



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

A Matéria Escura
Material para o Professor

Samuel Jorge Carvalho Ximenes
&
Carlos Eduardo Aguiar

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Samuel Jorge Carvalho Ximenes, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2016

A Matéria Escura

Material para o Professor

Samuel Jorge Carvalho Ximenes

Carlos Eduardo Aguiar

1 Apresentação

Este trabalho apresenta uma sugestão de inserção do tema *matéria escura* no ensino médio. A matéria escura é um tópico de física contemporânea que pode ser inserido facilmente em um curso de física básica no nível médio como uma extensão dos estudos sobre gravitação. Os pré-requisitos para a introdução do conceito de matéria escura no ensino médio são, essencialmente:

- mecânica do movimento circular uniforme;
- leis de Kepler, em particular a terceira lei;
- teoria da gravitação newtoniana e órbitas circulares.

O material didático aqui apresentado não tratará desses temas, por supor que eles já foram apresentados aos estudantes. Se este não foi o caso, o uso deste material deve ser precedido pela discussão desses conteúdos, que podem ser abordados da forma tradicional.

O material didático tem duas partes: um texto dirigido aos estudantes e um conjunto de sugestões ao professor para elaboração de aulas sobre o tema. O texto para os estudantes, intitulado *A Matéria Escura*, está disponível em www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Samuel_Ximenes/materia_escura.pdf. Discussões mais detalhadas sobre a matéria escura, que podem interessar aos professores e alunos que desejem

aprofundar-se no estudo desse tema, estão na dissertação de mestrado que deu origem a este material didático.¹

As sugestões para a elaboração de aulas (*o material do professor*) são apresentadas no presente caderno.² Estas são constituídas por dois questionários a serem aplicados antes e depois da aula e os quadros para apresentação desta aula. Os questionários foram inspirados no método conhecido como *Ensino sob Medida*.³ O questionário anterior à aula insere o aluno na discussão do tema e indica ao professor dificuldades conceituais que poderão ser encontradas durante sua exposição. O questionário posterior à aula serve para avaliar se o aluno alcançou o nível de aprendizado esperado ou se será necessária uma discussão mais detalhada sobre determinado assunto. A sugestão de aula é baseada em uma apresentação feita a turmas do ensino médio. Os quadros *PowerPoint* da apresentação estão condensados neste caderno e um arquivo com quadros diretamente projetáveis em um auditório está em www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Samuel_Ximenes/aula_materia_escura.pdf . Um tempo de 50 minutos é suficiente para a exposição desta aula, nos moldes aqui exibidos.

¹Disponível em www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Samuel_Ximenes/dissertacao_Samuel_Ximenes.pdf .

²Disponível em www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Samuel_Ximenes/material_professor.pdf .

³I. S. Araujo e E. Mazur, *Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 30, n. 2, p. 362 (2013).

2 Questionários pré- e pós-aula



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física**

Questionário Introdutório para Aula sobre Matéria Escura Samuel Jorge Carvalho Ximenes

Nome do aluno:

Série:

Turma:

- 1) Cite algumas maneiras pelas quais se pode determinar se um corpo está num determinado lugar no espaço.
- 2) As respostas do item anterior mudariam se o corpo estivesse distante? De que maneira? E se o corpo estivesse muito distante (no espaço sideral, por exemplo)?
- 3) Leia agora o texto abaixo e reflita sobre seu conteúdo. Descreva como essa reflexão modifica (ou não) sua resposta ao item 2.

Netuno tem uma história intrigante. Foi Urano que levou astrônomos até Netuno. Urano, o sétimo planeta em relação ao Sol, é vizinho interior de Netuno. O astrônomo britânico Sir William Herschel e sua irmã Caroline descobriram Urano em 1781, 55 anos antes de Netuno ser observado. Pouco depois da descoberta, Herschel notou que a órbita de Urano não correspondia às previsões da teoria de Newton sobre a gravitação. Estudando Urano em 1821, o astrônomo francês Alexis Bouvard especulou que outro planeta estaria atraindo o planeta gigante, alterando o seu movimento.

