

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**MATÉRIA ESCURA: PROPOSTA DE UMA UNIDADE DE
ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA A
INTRODUÇÃO DE FÍSICA CONTEMPORÂNEA
NO ENSINO MÉDIO**

Cintia Aparecida Cirillo

Produto Educacional de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do ABC (UFABC) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Galli Mercadante

Santo André
Junho de 2021

Sumário

1. Introdução	3
2 Desenvolvimento das aulas	4
Questionário inicial	4
Aula 1 – Movimento Circular Uniforme	4
Aula 2 – Calculando a massa do Sol	8
Aula 3 – Analisando a curva de rotação de galáxias.....	10
Aula 4 – Matéria Escura	15
Apêndice A – Questionário inicial.....	16
Apêndice B – Questionário Final	18
Apêndice C - Resumo sobre Galáxias e curvas de rotação.....	19
Apêndice D – Matéria Escura.....	24
Referências Bibliográficas.....	31

1. Introdução

Caro (a) professor (a),

O objetivo deste trabalho é o de utilizar o conteúdo e experimentos de física clássica para introduzir conceitos de física contemporânea para estudantes do ensino médio, como forma de tornar as aulas mais interessantes e despertar a curiosidade para a ciência e para temas atuais da física.

Para alcançar esse objetivo foi criada esta sequência didática, que é baseada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1918-2008), que encara os conhecimentos prévios dos estudantes como a variável mais importante no processo de ensino e aprendizagem. Então, este trabalho apresenta uma sequência didática onde serão trabalhados conceitos de física clássica, como movimento circular e gravitação, para que seja introduzido o tema Matéria Escura para estudantes do ensino médio. E quando falamos sobre matéria escura, acabamos falando sobre a composição da matéria, então, na última aula, é introduzido o Modelo Padrão das Partículas Elementares como forma de situar o estudante sobre o que já conhecemos sobre a composição básica da matéria.

Os experimentos e atividades de cada aula estão descritos abaixo com as sugestões de sua aplicação. Para auxiliar no entendimento dos assuntos abordados nas aulas, uma pequena introdução sobre Galáxias, curvas de rotação e matéria escura encontra-se nos apêndices C e D deste material.

Assim, espero que de alguma forma este material possa contribuir para que temas da Física Contemporânea possam ser inseridos nas aulas de física do ensino básico.

2 Desenvolvimento das aulas

Questionário inicial

O *Questionário Inicial* pode ser encontrado nos apêndices desse material. Ele foi enviado antes da primeira aula para fazer um levantamento inicial sobre os interesses dos estudantes e o que eles pensam sobre a constituição da matéria e sobre a física de um modo geral. O questionário foi elaborado utilizando a ferramenta *Google Formulários* e foi compartilhado com os estudantes duas semanas antes da primeira aula. O questionário também pode ser aplicado em uma aula presencial e, como sugestão, a inserção do nome do estudante na folha de respostas pode ser opcional. Isso garante que mesmo os estudantes mais tímidos possam dar sua opinião sincera.

Aula 1 – Movimento Circular Uniforme

No início da aula é feita uma conversa com os estudantes para que se sintam à vontade para expor suas ideias e a fazer perguntas. O uso de perguntas como: *“Como podemos saber qual a massa de um objeto?”* e *“Quais outros instrumentos ou métodos poderíamos usar para descobrir a massa de algo?”* servem para despertar a curiosidade dos estudantes sobre o que vai ser trabalhado em aula e devem ser feitas antes da apresentação da situação-problema.

A situação-problema para o desenvolvimento da aula é a seguinte:

- Utilizando conhecimentos sobre dinâmica e movimento circular uniforme é possível determinar a massa de um objeto?

Como o público-alvo são estudantes do ensino médio, o conteúdo sobre movimento circular uniforme e força centrípeta já deve ter sido trabalhado. Cabe aqui uma análise do professor sobre a necessidade de se fazer uma revisão sobre eles.

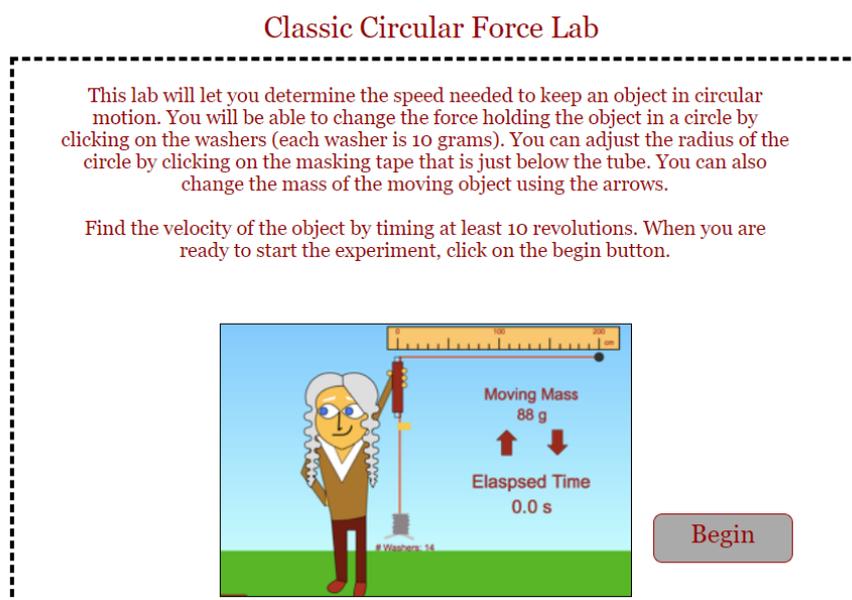
A estratégia para a resolução da situação-problema foi o uso de uma atividade experimental. O experimento aqui descrito foi realizado com o uso de um simulador *on-line*. No entanto, caso o professor prefira, esta atividade pode ser adaptada para sua aplicação de forma presencial, pois os materiais utilizados são de baixo custo e podem ser feitos com materiais reciclados.

