, já foram comprovadas experimentalmente a curvatura do espaço-tempo. Um dos experimentos mais “comuns” é o fenômeno da lente gravitacional: quando a luz se propaga em regiões do espaço altamente distorcidas por massas, seu caminho é curvado.

• Experimento

Para realização do experimento utilizaremos: malha quadriculada, esferas de massas diferentes para demonstrar de que forma se comporta o espaço-tempo. O experimento consiste em colocar as esferas de massas diferentes sobre a malha quadriculada, e observar a curvatura que as mesmas irão formar. Como podemos observar na figura 6.

Figura 6: Deformação do espaço-tempo.



Fonte: The European Space Agency.

AVALIAÇÃO

Realização de um resumo sobre o que foi compreendido sobre o conteúdo trabalhado em sala.

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, D., et al. **Fundamentos de física**. 10. ed. Rio de Janeiro. RJ: LTC, 2016.

ASSAD, G. E. **Física moderna para o ensino médio**. João Pessoa: IFPB, 2015.

TONIATO, J. T. De Newton a Einstein: a geometrização da gravitação. **Caderno de Astronomia**, vol. 1, nº 1, p. 17–29, jul. 2020.

RAMALHO, R. J., et al. **Os fundamentos da física, Vol 1**. 9. Ed. São Paulo: Moderna. 2007.

AGUIAR, BERNARDO FRANÇA. **Relatividade Geral**. 2018. Monografia (Bacharel em física)- Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2018

Radiação Eletromagnética. o que isso significa?

Objetivo Geral:

- Promover a interação entre professor e alunos e motivá-los para o estudo das ondas eletromagnéticas e radiação eletromagnética, e assim produzir aprendizagens sobre o conteúdo proposto em sala de aula.

Objetivos específicos:

- Despertar no aluno interesse pelos fenômenos físicos;
- Compreender o fenômeno da radiação eletromagnéticas;
- Saber distinguir os tipos de radiações eletromagnéticas;

Justificativa:

A radiação eletromagnética é uma onda transversal que tem como principal característica se propagar no vácuo. Ela possui campo magnético e campo elétrico que se geram mutuamente e se propagam perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia, transportando assim energia sob a forma de radiação eletromagnética. Essa radiação irá variar conforme a frequência da onda. A luz visível aos olhos humanos é um exemplo de radiação eletromagnética, assim como os raios x, a única diferença entre essas duas formas de radiação está na faixa de frequência que o olho humano consegue visualizar, ou seja, os raios x têm faixa de frequência que fica fora do alcance da visão humana. Outro exemplo, são as ondas do forno de micro-ondas.

Ondas eletromagnéticas são aquelas que resultam da libertação das fontes de energia elétrica e magnética em conjunto. Quando se movimentam, com a velocidade da luz, a energia liberada apresenta o aspecto de onda.

Luz é toda radiação eletromagnética sensível à visão humana e cujos comprimentos de onda estão contidos na faixa entre 400 e 740 nanômetros, aproximadamente. É comum utilizar o nome luz para regiões do espectro vizinhas, mas não visíveis, como nos casos das regiões ultravioleta e infravermelhas.

Procedimentos Metodológicos:

As atividades da aula ocorrerão em dois momentos pedagógicos. O primeiro momento terá início com exposição de slides sobre o que são ondas e radiação eletromagnética. No segundo momento de aula, os alunos utilizaram a ferramenta Kahoot para responder um quiz sobre o conteúdo proposto durante a aula, para que assim o professor verifique o seu nível de entendimento do conteúdo, e também para tornar a aula mais dinâmica.

Tempo estimado para aula: 50 minutos.

Materiais utilizados:

- Notebook, datashow, lousa e pincel.

Problematização:

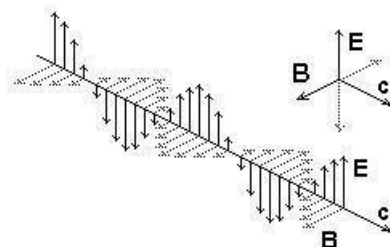
- Quiz Kahoot.

Perguntas-chave:

- Por que enxergamos os objetos?
- A luz é uma onda ou partícula?
- Quais os tipos de radiações eletromagnéticas?