Vinte anos depois, Urbain Le Verrier, da França, e John Couch Adams, da Inglaterra, os quais eram matemáticos e astrônomos, previram de forma independente a localização do misterioso planeta medindo como a ação gravitacional de um hipotético objeto oculto poderia alterar a trajetória de Urano. Le Verrier enviou uma nota descrevendo a localização prevista do novo planeta para o astrônomo alemão Johann Gottfried Galle, no

observatório de Berlim. Após duas noites em 1846, Galle descobriu e identificou Netuno como um planeta, com menos de um grau de erro da previsão da posição feita por Le Verrier. A descoberta foi aclamada como o maior sucesso da teoria de Newton da gravitação e do entendimento do universo.

Galle não foi o primeiro a observar Netuno. Em dezembro de 1612, enquanto observava Júpiter e suas luas com um telescópio caseiro, o astrônomo Galileu Galilei relatou Netuno em suas notas, mas como uma estrela. Mais de um mês depois, em janeiro de 1613, ele observou que a “estrela” parecia ter se movido em relação a outras estrelas. Porém, Galileu nunca identificou Netuno como um planeta, e aparentemente não foi adiante com suas observações, logo ele perdeu a oportunidade de receber o mérito da descoberta.

Netuno não é visível a olho nu, mas pode ser visto com binóculos ou um telescópio pequeno. Pode ser encontrado na constelação de Aquário, próximo à divisa com Capricórnio.

Tradução livre do texto encontrado em
http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/neptune-circuit.html
Visitado dia 23/08/2015

- 4) A 3ª lei de Kepler diz que $T^2/R^3 = k$, sendo T o período orbital, R o raio da órbita e k uma constante. A partir dessa lei determine a relação entre a velocidade V do corpo em órbita e o raio R dessa órbita.
Sugestão: Veja as equações e propriedades do movimento circular uniforme que relacionam velocidade e período.

- 5) A velocidade orbital obtida no item anterior cresce, diminui ou permanece constante à medida que o raio da órbita aumenta?

- 6) Em um carrossel girando com velocidade angular constante, qual é a relação entre a velocidade V de uma criança montada num brinquedo e a distância R desse brinquedo ao eixo do carrossel? Essa velocidade aumenta, diminui ou permanece constante à medida que a distância aumenta?



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física**

Questionário Final para Aula sobre Matéria Escura Samuel Jorge Carvalho Ximenes

Nome do aluno:

Série:

Turma:

- 1) Você hoje compreende como se comportam as velocidades dos planetas à medida que estes se afastam do Sol? Explique com suas palavras.

- 2) Você foi capaz de compreender os fatores que indicam a presença de matéria escura no universo? Cite algum que você lembre.

- 3) Qual a sua opinião sobre a inserção de tópicos atuais nos conteúdos programáticos do ensino médio?

- 4) O que você achou da aula sobre a matéria escura? Sinta-se livre para fazer qualquer tipo de comentário.

3 Aula sobre a matéria escura

MATÉRIA ESCURA

Samuel Ximenes

Objetivo

- O foco deste trabalho é tentar aproximar um assunto atual da física do ambiente escolar.
- Devemos acreditar que é possível aprender uma física contemporânea, sem ignorar sua relação com a física clássica estudada na escola.

Física contemporânea



Colisões de aglomerados de galáxias aprofundam mistério da natureza da matéria escura

Estudo mostra que substância cuja presença só é percebida pelos seus efeitos gravitacionais mal interage com outras concentrações dela mesmo, desafiando ideia mais aceita de que seria composta por partículas subatômicas ainda desconhecidas

Física contemporânea



Colisor de partículas volta à ativa e tenta explicar matéria invisível

tecnologia e saude | notícia

Movimento circular uniforme

- Da cinemática temos que:
- $v = \frac{2\pi r}{T}$ \longrightarrow perímetro da circunferência
- $v = \frac{2\pi r}{T}$ \longrightarrow período de uma volta



Movimento circular uniforme

- Se dois corpos tem o mesmo período, então eles percorrerão o mesmo ângulo no mesmo tempo.