O simulador utilizado pode ser encontrado no site *The Physics Aviary* com o nome de “*Classic Circular Force Lab*”. Para acessá-lo pode ser utilizado o link abaixo:

<https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ClassicCircularForceLab/index.html>

A página do simulador está em língua inglesa, mas uma explicação rápida sobre seu funcionamento é o suficiente para que os estudantes o utilizem. Uma imagem da página inicial do simulador pode ser vista na Figura 1.

Figura 1: Página inicial do site com o simulador do movimento circular



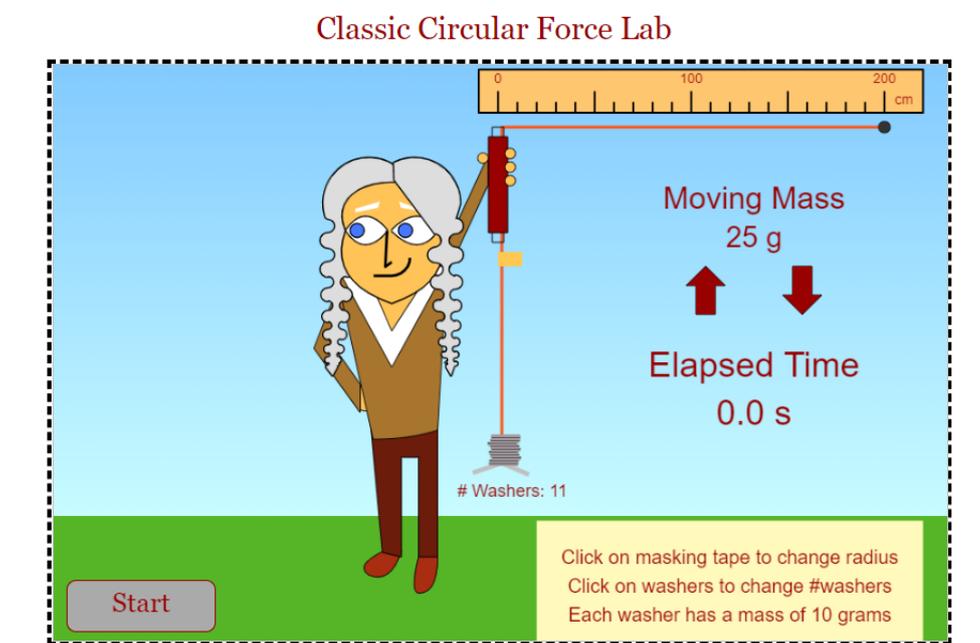
Fonte: *print screen* da página (thephysicsaviary.com)

A mensagem inicial que é vista no site pode ser traduzida como: “*Este laboratório permitirá que você determine a velocidade necessária para manter um objeto em movimento circular. Você poderá alterar a força que mantém o*

objeto em uma circunferência clicando nas arruelas (cada arruela tem 10 gramas). Você pode ajustar o raio do círculo clicando na fita adesiva que está abaixo do tubo. Você também pode alterar a massa do objeto em movimento usando as setas. Encontre a velocidade do objeto marcando o tempo de, pelo menos, 10 voltas completas. Quando você estiver pronto para começar o experimento, clique no botão 'Begin'.

A página seguinte é onde os estudantes podem começar o experimento. É aconselhável que o professor teste o simulador antes do início da aula. Esta página está ilustrada na Figura 2.

Figura 2: Página onde os estudantes realizam o experimento



Fonte: *print screen* da página (thephysicsaviary.com)

O texto presente no canto inferior direito são as instruções do uso do simulador, elas podem ser traduzidas e adaptadas para:

- *Clique na fita adesiva para mudar o raio;*
- *Clique em "Washers" para mudar o número de arruelas;*
- *Cada arruela tem massa de 10 gramas.*

Utilizando o simulador, a questão que os estudantes devem responder é a seguinte:

O que acontece com a velocidade circular da bolinha quando:

- a) Deixamos o valor do raio constante e variamos o número de arruelas penduradas?
- b) Deixamos o número de arruelas constante e variamos o valor do raio?

Essas questões são importantes para que os estudantes percebam que há uma relação entre a velocidade da bolinha, o número de arruelas penduradas e o raio da circunferência.

A atividade a seguir pode ser proposta para ser realizada em casa ou em aula, se o tempo for suficiente.

- O estudante deve sugerir uma pergunta ou atividade que possa ser respondida com o uso do simulador;
- Dado os valores de velocidade circular e massa da bolinha girando, qual a massa do objeto pendurado?

Para responder a segunda pergunta os estudantes devem igualar a força peso com a força centrípeta como descrito abaixo:

$$P = F_c$$
$$m_{pendurada} \cdot g = \frac{m_{bolinha} \cdot v^2}{r}$$

Isolando a massa pendurada temos:

$$m_{pendurada} = \frac{m_{bolinha} \cdot v^2}{g \cdot r}$$

A resposta para a segunda pergunta responde à questão que foi proposta como situação-problema no início da aula.

Aula 2 – Calculando a massa do Sol

Nesta aula os estudantes irão utilizar conhecimentos de gravitação e da terceira lei de Kepler, se necessário fazer uma revisão sobre esses conceitos.

A situação-problema desta aula é a seguinte:

- Como podemos calcular a massa de corpos que estão fora de nosso alcance, como o Sol?

Para a resolução da situação-problema, os estudantes irão trabalhar com dados empíricos dos valores de velocidade orbital e distância média dos planetas do Sistema Solar. Os valores podem ser encontrados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados da distância média e das velocidades orbitais dos planetas do Sistema Solar.