Momento I – Estudo das Ondas Eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas surgem com base na interação entre campos elétricos e campos magnéticos variáveis. Essas se propagam no vácuo com a mesma velocidade que a luz, cerca de 300 mil quilômetros por segundo. As ondas eletromagnéticas podem propagar-se tanto em meios materiais quanto no vácuo. Por serem fenômenos ondulatórios, elas podem sofrer reflexão, refração, absorção, difração, interferência, espalhamento e polarização.

Figura 1: Onda eletromagnética.

Fonte: UFSM, 2020.

Como podemos observar na Figura 1 acima, a onda possui campo magnético e campo elétrico. Segundo Maxwell, o campo magnético é consequência de um campo magnético que varia no tempo e a posição que produzirá um campo elétrico que também sofrerá variação de tempo e posição.

Uma perturbação elétrica em um ponto causada pela oscilação de cargas elétricas se propagará a pontos distantes a partir da mútua formação de campos elétricos e magnéticos distintos.

O campo magnético (B) irá se propagar em uma direção e o campo elétrico (E) se propaga em outra. A onda irá se propagar na direção c que é a velocidade da luz. As ondas eletromagnéticas possuem amplitude, velocidade, frequência e comprimento de onda. Todas essas características podem ser calculadas na equação da velocidade de propagação da onda eletromagnética, dada por:

$$V = \lambda \cdot f \quad (1)$$

onde, V é a velocidade, λ é o comprimento de onda e f é a frequência que a onda possui.

Radiação Eletromagnética

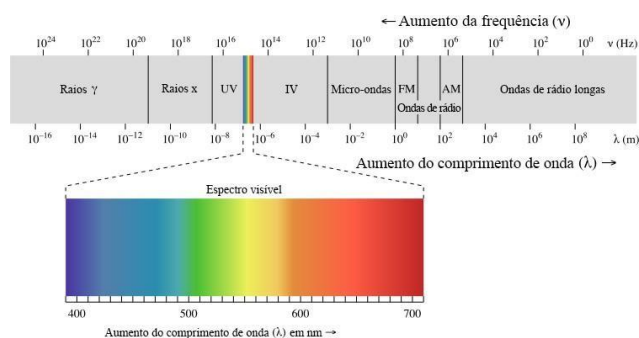
A radiação eletromagnética é o resultado da aceleração de partículas carregadas. Não requer nenhum meio e pode viajar através do vácuo. Em 1865, a teoria da radiação eletromagnética foi desenvolvida por James Clerk Maxwell.

Ela varia conforme a frequência da onda. A luz visível aos olhos humanos é uma radiação eletromagnética, assim como os raios x, a única diferença entre essas duas formas de radiação está na faixa de frequência que o olho humano consegue visualizar.

O espectro eletromagnético é composto por raio gama, raio x, radiação ultravioleta, luz visível, raios infravermelhos, micro-ondas e ondas de rádio. Não precisam de um meio para se propagar, podendo-se deslocar no vácuo ou até mesma velocidade da luz.

Observe abaixo, na Figura 2, a representação do espectro eletromagnético.

Figura 2: Espectro eletromagnético.



Fonte: wikimedia.

Como vimos na Figura 2, o conjunto de frequências define o espectro eletromagnético, que é dividido em faixas com limites “precisos” e a cada faixa atribui-se um nome. Iremos defini-los abaixo:

- Raio γ : são as ondas com maiores frequências do espectro eletromagnético. São capazes de ionizar quase todos os átomos e moléculas devido serem compostas por fótons de maior energia.
- Raio x: é a radiação cujos fótons que compõem têm a energia das mais altas.
 - Radiação Ultravioleta (UV): são ondas mais próximas do espectro visível, e é considerada uma radiação ionizante. O contato direto com essa radiação pode causar câncer de pele.
 - Luz visível: são ondas que o olho humano pode captar, e fica localizada no centro do espectro.
 - Infravermelho: são conhecidas como ondas de calor, e são as de menor frequência do espectro. Exemplos desse tipo de onda são as rádios, celulares.
 - Micro-ondas: possuem baixa frequência, porém mais elevada que as

de infravermelho e podem ser refletidas por metais. São utilizadas em radares depoliciais.