Movimento planetário

- As excentricidades das órbitas elípticas, por serem muito pequenas, nos permitem fazer uma aproximação plausível: podemos adotar as propriedades do M.C.U. para as trajetórias dos planetas.
- Sendo assim, o período orbital de um planeta será dado por:

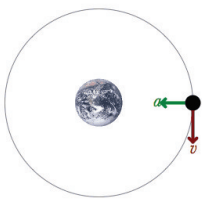
$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

Onde v é a velocidade média orbital.

Velocidade orbital

- Você é capaz de fazer alguma estimativa sobre a velocidade orbital dos planetas do sistema solar?
- Ela aumenta, diminui ou permanece a mesma a medida que o corpo se afasta do Sol?
- Qual a relação da velocidade orbital de um planeta com o seu período de revolução?

Dinâmica do movimento circular



$$F = m \cdot a$$

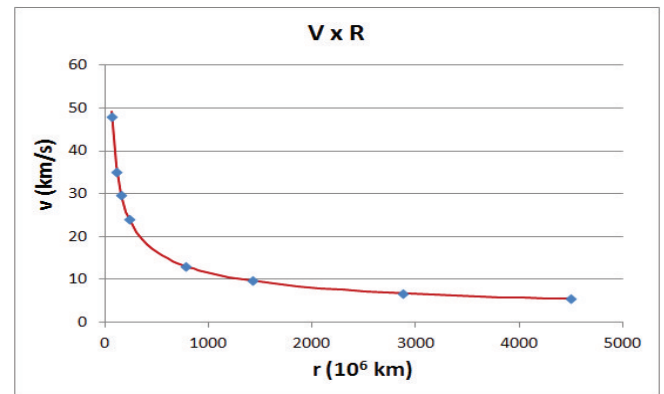
$$\frac{GMm}{R^2} = \frac{mV^2}{R}$$

$$V^2 = \frac{GM}{R}$$

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

A velocidade orbital é inversamente proporcional à raiz quadrada do raio médio da órbita.

Sistema solar



3ª Lei de Kepler

- Ela nos diz que o quadrado do período de revolução de um corpo é proporcional ao cubo do raio de sua órbita e que essa razão é constante para todos os planetas do sistema solar.

$$\frac{T^2}{R^3} = K$$

E qual seria esse valor de k ?

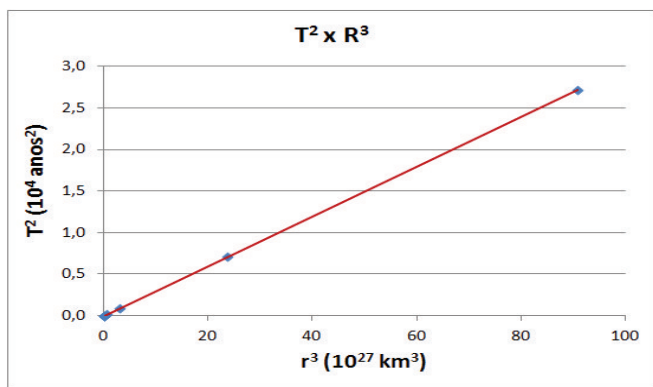
Relação de Kepler

Mas como $V = \frac{2\pi r}{T}$, temos:

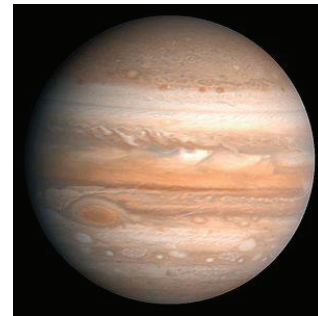
$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$
$$\frac{2\pi r}{T} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$
$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \frac{GM}{R}$$
$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

A mesma relação de Kepler escrita de suas formas diferentes.