Planeta	Distância média até o Sol (10^6 km)	Velocidade orbital média (km/s)
Mercúrio	57,9	47,4
Vênus	108,2	35,0
Terra	149,6	29,8
Marte	227,9	24,1
Júpiter	778,3	13,1
Saturno	1426,6	9,7
Urano	2870,6	6,8
Netuno	4498,3	5,4

Fonte: Adaptada de (NASA/Planet Compare)

Com os valores da tabela os estudantes devem construir um gráfico da velocidade em função da distância. O gráfico obtido é a curva de rotação do

Sistema Solar. A curva de rotação de um sistema pode nos dar várias informações sobre ele. Aqui é interessante ouvir os estudantes a respeito do que podem concluir com a observação do gráfico. Espera-se que possam perceber que a velocidade dos planetas cai conforme sua distância ao Sol aumenta. Além disso, os valores medidos se encaixam quase que perfeitamente com os valores esperados considerando válida a terceira lei de Kepler.

Um questionamento a ser colocado aos estudantes é que se eles acreditam que podem calcular a massa do Sol, utilizando os valores da tabela, de forma semelhante ao que foi feito na aula anterior. Neste momento os estudantes podem precisar de uma ajuda com as equações, eles precisam igualar a força gravitacional com a força centrípeta e isolar a massa do Sol. Podemos igualar as equações pois, apesar das órbitas dos planetas serem elípticas, podemos considerá-las como circulares, já que as excentricidades das elipses são pequenas e a distância considerada é a distância média do planeta ao Sol. O desenvolvimento da equação está descrito a seguir:

$$F_g = F_c$$

$$\frac{G \cdot M_{sol} m_{planeta}}{r^2} = \frac{m_{planeta} v^2}{r}$$

Isolando a massa do Sol, temos:

$$M_{sol} = \frac{v^2 \cdot r}{G}$$

De acordo com o site da NASA, o valor da massa do Sol é de $1,989 \times 10^{30}$ kg (NASA) e o valor que os estudantes encontram possui um erro de menos de 2% em relação a esse valor.

Aula 3 – Analisando a curva de rotação de galáxias

Nesta aula o conceito de matéria escura vai surgir como forma de explicar a discrepância entre os dados esperados e observados. É muito importante que os estudantes possam expressar suas ideias livremente, pois podem surgir discussões e ideias muito interessantes.

Neste momento é interessante fazer uma revisão de tudo que já foi abordado, isso é importante para que os estudantes possam integrar os conteúdos estudados até agora. A revisão também é necessária para dar um panorama geral do assunto tratado e tentar corrigir algumas interpretações erradas que possam ter restado.

A situação-problema desta aula é a seguinte:

- Vimos que o comportamento dos planetas do Sistema Solar segue as leis de Kepler, podemos esperar o mesmo comportamento para outros corpos do espaço, como as estrelas em outras galáxias?

Uma pequena introdução sobre galáxias pode ser realizada. Nesta introdução é sugerido a apresentação dos tipos de galáxias existentes e o motivo de estudarmos as curvas de rotação de galáxias espirais. Estas informações podem ser consultadas nos apêndices desse material.

Com os dados sobre velocidade orbital e raio da órbita de estrelas de três galáxias diferentes, os estudantes devem elaborar a curva de rotação de cada galáxia. As galáxias aqui apresentadas são: NGC 2841, NGC 3198 e NGC 2403. As imagens dessas galáxias podem ser vistas nas Figuras 3, 4 e 5 respectivamente, e as tabelas podem ser consultadas nas Tabelas 2, 3 e 4. As imagens das galáxias podem ser enviadas aos estudantes junto com as tabelas.

Figura 3: Imagem da galáxia 2841



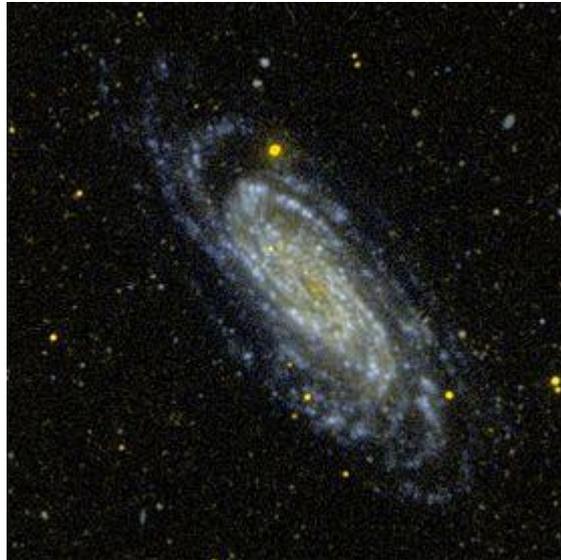
Fonte: Hubble Space Telescope

Tabela 2: Dados do raio e da velocidade orbital de estrelas e gases da galáxia 2841

NGC 2841	
Raio (Kpc)	Velocidade (Km/s)
2,75	315
5,5	325
8,25	323
11	308
13,75	299
16,5	296
19,25	289
22	288
24,75	283
27,5	272
30,25	274
33	281
35,75	282
38,5	288
41,25	289

Fonte: Adaptada de (BEGEMAN, 2006, pág. 109)

Figura 4: Imagem da galáxia 3198



Fonte: Wikipedia

Tabela 3: Dados do raio e velocidade orbital de estrelas e gases da galáxia 3198

NGC 3198	
Raio (Kpc)	Velocidade (Km/s)
0,68	55
1,36	92
2,04	110
2,72	123
4,08	142
5,44	147
6,8	152
8,16	156
9,52	157
10,88	153
12,24	153
13,6	154
14,96	153
16,32	150
17,68	149
19,04	148
20,4	146

21,76	147
23,12	148
24,48	148
25,84	149

Fonte: Adaptada de (BEGEMAN, 2006, pág. 33)

Figura 5: Imagem da galáxia NGC 2403



Fonte: Astronomy Picture of the day (Subaru Telescope/Hubble Legacy Archive, 2011)

Tabela 4: Dados do raio e velocidade orbital de estrelas e gases da galáxia 2403

NGC 2403	
Raio (Kpc)	Velocidade (Km/s)
42,525	68
85,05	82
127,575	99
170,1	103
233,8875	115
318,9375	127
403,9875	127
489,0375	128
574,0875	128
659,1375	131
744,1875	136
829,2375	134
914,2875	134
999,3375	133
1084,3875	136

É interessante deixar claro que todos os valores presentes nas tabelas são valores reais. Isso faz com que os estudantes se sintam mais motivados para a realização das atividades.

