

# Lentes Gravitacionais

Fernando Eustáquio Dantas dos Santos

*Tópicos em Física C (FIS045)*

*Introdução à Cosmologia*

*Depto. Física ICEX – UFMG*

*(06 de julho de 2010)*

A atração sofrida pela luz por ação de campos gravitacionais, é vista atualmente como uma importante ferramenta na compreensão da Astrofísica e Cosmologia moderna. O ensaio apresenta de forma esquemática e modestamente simplificada, os contextos históricos que levaram à descoberta desse intrigante fenômeno óptico, bem como os atuais avanços na análise dos efeitos provocados por estes verdadeiros telescópios naturais.

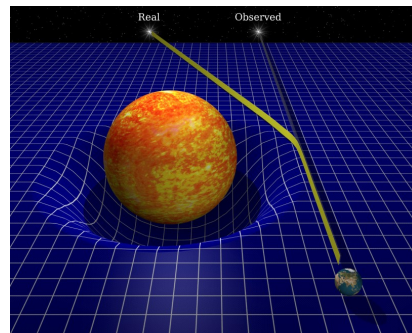
## I – Introdução

A luz sempre foi objeto de obsessão no meio científico. Desde a Grécia antiga, passando por cientistas renomados como Galileu, Newton e Einstein até os dias de hoje, a luz ainda incita nossa imensa admiração por essa onda que fascina, não só por iluminar o nosso dia-a-dia, mas também por ser prestimosa auxiliar nos avanços tecnológicos da humanidade. Alguns cientistas, dentre eles, os supra-citados não conseguiram explicar de forma satisfatória o comportamento dela. Mas, ainda sim, os avanços nos cálculos e as descobertas, principalmente nas astronomias, estão revolucionando a nossa forma de encarar o universo. Discutiremos aqui, alguns aspectos de extrema relevância no que tange à compreensão do cosmo: as Lentes Gravitacionais. Do que são feitas? Como funcionam? Para que servem?

É curioso como um fenômeno óptico tão conhecido desde a antiguidade, tem caminhado de forma vagarosa. O próprio Newton em seus ensaios sobre a *Opticks* (1703) já tratava a luz com uma natureza corpuscular. Sabemos hoje que a luz é composta de uma partícula desprovida de massa, que é o fóton. Como esta partícula sente os efeitos gravitacionais? Em 1783, Cavendish calculou o desvio newtoniano sofrido pela luz por efeitos gravitacionais, admitindo que a luz era de natureza corpuscular. Desde essa época, já se tinha uma idéia de que a gravidade poderia curvar a luz. Mas essa idéia começou mesmo a ter uma conotação mais contemporânea, com a Teoria da Relatividade de Einstein.

Partindo da idéia de que o fóton é uma partícula portadora de energia, então essa

energia deveria ter uma associação com a massa. Até então, em meados de 1905, quando Einstein propôs a Teoria da Relatividade Restrita, não se tinha qualquer vínculo dessa teoria com os efeitos gravitacionais. Mais tarde até 1915, Einstein perseguia um modelo gravitacional que fosse compatível com a Relatividade Restrita. Dessa forma, surgiu a Teoria da Relatividade Geral. Ainda em 1911, com a incompletude da Relatividade Geral, Einstein calculou o desvio sofrido pela luz por efeito da gravidade, encontrando o mesmo valor obtido por Cavendish. Com a sutil diferença de que, a curva descrita pela luz era devida à uma deformação do espaço em volta dos corpos massivos.