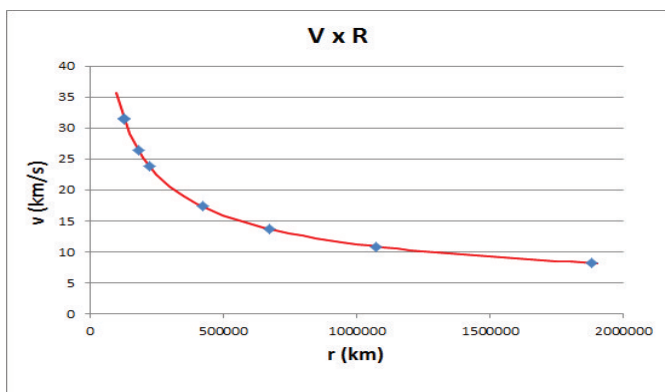
Sistema solar



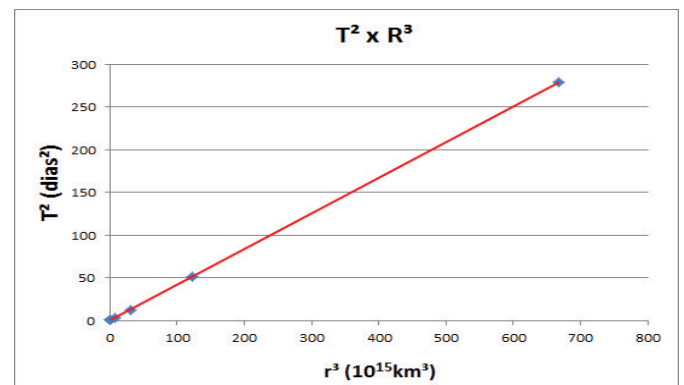
Luas de Júpiter



Luas de Júpiter



Luas de Júpiter



A confirmação da teoria

- Com a análise desses dois sistemas podemos perceber que eles confirmam a teoria de Kepler com uma precisão muito boa. Ambos possuem comportamento muito semelhante quanto às velocidades dos corpos que se afastam do centro massivo.
- Somos capazes de imaginar que o comportamento será semelhante em outros casos de corpos que orbitem em torno de uma região massiva central.

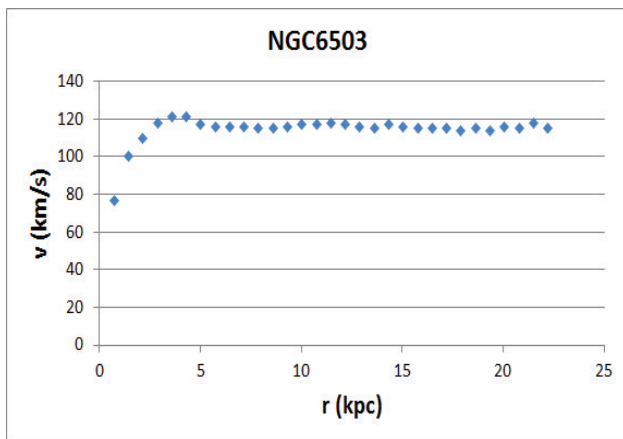
Galáxias

- Vamos estender nossas análises para sistemas um pouco mais afastados e complexos.
- Diferente dos casos vistos até aqui, em uma galáxia é possível fazer uma análise de uma órbita dentro e fora da região massiva central. As galáxias do tipo espiral são formadas por uma região central (bojo) e um disco, os quais contém toda a matéria luminosa.