Através da análise das curvas de rotação, espera-se que os estudantes percebam que a velocidade das estrelas nessas galáxias não cai como o esperado. Na verdade, a velocidade das estrelas possui valores muito próximos, mesmo estando bem afastadas do bojo da galáxia. É neste momento que iniciamos a discussão de o que pode estar afetando a velocidade das estrelas para que elas se comportem dessa maneira.

Eventualmente algum estudante acaba chegando à conclusão de que deve haver mais matéria na galáxia do que a que podemos enxergar. Caso os estudantes tenham dificuldades em fazer essa análise, pode ser feita uma conexão com o experimento das arruelas, lembrando a questão feita na primeira aula que pedia para que descrevessem o que acontecia com a velocidade da bolinha quando o número de arruelas era aumentado.

Aqui o professor pode fazer uma breve explicação de que o método que os estudantes utilizaram, o da análise da curva de rotação de galáxias, foi muito parecido com o que cientistas, como Vera Rubin e Kent Ford, utilizaram para obter as primeiras evidências da existência de matéria escura nas galáxias. Também é interessante incluir as contribuições de Fritz Zwicky que, mesmo não sendo levado a sério na época, foi o primeiro a perceber a discrepância nas velocidades de galáxias em aglomerados.

Aula 4 – Matéria Escura

Esta última aula é uma aula expositiva, onde uma breve explicação sobre a Matéria Escura e Modelo Padrão é feita. Esta aula pode ser realizada da maneira que o professor preferir. Como sugestão o professor pode mostrar um vídeo e fazer uma apresentação de slides.

O vídeo apresentado foi: “*O que é a Matéria Escura?*”, disponível no canal do Youtube *Ciência todo dia*. Ele pode ser acessado através do link:

<https://www.youtube.com/watch?v=GTSy0gYi4v8>

Para a elaboração da aula, caso o professor ou a professora deseje, pode consultar as referências bibliográficas presentes neste material.

Como nesta aula todos os conteúdos são integrados, é interessante planejá-la para que haja um bom tempo para discussões.

Após esta última aula, foi enviado um questionário final para avaliar tanto os estudantes quanto a UEPS. O questionário final está presente nos apêndices desta sequência didática.

Apêndice A – Questionário inicial

1. Você se interessa por ciência?
 - a) Me interesse muito por ciência.
 - b) Me interesse um pouco por ciência.
 - c) Não me interesse por ciência.

2. Você assiste a programas, documentários, lê livros ou revistas relacionados à ciência? Se sim, escreva os nomes dos que você se lembra.

3. Você se interessa por ficção científica? Escreva o nome de filmes, séries, livros ou jogos que você considera pertencerem a este gênero.

4. Na sua opinião, qual a importância de se estudar física?

5. Você prefere aulas expositivas ou experimentais?
 - a) Prefiro aulas expositivas.
 - b) Prefiro aulas experimentais.
 - c) Um pouco de cada uma.
 - d) Nenhuma das duas.

6. Escreva o motivo da sua resposta para a pergunta anterior.

7. Que tipo de conteúdo você gostaria de aprender nas aulas de física?
 - a) Leis do movimento.
 - b) Estrutura da matéria.
 - c) Física de partículas.
 - d) Relatividade especial.
 - e) Física Quântica.

- f) Cosmologia.
- g) Eletromagnetismo.
- h) Outro:

8. De acordo com o que você conhece, quais são os constituintes básicos de todas as coisas?

9. Quando você ouve falar em matéria escura, o que você imagina que seja?

Apêndice B – Questionário Final

1. Você considera que a forma como os conteúdos foram abordados foram:
 - a) De fácil compreensão.
 - b) De média compreensão.
 - c) De difícil compreensão.

2. Após as aulas sobre matéria escura seu interesse por ciências:
 - a) Aumentou.
 - b) Diminuiu.
 - c) Permaneceu o mesmo.

3. Você considera que o uso do experimento na aula facilitou o seu entendimento sobre o assunto?

4. Em qual aula ou assunto você sentiu mais dificuldade em entender? Qual foi o motivo para isso?

5. Como você descreveria a velocidade dos planetas do Sistema Solar à medida que vão se afastando do Sol?

6. O que é a matéria escura?

7. Quais são os constituintes básicos de todas as coisas? Ou seja, do que são formadas todas as coisas na Terra e no Universo?

8. Você gostaria que houvesse mais aulas onde assuntos mais atuais da física fossem discutidos? Justifique sua resposta

Apêndice C - Resumo sobre Galáxias e curvas de rotação

Conhecer a massa de galáxias ou de aglomerado de galáxias é importante não somente para estudarmos sua dinâmica e evolução de forma particular, mas também para estudarmos a evolução do Universo como um todo. Para estudarmos as galáxias precisamos saber qual é sua estrutura, pois existem diferentes tipos de galáxias no Universo. Embora existam uma infinidade de galáxias, podemos encontrar algumas características em comum entre elas, e assim elas foram classificadas em 3 grupos principais: o das galáxias espirais, o das galáxias elípticas e o das galáxias irregulares.

No grupo das galáxias espirais encontramos galáxias que quando vistas perpendicularmente ao seu plano de rotação apresentam uma estrutura espiral em torno de um bojo central. Nossa galáxia e a galáxia de Andrômeda são galáxias espirais. A Figura 6: Galáxia espiral M74 mostra um exemplo de uma galáxia espiral.