- Ondas de rádio: ficam na extremidade do espectro, possuem baixa frequência e maior comprimento de onda. Costuma ser utilizadas em sinais de celular e televisão.

Momento II – Aplicação do Quiz

No momento II, será proposto aos alunos resolução de um quiz da plataforma online Kahoot em sala de aula, para verificar o nível de aprendizagem do conteúdo. O quiz é composto por 5 questões. Na medida em que todos os participantes responderam que o tempo estipulado por cada pergunta encerre, o aplicativo emite em tempo real, na tela do celular do aluno, se a opção de resposta está correta ou não.

- Link para acesso ao quiz:

<https://kahoot.it/challenge/?quiz-id=7cb4e568-9320-4b1b-a5ee-e37ac642d3b4&single-player=true>

Figura 3: Dinâmica de perguntas e repostas na plataforma Kahoot.



Fonte: <https://kahoot.it/challenge/?quiz-id=7cb4e568-9320-4b1b-a5ee-e37ac642d3b4&single-player=true>

AValiação

A avaliação será realizada de forma contínua, e de acordo com a participação em sala de aula.

REFERÊNCIAS

MARQUES, G.C. **Ensino de Física On-line - e-física**. Disponível em: <
<http://efisica.if.usp.br/>>. Acesso em 28/10/2022.

RAMALHO, R. J., et al. **Os fundamentos da física, Vol 1**. 9. Ed. São Paulo:
Moderna. 2007.

EISBERG, R. M., et al. **Física: Fundamentos e aplicações**, vol. 4, Ed. Mc
Graw-Hill(1982).

MARTINS, J. M., et al. **Propagação e Radiação de Ondas eletromagnéticas**,
vol.L, Ed. Lidel. 2015.

RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Objetivo Geral:

- Buscar incentivar os alunos ao desenvolvimento e conhecimento do fenômeno físico da radiação do corpo negro. Espera-se que os alunos estejam em constante interação e participação durante a aula para facilitar a compreensão do conteúdo.

Objetivos específicos:

- Desenvolver o conhecimento dos fenômenos físicos sem a utilização de conceitos matemáticos.
- Compreender o fenômeno da radiação do corpo negro.
- Compreender de que modo a radiação do corpo negro se relaciona com os Buracos negros.

Justificativa:

A radiação do corpo negro é a radiação eletromagnética térmica dentro ou ao redor de um corpo em equilíbrio termodinâmico com seu ambiente, ou emitida por um corpo negro, ou corpo opaco e não reflexivo que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide e emite radiação eletromagnética térmica, que é o resultado do movimento acelerado de partículas carregadas.

A radiação do corpo negro tem um espectro específico e intensidade que depende apenas da temperatura do corpo. Todos os corpos emitem radiação térmica, mas não na faixa do visível, e à medida que se aumenta a temperatura a radiação é alterada.

Procedimentos Metodológicos:

As atividades da aula ocorrerão em dois momentos pedagógicos. O primeiro momento terá início com exposição de slides sobre o que é e como funciona a radiação do corpo negro. No segundo momento, será mostrado um simulador para melhor demonstração do espectro de radiação do corpo negro.

Tempo estimado para aula: 50 minutos.

Materiais utilizados:

Computador(para slides), data-show, simulador Phet.

Problematização:

- Simulador.

Perguntas-chave:

- O que é um corpo negro?

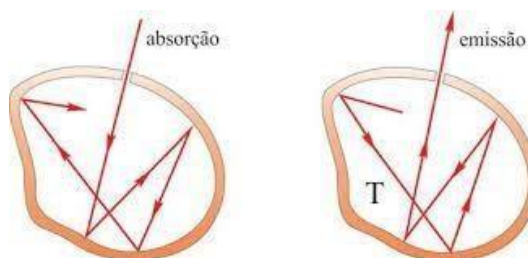
- Corpo negro só absorve radiação?
- Existe um corpo negro perfeito?

Momento I – O que é um corpo negro?