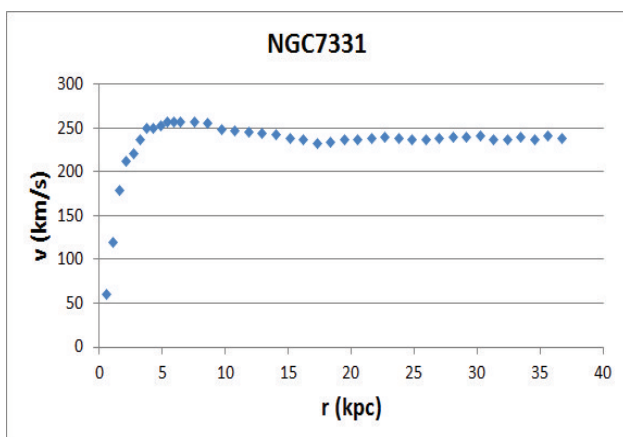
Exemplo de galáxia



NGC 6503

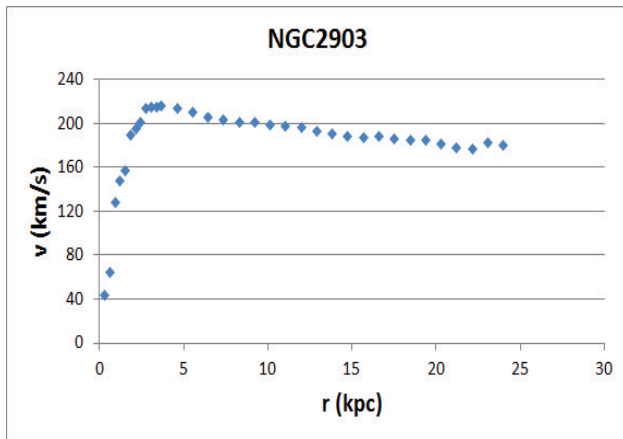


NGC 7331



NGC 2903





Discrepância

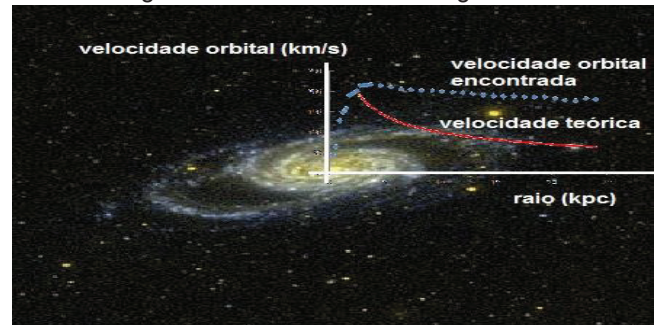
- Nessas três galáxias a velocidade orbital não cai, como era esperado pela relação de Kepler.
- Isso nos leva a pensar no que poderia estar errado.
- Vamos olhar novamente para a equação da velocidade orbital $V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

- Assumindo que a lei de Kepler é correta (poderia não ser), sendo a constante gravitacional um valor fixo, a medida que aumentamos a distância ao centro das galáxias, para a velocidade não estar caindo, a massa deve estar aumentando juntamente com o raio R.
- Só há um problema...

Velocidades muito altas

- As velocidades continuam crescendo para muito além de onde enxergamos a matéria visível das galáxias.



???

- O que poderia então ser responsável pelas velocidades que não diminuem?
- Foi perguntado no questionário prévio como poderíamos “observar” um corpo invisível e muito distante. Vejamos algumas das respostas de seus colegas.

Respostas dos alunos

- “Através de ouvir falar, tocar, de uma foto, revista, jornal, televisão, observação, experimentação, ciências (física, matemática, etc), mapas...”
- “Podemos determinar se um corpo está num determinado lugar se conseguirmos, com pelo menos, um dos nossos sentidos, com ajuda ou não de aparelhos, como : microscópios, telescópios, computadores.”