Figura 6: Galáxia espiral M74



Fonte: (ESA/HUBBLE)

No grupo das galáxias elípticas encontramos galáxias que apresentam formas esféricas ou elipsoidais. São galáxias que não possuem braços espirais. Algumas apresentam forma mais alongada e outras apresentam forma mais achatada quando observadas da Terra. Um exemplo de galáxia elíptica é mostrado na Figura 7: Galáxia elíptica IC 2006.

Figura 7: Galáxia elíptica IC 2006



Fonte: [\(NASA/ESA/Judy Schmidt and J. Blakeslee, 2015\)](#)

No grupo das galáxias irregulares encontramos galáxias que não apresentam nenhuma simetria circular ou rotacional, são galáxias sem estrutura definida e muitas vezes parece um aglomerado caótico de estrelas. As Nuvens de Magalhães são dois exemplos desse tipo de galáxia, como mostrado na Figura 8: A Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães.

Figura 8: A Grande e a Pequena Nuvem de Magalhães



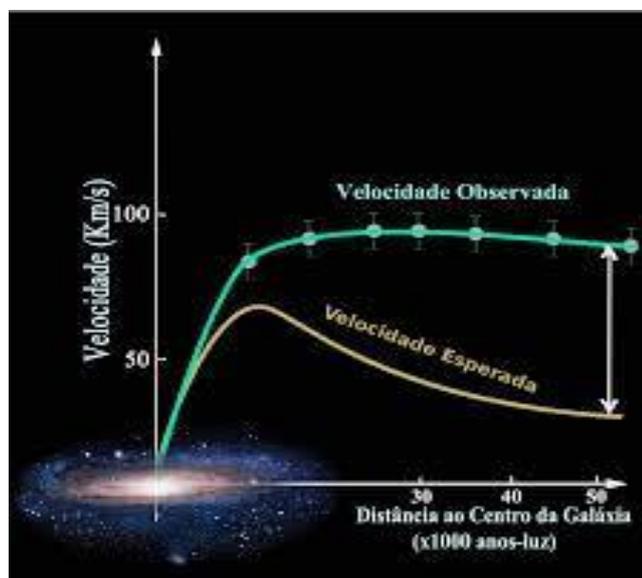
Fonte: A. Fujji (ESA/HUBBLE)

A análise da curva de rotação de galáxias é uma etapa muito importante para o desenvolvimento do produto educacional de que trata esta dissertação. Podemos criar gráficos com a curva de rotação de galáxias conhecendo a velocidade orbital das estrelas presentes nesta galáxia. Para as análises que serão realizadas utilizaremos dados de velocidades de galáxias espirais, onde podemos assumir que a maior parte de sua massa está concentrada no bojo (região central) e que as estrelas presentes no disco galáctico descrevem orbitas praticamente circulares em torno de seu centro. Assim, o movimento das estrelas do disco é determinado pela quantidade de matéria presente no bojo. Dessa forma, podemos estudar o movimento dessas estrelas utilizando as leis de Kepler, e de forma mais específica esperamos que as estrelas dessas galáxias obedeçam a terceira lei, a lei dos períodos.

De acordo com a terceira lei de Kepler, quanto mais afastado um corpo está do centro do sistema, maior será o período necessário para que este corpo dê uma volta completa em torno da região central e conseqüentemente menor será sua velocidade orbital. Isso ficou evidente quando fizemos um gráfico da curva de rotação dos planetas no Sistema Solar. No entanto, quando observamos as curvas de rotação das galáxias espirais os resultados são bem

diferentes, como podemos ver na Figura 9: comparação entre a curva de rotação observada e a esperada para uma galáxia espiral.

Figura 9: comparação entre a curva de rotação observada e a esperada para uma galáxia espiral



Fonte: (LIMA & SANTOS, 2019)

A curva de rotação da velocidade esperada é criada calculando a velocidade que as estrelas e os gases presentes no disco deveriam ter quando consideramos a quantidade de matéria visível presente no bojo da galáxia. Já a curva de rotação da velocidade observada é criada com os valores das velocidades que é obtida através análise do espectro das ondas eletromagnéticas emitidas pelas estrelas e gases presentes na galáxia. Isso é feito levando-se em consideração o Efeito Doppler das ondas eletromagnéticas, onde o comprimento de onda diminui para objetos que se aproximam do observador (desvio para o azul), e aumenta quando os objetos se afastam (desvio para o vermelho). Então, para medir a velocidade de rotação de uma galáxia, é feita uma comparação entre o espectro observado da galáxia e o espectro de uma fonte que não está em movimento. Em outras palavras, se vemos que de um lado da galáxia a luz está desviando para o azul e do outro lado a luz está desviando para o vermelho, sabemos que a galáxia está em

rotação e a medida desse desvio nos dá o valor da velocidade dessa rotação.
(WIKIPEDIA, 2019).

Apêndice D – Matéria Escura

Do que é feito o Universo? Esta pergunta vem sendo repetida desde que o ser humano começou a olhar para o céu e se questionar a respeito do que existe além de nosso planeta.

Por centenas de anos o ser humano acreditou que a matéria que existe em nosso planeta fosse diferente da matéria que compõe os corpos celestes. Por estarem no céu, acreditava-se que eram corpos perfeitos, feitos de alguma substância divina. Essa visão começou a mudar com a criação dos primeiros telescópios. Foi assim que Galileu, observando a Lua, percebeu que ela era cheia de crateras e tinha diversas imperfeições em sua superfície, ou seja, não podia mais ser considerada um corpo perfeito. Quando Newton desenvolveu sua teoria sobre gravitação ele demonstrou que a força que faz uma maçã cair aqui na Terra é a mesma força que mantém a Lua em órbita ao redor do nosso planeta. Mais tarde, com a descoberta e os avanços da espectroscopia, pesquisadores puderam determinar a composição de estrelas, nebulosas e galáxias, e com os resultados ficou evidente que a matéria que compões esses objetos é a mesma que compõe os corpos aqui na Terra. Essas descobertas deram ao ser humano a concepção fantástica de que somos parte do Universo. Assim passamos a olhar para o céu com maior interesse.