Todo objeto absorve e emite radiação, em diferentes frequências, definindo seus espectros de absorção e emissão, que são funções da composição, da temperatura do objeto. Um corpo negro é um objeto que absorve toda a radiação incidente, seja qual for a frequência da radiação. Assim, como qualquer objeto, o corponegro também emite energia por radiação na forma de ondas eletromagnéticas. Comisso, existe um equilíbrio entre a energia absorvida e a emitida. O espectro de emissãode um corpo negro é característico, e depende apenas da temperatura.

Qualquer cavidade com uma pequena abertura que permite com que a radiaçãoincida em seu interior mas não permita que saia, acaba se comportando como um corpo negro. É importante ressaltar que não existe um corpo perfeitamento negro.

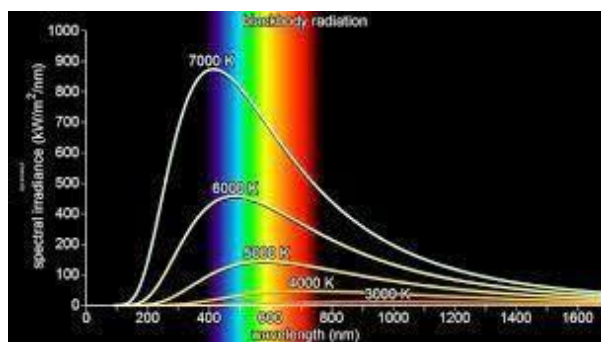
Figura 1: Cavidade ressonante com um pequeno orifício qu se comportacomo um corpo negro ideal.



Fonte: UFJF-2013.

O nome “corpo negro” se deve ao fato de que, em baixas temperaturas, alguémolhando de fora para a abertura na cavidade veria apenas a cor preta, embora possivelmente sinta o calor emanando da abertura. Ou seja, nenhuma radiação com comprimento de onda visível escapa do corpo negro. Mesmo levando o nome de “Corpo Negro”, observando a abertura na figura 1, veremos diferentes cores em função da temperatura no interior do objeto, quando a temperatura está elevada.

Figura 2: Espectro de radiação.



Fonte: USP-2011.

Max Plank e Albert Einstein, desenvolveram e utilizaram a ideia da radiação do corpo negro para explicar fenômenos planetários e astronômicos.

Leis Fundamentais da Radiação do Corpo Negro

O estudo da radiação térmica deu início com o físico alemão Robert Kirchhoff, ao analisar as relações existentes entre calor absorvido e calor emitido, propôs duas leis fundamentais para o estudo da radiação térmica:

- A primeira lei fala sobre a cor da radiação emitida. Ela depende da frequência, e esta frequência depende da temperatura do corpo aquecido, seja qual for sua composição.
- A segunda lei de Kirchhoff introduz o conceito de corpo negro. Para ele, o corpo negro é um excelente emissor de radiação, e toda radiação gerada nele é emitida.
- Lei de Stefan-Boltzmann afirma que a energia radiante total que emite um corpo negro por unidade de superfície (W) é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta (T). Esta lei permite calcular o poder emissor de um corpo expressa pela seguinte expressão matemática:

$$W = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

σ é a chamada constante de Stefan-Boltzmann, que tem o valor de $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$.

- Lei do deslocamento de Wien afirma que o comprimento de onda (λ) em que um corpo negro tem o pico da radiação é inversamente proporcional à sua temperatura absoluta (T).

Exemplo de Corpo Negro

- **Estrelas**

Uma estrela, pode ser descrita como um corpo negro ideal. Isso porque, apesar de vermos a estrela em determinada cor ou cores, a radiação que captamos visualmente é emitida e não refletida. Ela apresenta uma radiação que permite aos astrônomos deduzir sua temperatura com base nas emissões. A cor apresentada por uma estrela é decorrente da temperatura em sua superfície.

- **Lâmpada de filamento**

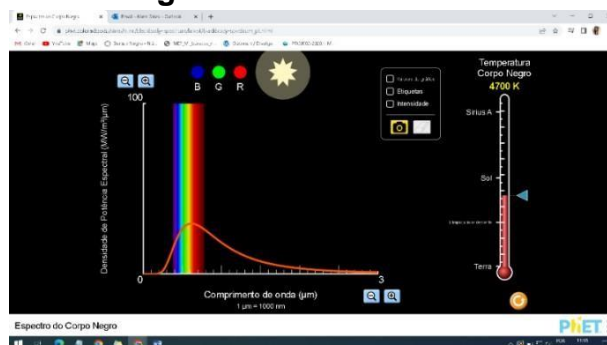
As lâmpadas de filamento, podem ser utilizadas em experimentos de corpo negro. Nelas é possível medir a temperatura por meio da análise da radiação emitida, com o uso de instrumentos chamados pirômetros ópticos.