Respostas dos alunos

- “Ao se detectar, de alguma forma, que o corpo interage gravitacionalmente, atraindo e/ou sendo atraído em determinado ponto do espaço. Se conseguirmos observar o corpo e calcular sua distância do referencial, determinando sua posição. Através de imagens de satélite, onde pode se determina suas coordenadas (na Terra). Se pudermos interagir (tocando, sentindo, cheirando) com o corpo. Caso o corpo realize um movimento padrão, os sucessivos cálculos de sua distância até um referencial podem prever suas posições. ”

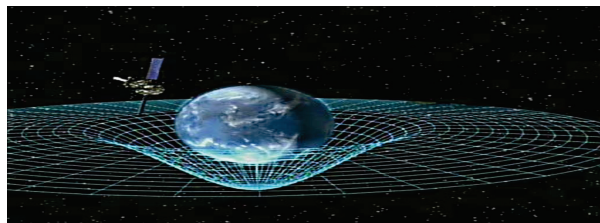
Matéria escura

- Foi o nome dado ao agente mais cotado para ser o responsável pelas velocidades orbitais encontradas anteriormente.
- Uma matéria extremamente massiva, que não emite luz ou qualquer outro tipo de radiação, mas que interage gravitacionalmente com os corpos próximos a ela.
- Podemos acreditar que a matéria escura está distribuída em um espaço muito maior que o que é ocupado por uma galáxia.



Outras evidências

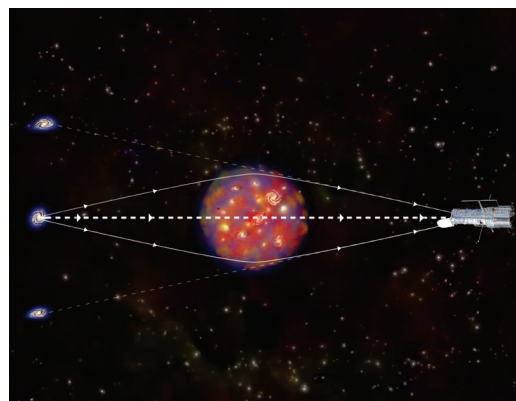
- Lentes gravitacionais
- A teoria da relatividade geral de Einstein diz que a massa de um corpo é capaz de deformar o espaço-tempo ao seu redor.



Lentes gravitacionais

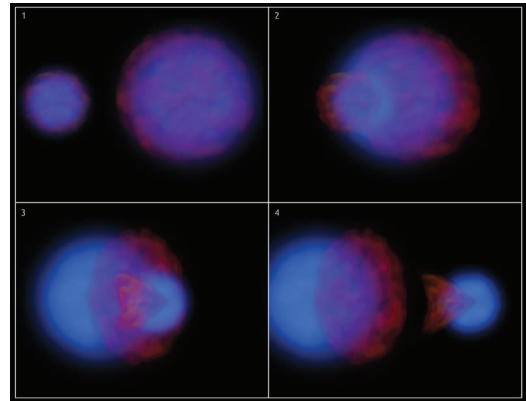
- Essa deformação no espaço seria capaz de alterar até a trajetória da luz.
- Essa alteração nos permite observar imagens de fontes luminosas que estariam obstruídas por corpos, visto que a luz é capaz de contornar esse obstáculo.

Lentes gravitacionais



Lentes gravitacionais

- No caso da matéria escura, sendo conhecida a deflexão sofrida pela luz é possível calcular a massa de uma região e compará-la com a massa visível desse local.
- O aglomerado da bala é uma das figuras mais famosas quando utilizamos lentes gravitacionais para falar da matéria escura. A colisão de dois aglomerados resultou em uma região com gás muito aquecido e uma região que permaneceu inalterada após o choque.



Conclusão

- Podemos enfim chegar a conclusão de que já foi descoberto muito sobre o nosso universo, mas que ainda há muito para aprendermos.