Uma das principais formas de observação do céu, desde os gregos antigos até os dias atuais, é através da luz dos objetos que chegam até nós. A luz sempre foi uma importante mensageira do que ocorre entre nós e o resto do Universo. A princípio nossas observações se restringiam apenas à luz visível que era emitida ou refletida por corpos fora do nosso planeta. Com a evolução do conhecimento e a criação de novos instrumentos, passamos a “ver” o Universo em outros comprimentos de onda do espectro eletromagnético e hoje temos imagens geradas por ondas de rádio, infravermelho, raios X, etc.

Mas voltando a questão inicial: do que é feito o Universo? Pensávamos que esta pergunta havia sido em parte respondida quando passamos a estudar o espectro da luz emitida pelos objetos do espaço e que chegam até nós. No

entanto, conforme novas evidências foram surgindo, o Universo parece não ser formado, em sua maior parte, da mesma matéria que compõem os átomos que conhecemos e que formam nosso planeta, as estrelas e as galáxias. Então a pergunta “Do que é feito o Universo?” passou a interessar, além da cosmologia, a física de partículas elementares, pois se a maior parte da matéria que compõe o Universo não é feita da mesma matéria que conhecemos, então deve existir algum tipo diferente de matéria, possivelmente formada por partículas exóticas que, até o momento, escaparam da detecção (SODRÉ, 2019).

O que sabemos até o momento é que toda a matéria que podemos “ver” nas galáxias (através de interações eletromagnéticas), corresponde a menos de 10% da massa total da galáxia. O restante da massa, que ainda não foi diretamente detectada, encontra-se no interior e em volta da galáxia. Essa matéria que corresponde a mais de 90% da massa da galáxia, foi chamada de matéria escura, pois ela não interage com a radiação eletromagnética, dessa forma não podemos “vê-la”. A evidência de sua existência se dá apenas por sua interação gravitacional. (SARAIVA, 2012?).

Uma das formas de se estudar a interação gravitacional da matéria em uma galáxia é através de sua curva de rotação. Podemos estudar a curva de rotação de galáxias utilizando somente conceitos básicos de dinâmica e gravitação. De todas as formas de se encontrar evidências da existência de matéria escura essa é a mais simples de entender e de ser trabalhada com estudantes de ensino médio, pois nos permite inferir a quantidade de massa “invisível” presente nas galáxias.

No projeto proposto iremos levantar discussões a respeito da matéria escura e dos constituintes do Universo, discussões que podem se tornar muito ricas, pois levam os estudantes a conhecerem uma das descobertas mais fascinantes do século XX, a de que a maior parte da massa de todo o Universo vem de um tipo de matéria que não conseguimos ver e nem sabemos o que é (XIMENES, 2016).

Evidências de matéria escura

As primeiras evidências de que havia mais matéria nas galáxias do que a observada foram obtidas pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898 - 1974). Por volta de 1930, ao estudar as observações de Hubble do aglomerado de galáxias de Coma, Zwicky chegou a resultados divergentes para a medida de massa total do aglomerado. Levando em consideração a quantidade de massa estimada através do brilho das galáxias do aglomerado, deveríamos observar as galáxias se moverem com certas velocidades, no entanto as galáxias no aglomerado estavam se movendo muito mais rápido do que deveriam, com velocidades tão altas não seria possível manter a coesão do aglomerado. Zwicky chegou à conclusão que deveria existir no aglomerado mais matéria do que a estimada observando apenas o brilho das estrelas das galáxias, um tipo de matéria ainda não observada, uma *matéria escura*. Em 1933 Zwicky publica suas descobertas no jornal da *Swiss Physical Society*. Na época seus resultados não foram levados muito a sério, pois seus dados tinham muitas incertezas e não eram totalmente confiáveis. Apesar do ceticismo dos físicos da época, devemos a Zwicky a criação do termo matéria escura que é usado até hoje. (NATURE, 2019).

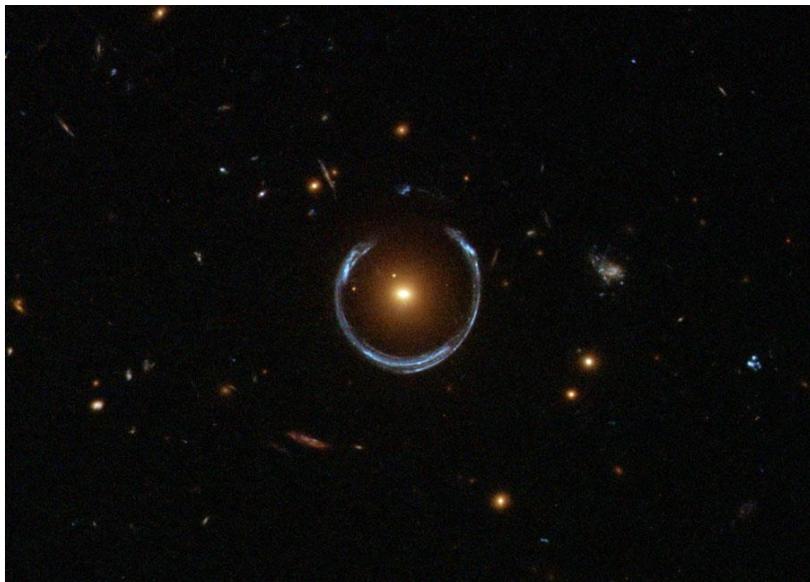
Passaram-se mais de três décadas até que o problema da matéria escura fosse abordado novamente. Com a evolução dos instrumentos astronômicos, medidas mais precisas puderam ser realizadas. Foi assim que por volta de 1970 dois astrônomos, Kent Ford e Vera Rubin, após fazerem observações bem cuidadosas a respeito da velocidade de rotação da galáxia de Andrômeda, puderam chegar a evidências observacionais da existência da matéria escura (RUBIN, 1970).