MOMENTO II

Utilizaremos o simulador Phet sobre o chamado Deslocamento de Wien, com a figura 5, que em suma é um gráfico de espectrometria de um corpo aquecido que emite radiação térmica em determinadas faixas de comprimento de onda e isso varia de acordo com a temperatura do corpo.

Este simulador pode ser utilizado para demonstrar vários conceitos para os alunos, como por exemplo, a diferenciação de cores das estrelas de acordo com suas temperaturas, sendo que essa visualização é bem expressiva na animação escolhida. A Lei de Deslocamento de Wien demonstra que quanto maior a temperatura do corpo é, mais para a esquerda o pico do gráfico se desloca, mostrando assim de forma bem visível alguns fenômenos que os Corpos Negros sofrem no âmbito da espectrometria.

Figura 5: Simulador Phet.



Fonte: Simulador Phet.

AValiação

Resolução de questões que serão entregues para responder em casa e trazer na aula seguinte.

REFERÊNCIAS

MARTINS, J. M., et al. **Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas**, vol.L, Ed. Lidel. 2015.

SOARES, H. C. M. S.; CAMPOS, C. H. D.; FEU, M. H. W. Simulador de Radiação do Corpo Negro. **META**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p.351-357. 2016

GUIMARÃES, Fernando Feliciano. **Proposta de sequência didática para o estudo de radiação do corpo negro no ensino médio**. 2018. Dissertação (Mestrado no Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

ASSAD, E. G. **Física moderna para o ensino médio**. 1. Ed. João Pessoa: IFPB, 2015.

FORMAÇÃO ESTELAR

Objetivo Geral:

- A partir das definições de conceitos, produzir aprendizagens referentes a formação estelar.

Objetivos específicos:

- Compreender como ocorre o nascimento de uma estrela;
- Entender as fases de evolução estelar de acordo com sua massa;
- Analisar quais as possíveis estrelas podem evoluir para um Buraco Negro.

Justificativa:

Sabendo que os Buracos Negros, foco principal do nosso estudo corresponde a última fase de vida de uma estrela, faz-se necessário o entendimento de como ocorreu o nascimento das estrelas que são candidatas a evoluir ao longo da sua formação a um Buracos Negro e quais as estrelas que terão outros destinos e porque.

Procedimentos Metodológicos:

As atividades da aula ocorrerão em dois momentos pedagógicos. O primeiro momento terá início com exposição de slides explicando como ocorre a formação estelar. No segundo momento, irá ser mostrado aos alunos um vídeo que mostra um simulador da formação estelar.

Tempo estimado para aula: 50 minutos.

Materiais utilizados:

- Datashow, notebook, quadro branco e pincel.

Problematização:

- Vídeo de um simulador da formação estelar.

Perguntas-chave:

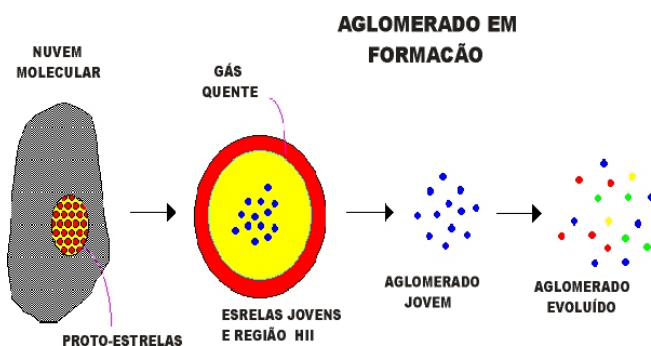
- Como nasce uma estrela?
- De que são compostas as estrelas?
- Qual a duração de vida de uma estrela?

MOMENTO I – COMO NASCEM AS ESTRELAS?