Já com a Relatividade Geral completa, os cálculos do desvio da luz, atingiram o dobro do que foi encontrado para o desvio newtoniano. Desde de 1912, antes da Teoria da Relatividade Geral, Einstein já tinha proposto aos astrônomos que medissem esse desvio através de um eclipse solar. Depois de algumas tentativas frustradas por parte de alguns astrônomos, Sir Arthur Eddington chefiou duas expedições em 1919 para medir esse efeito. Uma composta pelo próprio Eddington, rumou para a Ilha de Príncipe na África, a outra para Sobral

(CE). O mau tempo na África impossibilitou a medição. Já no Brasil, com tempo favorável, obtiveram as medidas e a comprovação do que Einstein tinha proposto diante de muita controvérsia que foge aos reais objetivos desse ensaio. A partir da fama obtida pela comprovação de Sobral, o efeito lente teve seu início na pauta de pesquisas científicas.

## II – Efeitos das Lentes Gravitacionais

Os efeitos produzidos pelas lentes podem ser classificados como fracos e fortes.

Os efeitos fortes, como as magnificações, são na verdade, as variações no brilho das imagens obtidas. Outro exemplo de efeito forte, são as imagens múltiplas e as distorções que aparecem nas mesmas. Os efeitos de multiplicidade e distorção, podem ser facilmente reproduzidos com a utilização de lupas comuns.

Os efeitos fracos, na verdade, derivam dos efeitos fortes. Podemos observar pequenas rotações, distorções, bem como pequenas magnificações. Estas últimas, detectadas estatisticamente.

Quando os efeitos são percebidos em derredor de nossa galáxia (com divisões de micro-segundo de arco) classificamos como Microlenteamento. Já, quando obtemos o lenteamento de um quasar bem distante por uma estrela fora de nossa galáxia, o classificamos como mililenteamento devido à escala angular ser feita em mili-segundo de arco. Finalmente, o Macrolenteamento, que produz as imagens mais bonitas, têm as Galáxias ou aglomerados de galáxias, como produtores desse efeito.

## III – Transformações das Lentes Gravitacionais

Podemos pensar nas lentes como um conjunto de transformações matemáticas. Quando uma lente é colocada entre uma fonte e um observador, ela forma uma estrutura chamada cáustica. Na verdade, é uma curva em forma de astróide que permite uma magnificação infinita em pontos fronteiros ou exteriores a ela. A forma da cáustica depende das características da lente. As figuras 1, 2 e 3 no anexo das últimas páginas exemplificam a

cáustica de um microlenteamento por um sistema binário.

A geometria dos efeitos de lenteamento são classificadas da seguinte forma: (fig.4)

1 – Esféricos - as imagens obtidas, aparecem em forma de anel (conhecido como Anel de Einstein)

2 – Alongada em forma de elipsóide – as imagens geram uma multiplicidade em forma de cruz (conhecida como Cruz de Einstein)

3 – Se forem disformes como aglomerados massivos, as imagens aparecerão em formas de arcos. (como formas de bananas)

## IV – Considerações finais

Para um futuro próximo espera-se a catalogação da ordem de milhares de efeitos provocados por lentes gravitacionais. Mas, contudo, a maior expectativa seja a definição real do que seja a energia escura. Com o DES (*Dark Energy Survey*), que é um projeto do qual o Brasil participa, ambiciona-se um mapeamento do céu através de um telescópio munido de uma câmera de 500 Mpx, com a finalidade de estudar o comportamento da energia escura no efeito de lenteamento. Como uma nova maneira de medir o efeito da matéria distorcer a luz, o lenteamento possibilita também, a descoberta de exo-planetas, bem como a comparação de teorias para um novo entendimento de uma ferramenta para compreensão da cosmologia e da Astrofísica de precisão.

## V – Referências

Soares, D.S.L. 2005a, *Newtonian Gravitational Deflection of Light Revisited*, <http://arXiv.org/abs/physics/0508030>

Soares, D.S.L. 2005b, *Einsteinian Blunders*, em

<http://arXiv.org/abs/physics/0502142>.