Outra forma indireta de detectar evidências da existência de matéria escura no Universo é através das lentes gravitacionais. De acordo com a Relatividade Geral de Albert Einstein (1879 - 1955), corpos massivos deformam o espaço-tempo fazendo com que ele seja curvado. A curvatura do espaço-tempo afeta os raios de luz desviando sua trajetória, semelhante ao que ocorre quando a luz passa por uma lente. Desse modo, quando a luz passa por regiões do espaço onde existem campos gravitacionais, alguns fenômenos ópticos

podem acontecer, dentre eles podemos citar a ampliação, duplicação e a distorção de imagens. A intensidade de uma lente gravitacional depende da massa do objeto que está causando o fenômeno e sua observação depende do alinhamento entre a fonte de luz, a lente gravitacional e o observador aqui na Terra. Dessa forma, observando os efeitos de lentes gravitacionais é possível calcular a massa dos objetos medindo o desvio que provocam na luz. (LOPES, 2014).

Um exemplo de uma lente gravitacional, conhecida como anel de Einstein, pode ser visualizado na Figura 10: Distorção da luz de uma galáxia ao passar próximo a um corpo massivo.

Figura 10: Distorção da luz de uma galáxia ao passar próximo a um corpo massivo



Fonte: Astronomy Picture of the day ([ESA/NASA/HUBBLE SPACE TELESCOPE](#), 2011)

Aglomerados de galáxias, que são estruturas formadas por um grande número de galáxias ligadas gravitacionalmente, também desviam os raios de luz que passam em sua vizinhança. Medindo os efeitos causados por lentes gravitacionais nesses aglomerados, cientistas puderam determinar a quantidade de matéria que está presente e chegaram à conclusão de que cerca de 80% dela é composta por matéria escura (LOPES, 2014).

Candidatos a matéria escura

A matéria escura é um tipo de matéria que interage muito pouco com a matéria comum, e por esse motivo acredita-se que ela pode ser formada por um tipo de matéria que não está presente no Modelo Padrão das Partículas Elementares.

O Modelo Padrão é uma teoria que descreve as partículas elementares de matéria e as interações entre elas. Partículas são consideradas elementares quando não são formadas por estruturas ainda menores. De uma forma simplificada podemos dizer que o Modelo Padrão é composto por dois tipos de partículas: as partículas de matéria, que são conhecidas como *férmions* e as partículas de interações que transmitem as forças, que são os *bósons*. Além disso, o Modelo Padrão também traz informações sobre a massa, a carga elétrica e o spin^1 de cada partícula. (MOREIRA, 2009).

As partículas que conhecemos até o momento podem interagir umas com as outras através de quatro forças fundamentais: a força eletromagnética, que ocorre entre partículas que possuem carga elétrica; a força nuclear fraca, que é responsável pelo decaimento de partículas instáveis; a força nuclear forte, que ocorre entre partículas com carga de cor, que é responsável por manter os prótons e nêutrons unidos no interior dos átomos; e a força gravitacional. A interação gravitacional não é descrita pelo Modelo Padrão e por esse motivo ele é considerado uma teoria incompleta.

Os férmions podem ser ainda divididos em duas “subcategorias”: os quarks que interagem através da força forte e se juntam em duplas ou trios para formar os núcleons, como os prótons e nêutrons, que possuem 3 quarks cada um; e os léptons que são partículas que interagem através da força fraca, alguns podem ter carga elétrica, como o elétron, que se junta aos prótons e nêutrons para formar os átomos que formam a matéria que conhecemos. (MOREIRA, 2009).

¹ Número quântico de uma partícula associado ao seu momento angular intrínseco.

Um desses candidatos seriam as WIMPs, sigla para *Weakly Interacting Massive Particles*, que pode ser traduzido como *partículas massivas de interação fraca*. As WIMPs são baseadas no modelo de supersimetria, que diz que cada partícula existente possui uma companheira supermassiva, e que algumas dessas partículas supersimétricas só interagem através da gravidade e da força fraca (MAKLER, 2019).

Existem dezenas de experimentos criados para tentar detectar a existência de WIMPs, dentre eles podemos citar o DarkSide e o Dama na Itália, o IceCube na Antártida e o SuperCDMS-SNOLAB no Canadá. Aceleradores de partículas, como o LHC (Large Hadron Colider), que fica no Cern localizado na fronteira entre a França e a Suíça, também buscam por evidências indiretas de partículas de matéria escura. Até o momento nenhum deles teve sucesso².

² O site de cada experimento pode ser encontrado nas referências “Experimentos”

Referências Bibliográficas

Astronomy Picture of the Day. Disponível em: <<https://apod.nasa.gov/apod/ap111221.html>> Acesso em: 25 mar. 2020.

Astronomy Picture of the Day. **Imagem da Galáxia NGC 2403**. Disponível em: <<https://apod.nasa.gov/apod/ap110723.html>> Acesso em: 22 set. 2020.

BEGEMAN, K. **HI rotation curve of spiral galaxies**. Orientador: Van Albada Tjeerd. 2006. 134 f. Tese de Doutorado, University of Groningen, Groningen, 2016.

BERTONE, G., HOOPER, D. **A History of Dark Matter**. Reviews of Modern Physics, Fermilab-pub. 2016. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1605.04909>> Acesso em: 22 fev. 2020.

ESA/HUBBLE. **Imagem da galáxia M74**. Disponível em: <<https://esahubble.org/images/heic0719a/>> Acesso em: 11 out. 2019.

ESA/HUBBLE. **Imagem da Grande e Pequena Nuvem de Magalhães**. Disponível em: <<https://esahubble.org/images/heic1623b/>> Acesso em: 11 out. 2019.