As estrelas se formam em imensas nuvens moleculares imersas em

nebulosas existentes na galáxia. Essas nuvens moleculares são feitas quase que completamente de hidrogênio e hélio. Essas agitações, como as causadas por uma explosão de supernova, provocam crescentes adensamentos em algumas regiões da nebulosa, formando massas de gás frio, que acabam colapsando sob seu próprio peso. E assim, cada glóbulo dará origem a uma estrela. Esse processo pode levar de centenas a milhares de anos.

Figura 1: Formação estelar.



Fonte: IF-URGS.

DO QUE AS ESTRELAS SÃO FEITAS?

A maior parte das estrelas, cujas massas são de 0,5M solares e até 2,5M solares, são compostas de hélio e hidrogênio, os elementos mais abundantes do Universo. Isso acontece, porque essas estrelas não têm gravidade nem temperaturassuficientemente altas para fundir elementos mais pesados.

Quando as estrelas são muito massivas: entre 5M solares e 10M solares, no seu interior são formados elementos mais pesados que o hélio. O estágio final de vida dessas estrelas é uma supernova, uma grande explosão que lança toda a sua matéria e energia pelo espaço, dando origem a outras estrelas e planetas.

CICLO DE VIDA DE UMA ESTRELA

A morte de uma estrela vai depender de sua massa. Se ela tiver menos de dez vezes a massa do Sol, quando todo o hélio do seu núcleo tiver acabado ela expelir uma nebulosa planetária e o seu núcleo novo será uma Anã Branca. Essas estrelas chamadas de Anãs Brancas branca é, portanto, o núcleo daquilo que era uma estrela gigante vermelha, elas podem ter tamanhos similares aos da Terra, porém com massas próximas às do Sol.

Se sua massa for dez vezes maior que a do Sol, em seu fim de vida, ocorrerá uma explosão chamada de Supernova. Esta explosão espalha os elementos constituintes da estrela pelo espaço. Estes elementos serão depois a semente de formação de mais estrelas em algum lugar no espaço.

O destino do núcleo que sobra após a explosão da supernova é, ditado pela massa. Estrelas muito pequenas e extremamente densas formam uma estrela de nêutrons. E as estrelas com massa muito maior que a do Sol, após a fase das supernovas, originam buracos negros, objetos tão densos que atraem

tudo o que se ultrapassar o seu horizonte de eventos.

Figura 2: Ciclo de vida das estrelas.

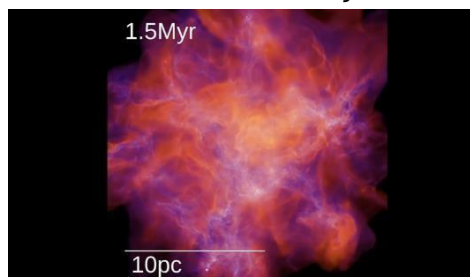


Fonte: Explicatorium.

MOMENTO II

Foi o primeiro simulador de formação estelar já criado, foi desenvolvido por cientistas da Northwestern University, e mostra o momento em que a estrela se inflama pela primeira vez. As imagens em 3D de alta resolução do momento em que o astro se forma são as mais realistas já feitas até hoje, de acordo com a própria equipe, e mostram detalhes valiosos sobre como as estrelas apareceram no universo. Na simulação podemos observar uma gigantesca nuvem de gás se formando em uma estrela.

Figura 3: Simulador da Formação estelar.



Fonte: <https://www.dailymotion.com/video/x81em2c>

AValiação

Realização de um resumo sobre o que foi compreendido sobre o conteúdo trabalhado em sala.

REFERÊNCIAS

ASSAD, E. G. **Física moderna para o ensino médio**. 1. Ed. João Pessoa: IFPB, 2015.

FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F.O. **Astronomia e Astrofísica**. 3.ed. São Paulo: Livraria da Física, 2013

TIELENS A. G. G. M., **The Physics and Chemistry of the Interstellar Medium.**
United Kingdom:Cambridge University Press, 2005, p. 495.

MACIEL, J. W. **Astrofísica do Meio Interestelar.** Vol. 41. Edusp, 2002.

BURACOS NEGROS

Objetivo Geral:

- Construir os conceitos e entendimento dos Buracos Negros por meio de discussões propostas pelo professor.