*Mancadas Einsteinianas*, em

<http://www.sica.ufmg.br/~dsoares/einstein/mancadas.htm>

Santos, A.C. 2005, *Microlentes*

*Gravitacionais: Lupas no Universo*, em

<http://www.observatorio.ufmg.br/passados.htm>

Makler, M. 2009, *Convite à Física: O Universo Visto Através de Lentes Gravitacionais*

[www.cbpf.br/martin](http://www.cbpf.br/martin)



Fig 1 - Microlente MOA 2002-BLG-33. Imagem obtida pelo Telescópio espacial Hubble (39 dias depois da máxima amplificação).

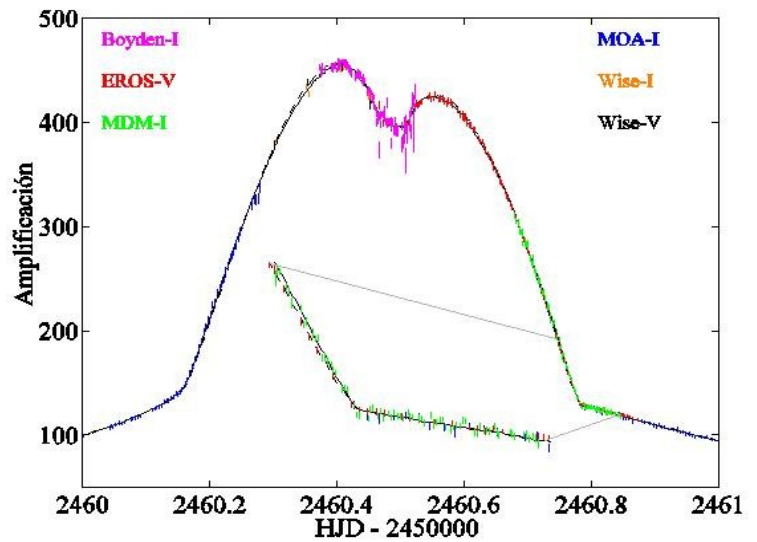


fig 2 - Curva de luz da microlente MOA 2002-BLG-33

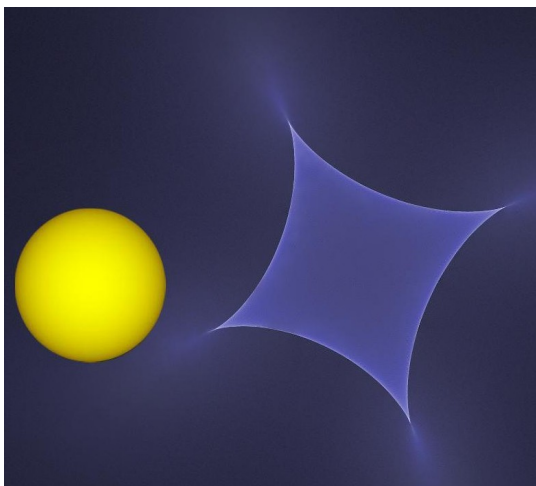
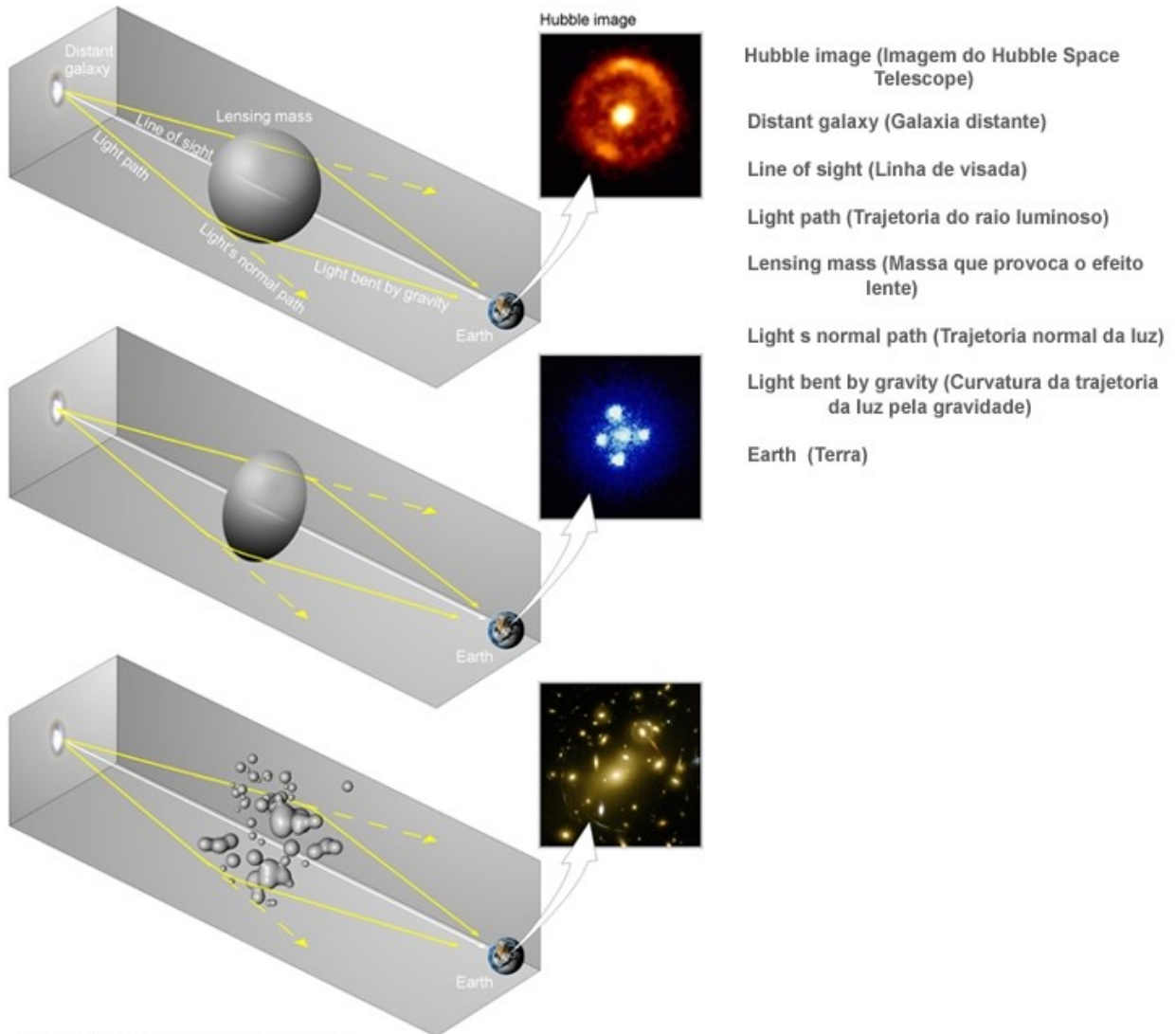


Fig 3 - Representação da microlente MOA 2002-BLG-33. A figura central em forma de diamante representa a cáustica.

Fig.4 - A ilustração obtida da "The Internet Encyclopedia of Science", crédito das imagens: European Space Agency. São ilustrados três casos de lentes gravitacionais. Se o objeto que produz a lente é esférico, a imagem aparece como um anel, conhecido como "Anel de Einstein"; se a lente é alongada, a imagem é uma "Cruz de Einstein" e se a lente é um aglomerado de galáxias, como Abell 2218, então aparecerão arcos inteiros e arcos parciais.



Hubble image (Imagem do Hubble Space Telescope)

Distant galaxy (Galaxia distante)

Line of sight (Linha de visada)

Light path (Trajetoria do raio luminoso)

Lensing mass (Massa que provoca o efeito lente)

Light's normal path (Trajetoria normal da luz)

Light bent by gravity (Curvatura da trajetoria da luz pela gravidade)

Earth (Terra)

copyright: European Space Agency