EXPERIMENTOS: **DAMA**. Disponível em: <<https://www.lngs.infn.it/en/dama>> Acesso em: 27 out. 2020. **DARKSIDE**. Disponível em: <<https://www.lngs.infn.it/en/darkside>> Acesso em: 27 out. 2020. **ICECUBE**. Disponível em: <<https://icecube.wisc.edu/science/research/#darkmatter>> Acesso em: 28 out. 2020. **LHC**. Disponível em: <<https://home.cern/science/accelerators/large-hadron-collider>> Acesso em: 28 out. 2020. **SUPERCDCMS**. Disponível em: <<https://supercdms.slac.stanford.edu/>> Acesso em: 28 out. 2020.

GUSMÃO, T. C., VALENTE, J. A., DUARTE, S. **A matéria escura no Universo: uma sequencia didática para o ensino médio.** Revista Brasileira de Ensino de Física. [S. l.], vol. 39, n. 4, e4504. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317140084_A_materia_escura_no_universo_-_uma_sequencia_didatica_para_o_ensino_medio Acesso em: 10 ago. 2020.

HUBBLESITE. **Imagem da galáxia NGC 2841.** Disponível em: <https://hubblesite.org/contents/media/images/2011/06/2821-Image.html> Acesso em: 22 set. 2020.

KRAUSS, L., M. **Dark Matter in the Universe.** Scientific American. V. 255, n. 6, p. 58 – 71. Dec. 1986.

LIMA, J. A. S., SANTOS, R. C. **Do Eclipse Solar de 1919 ao Espetáculo das Lentes Gravitacionais,** Revista Brasileira de Ensino de Física. [online]. 2019, vol. 41, suppl.1, e20190199. Epub Dec 13, 2019. ISSN 1806-9126. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172019000500204&script=sci_abstract&tlng=pt > Acesso em: 20, junho de 2020.

LOPES, R. J. **Lupas Cósmicas.** Pesquisa FAPESP, on-line, n. 223, set. 2014. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/lupas-cosmicas/> Acesso em: 20 mai. 2020.

MAKLER, M. **Matéria Escura: novos caminhos para detectar misterioso componente do Universo.** Ciência Hoje, on-line, 21 fev. 2019. Disponível em: <https://cienciahoje.org.br/artigo/materia-escura-novos-caminhos-para-detectar-misterioso-componente-do-universo/> Acesso em: 3 mar. 2020.

MOREIRA, M., A. **O Modelo Padrão da Física de Partículas.** Revista Brasileira de Ensino de Física. [S. l.], v. 31, n. 1, 1306. 2009

NASA. **Dados sobre os planetas do Sistema Solar. Planet Compare.** Disponível em: <<https://solarsystem.nasa.gov/planet-compare/>> Acesso em: 21 ago. 2020.

NASA. **Solar System Exploration.** Tabela de comparação dos planetas. Disponível em: <<https://solarsystem.nasa.gov/planet-compare/>> Acesso em: 27 jul. 2020.

NASA/ESA/Judy Schmidt and J. Blakeslee. **Imagem da galáxia IC 2006.** Disponível em: <<https://www.nasa.gov/content/goddard/death-of-giant-galaxies-spreads-from-the-core>> Acesso em: 11 out. 2019.

OBSERVATÓRIO NACIONAL. Representação da distribuição de matéria escura em torno de uma galáxia. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~joras/disciplinas/07.1/topicos/maia.pdf>> Acesso em: 14 out. 2020.

O QUE é matéria escura? Por Pedro Loos. 2020. 1 vídeo (11min49s). Publicado pelo canal ciência todo dia. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GTSy0gYi4v8>> Acesso em: 22 nov. 2020.

PERIMETER Institute. Recursos Educacionais. **O mistério da matéria escura.** Disponível em: <<https://resources.perimeterinstitute.ca/collections/lesson-compilations/products/the-mystery-of-dark-matter?variant=21717673246798>> Acesso em: 10 out. 2019.

PIVETTA, M. **Busca Incessante.** Pesquisa FAPESP, on-line, n. 265, mar. 2018. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/busca-incessante/>> Acesso em: 17 out. 2020.

RUBIN, V. **A Universal View Dark Matter in the Universe.** Scientific American, on-line, p. 106 – 110, 1998. Disponível em: <<https://www2.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2006/Jan/Rubin-Dark-Matter.pdf>> Acesso em: 11 jan de 2019.

RUBIN, V. C., FORD, W. K. **Rotation of the Andromeda Nebula from a spectroscopic survey of emissions regions.** The Astrophysical Journal, Chicago, v. 159, p. 379 – 403, 1970.

SARAIVA, M. F. O. **O conteúdo do Universo.** [2012?]. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/universo-atual.htm>> Acesso em: 20 mar. de 2019.

SODRÉ JR., L. **3. Classificação das galáxias.** [2008?]. Apresentação de Power Point. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~laerte/aga295/3_classificacao.pdf> Acesso em: 11 out. 2019.

SWART, J. **Deciphering dark matter: the remarkable life of Fritz Zwicky.** Nature, on-line, n. 573, p. 32 -33, 3 set. 2019. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/d41586-019-02603-7>> Acesso em: 28 nov. 2019.

THE PHYSICS Aviary. **Classic Circular Force Lab.** Disponível em: <<https://www.thephysicsaviary.com/Physics/Programs/Labs/ClassicCircularForceLab/index.html>> Acesso em: 5 jul. 2020.

WIKIPEDIA. **Imagem da galáxia NGC 3198.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/NGC_3198> Acesso em: 22 set. 2020.

WIKIPEDIA. **Modelo Padrão.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_Padr%C3%A3o> Acesso em: 5 out. 2020.

WIKIPEDIA. **Velocidade radial.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Velocidade_radial#:~:text=A%20velocidade%20radial%20de%20uma,de%20onda%20medidos%20em%20laborat%C3%B3rio.>> Acesso em: 25 set. 2020.