Objetivos específicos:

- Desenvolver o conhecimento dos fenômenos físicos sem a utilização de conceitos matemáticos.
- Compreender o que são e como surgem os Buracos Negros.
- Construção de conhecimento científico do determinado conteúdo.

Justificativa:

Buracos negros são regiões nas quais o campo gravitacional é tão intenso que nada consegue escapar, nem mesmo a luz. Eles capturam partículas, objetos e radiação que passam pelo seu horizonte de eventos, nomeado à fronteira do buraco negro. Tudo que passar por essa região será inevitavelmente sugado em direção a um pequeno ponto que fica na região, chamado de singularidade, cujas propriedades os cientistas ainda desconhecem.

A massa concentrada de um buraco negro pode ser até 20 vezes maior que a do Sol. O tamanho, irá variar de grandes a pequenos, e alguns cientistas acreditam que existem buracos negros do tamanho de um átomo.

Procedimentos Metodológicos:

As atividades da aula ocorrerão em dois momentos pedagógicos. O primeiro momento terá início com exposição de slides explicando o que é o fenômeno dos buracos negros. No segundo momento, será mostradas algumas curiosidades sobre os buracos negros, e em seguida o professor irá mostrar um vídeo de uma simulação de um buraco negro.

Tempo estimado para aula: 50 minutos.

Materiais utilizados:

- Computador, data-show, vídeo que mostra simulador dos Buracos Negros

Problematização:

- Simulador.

Perguntas-chave:

- O que é um buraco negro?
- Qualquer estrela pode virar um buraco negro?
- Buracos Negros sugam tudo ao seu redor?

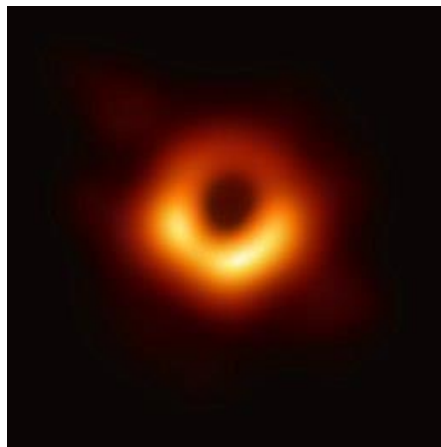
MOMENTO II - O QUE SÃO BURACOS NEGROS?

Os buracos negros podem ser definidos como objetos astronômicos densos com um campo gravitacional muito intenso. Outros corpos celestes, gases e até mesmo a luz são atraídos para o interior dos buracos negros quando a velocidade em que se movem não é rápida o suficiente para escapar da atração exercida na região localizada no centro deles, chamada de horizonte de eventos.

Uma vez em seu interior, é quase impossível que os materiais retornem ao espaço. No entanto, já se sabe atualmente que esses objetos conseguem emitir radiação térmica derivada dos efeitos quânticos desencadeados no seu interior.

A velocidade que os objetos devem atingir para não serem atraídos pela gravidade dos buracos negros é denominada velocidade de escape. Nos buracos negros, essa velocidade é superior à da luz, e por isso ela também é sugada por esses objetos.

Figura 1: Imagem de um Buraco Negro.



Fonte: Nasa-Abril 2019.

COMO SÃO FORMADOS OS BURACOS NEGROS?

Para que um buraco negro seja formado, é necessário que haja uma grande quantidade de massa concentrada em um pequeno espaço. Quanto maior a massa, mais forte será o campo gravitacional.

A maioria dos Buracos negros supermassivos são formados pela junção de várias estrelas em uma única região do espaço. Já os estelares são formados quando uma estrela morre e colapsa sobre si mesma. E por fim, os primordiais foram formados logo no início do universo, quando as condições eram ideais para a formação de buracos negros.

Todas as estrelas são essencialmente formadas por poeira e gases, com reações termonucleares que acontecem na sua camada mais interna, o núcleo. A compactação desses astros acontece quando os elementos responsáveis pela fusão nuclear se esgotam, o que desencadeia uma explosão denominada supernova. Nas estrelas massivas, a atração gravitacional é tão intensa que elas se compactam até chegarem ao estágio de Buracos Negros.

PROPRIEDADES DE UM BURACO NEGRO

A estrutura de um buraco negro é composta por três elementos principais: a singularidade, o horizonte de eventos e os discos de acreção.

- **Singularidade:** Localizada em seu centro. É a parte principal do buraco negro, um ponto de massa infinita onde se confundem o espaço e o tempo.
- **Horizonte de eventos:** Conhecido como o ponto de não retorno de um buraco negro. É o limite a partir do qual toda matéria e energia é atraída para o interior dos buracos negros.
- **Discos de acreção:** São formados por poeiras e gases superaquecidos que emitem radiação eletromagnética.

TIPOS DE BURACOS NEGROS

- **Buracos negros estelares:** são aqueles derivados do colapso gravitacional das estrelas que possuem pelo menos o triplo da massa do Sol. São os mais comuns no nosso Universo.
- **Buracos negros supermassivos:** são centenas de milhares e até bilhões de vezes mais massivos que o Sol, e estão localizados mais comumente no centro das galáxias. Um exemplo é o Sagitário A*, que fica no centro da Via Láctea.
- **Buracos negros intermediários:** são aqueles com massa intermediária, entre os estelares e supermassivos.

PRIMEIRA FOTO DE UM BURACO NEGRO

A primeira imagem já feita de um buraco negro foi divulgada internacionalmente no dia 10 de abril de 2019, representando um importante marco para a ciência. Ele fica localizado no centro da galáxia Messier 87 (M87), a uma distância aproximada de 55 milhões de anos-luz da Via Láctea. Estima-se que esse buraco negro apresente massa 6,5 bilhões de vezes superior à do Sol.

A captura, disponível na figura 1 acima, foi feita por meio de oito telescópios espalhados por todo o mundo que compõem o projeto Telescópio de Horizonte de Eventos (ou Event Horizon Telescope - EHT).

MOMENTO II – CURIOSIDADES SOBRE OS BURACOS NEGROS

- O primeiro buraco negro descoberto recebeu o nome de Cygnus X-1, localizado na constelação Cygnus, pertencente à Via Láctea. Os indícios de sua existência foram observados em 1964.
- Os primeiros buracos negros do Universo foram formados logo após a grande expansão conhecida como Big Bang.
- Em 2022 foi divulgada a primeira imagem do Sagitário A*, buraco negro localizado no centro da Via Láctea.
- Se um objeto, seja ele uma estrela, um planeta ou até mesmo uma nave

espacial, cair em um buraco negro, ele será sugado para dentro do objeto e nunca mais voltará.

SIMULADOR DE UM BURACO NEGRO SUPERMASSIVO

O vídeo mostra a simulação de um buraco negro rodeado por matéria luminosa. Esta matéria desaparece no buraco negro. A radiação emitida é defletida e deformada pela forte gravidade do buraco negro. Esse simulador de realidade virtual foi elaborado por Jordy Davelaar, antes mesmo da primeira imagem do buraco negro.

Figura 2: Simulador de um Buraco negro supermassivo

Simulação de um buraco negro supermassivo



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3NeIVjfuKQY&t=10s>

AValiação

Realização de um resumo do que foi estudado em sala de aula.

REFERÊNCIAS

ASSAD, E. G. **Física moderna para o ensino médio**. 1. Ed. João Pessoa: IFPB, 2015.

ALMEIDA, J. R.; SOLTAU, S.B. **Filme interestelar e Flipped Classroom: uma proposta para o ensino de relatividade geral e buracos negros no Ensino Médio**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento. v. 11, n. 5, pág. e40911528437, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28437. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28437>. Acesso em: 10 nov. 2022.

HAWKING, S. **Buracos Negros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças em momentos de fraqueza e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais, Mônica e Carlos, por todo apoio e incentivo que me deram durante minha vida acadêmica. Impossível descrever em palavras o amor que sinto por eles.

A todos os amigos que fiz, de forma particular, a Liziane e Rodrigo por estarem sempre comigo e compartilharem conhecimentos e experiências que levarei para toda vida.

A minha orientadora, Raissa Maria, por toda contribuição e auxílio na realização desse artigo.

Aos professores desta instituição, em especial, os do departamento de física e matemática.

