



# Projeto de Iniciação Científica

## de Miguel Quartin

orientador: Ioav Waga (IF/UFRJ)

### Experimento Ótico de Lentes Gravitacionais

## 1 Introdução

A idéia de que a gravidade pode influenciar o comportamento da luz é bem antiga. O próprio Newton [1] considerou a possibilidade de que os raios luminosos poderiam ser defletidos pelos corpos celestes. Soldner [2], no início do século XIX, usando a gravitação newtoniana e considerando que a luz consiste de partículas materiais, obteve uma expressão para o ângulo de deflexão. Em 1911, Einstein [3] reobteve a fórmula de Soldner usando o princípio de equivalência. Quatro anos depois, já no contexto da teoria da relatividade geral, ele obteve a fórmula correta para o ângulo de deflexão que é o dobro da expressão obtida por Soldner. De acordo com a relatividade geral o ângulo de deflexão de um raio que passa tangencialmente à superfície do Sol é,  $\alpha = 4[(M_{\odot} G)/(c^2 R_{\odot})] = 1.75''$ .

Lodge [4], em 1919, foi quem primeiro sugeriu que a luz poderia ser focalizada através de uma lente gravitacional e há registros de ter sido Eddington quem primeiro percebeu a possibilidade de obter-se imagens múltiplas de um único objeto devido a esse efeito. Einstein [3] em 1936 discutiu o efeito de lentes por estrelas mas concluiu corretamente que a probabilidade de sua observação seria muito pequena. Antes dele Chwolson (1924)[5] já havia sugerido que no caso de um alinhamento perfeito entre um observador e duas estrelas, o observador veria a imagem da estrela mais distante como um anel (anel de Einstein) em torno da estrela mais próxima. Em 1937, Zwicky [6] notou que haveria uma grande chance de observação de imagens múltiplas se ao invés de estrelas, galáxias fossem consideradas. Também observou que o efeito de lente gravitacional amplificaria a imagem da galáxia agindo como um telescópio natural.

O estudo de lentes gravitacionais e suas possíveis consequências teve um desenvolvimento lento até a década de 60. Em 1964 Refsdal sugeriu a utilização de lentes gravitacionais para estimar valores de parâmetros cosmológicos. A partir daí e principalmente após a confirmação da primeira lente em 1979 (detectada por Walsh, Carswell e Weymann [8]) o tema teve um rápido desenvolvimento (para uma revisão veja [7]). Na atualidade lentes gravitacionais constituem uma poderosa ferramenta

lentes gravitacionais [12]. Além disso, através do efeito de lente gravitacional é possível obter informação sobre a distribuição de massa do objeto defletor [11]. Como o efeito não depende da natureza nem do estado da matéria que constitui a lente, o efeito de lente gravitacional é muito adequado para detectarmos e quantificarmos a matéria escura no Universo.

## 2 Cronograma e objetivos

### 2.1 A física e as equações básicas da teoria de lentes gravitacionais

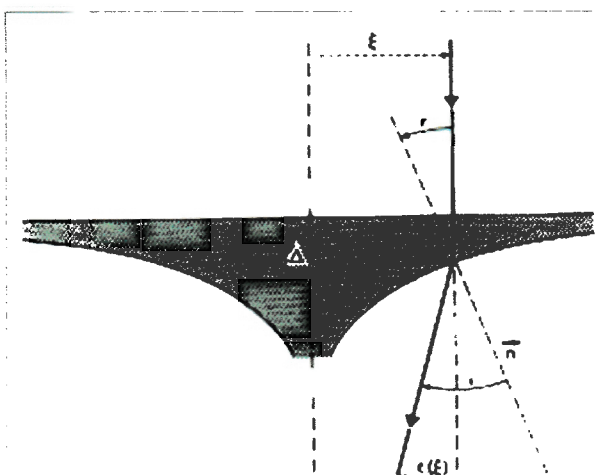
Em uma primeira fase o estudante deverá familiarizar-se com diversos aspectos da teoria de lentes gravitacionais [1]. Segue uma lista com alguns tópicos a serem estudados:

- A equação da lente.
- Distâncias em Cosmologia.
- Magnificação e paridade.
- Princípio de Fermat.
- Modelos de lente com simetria axial: massa puntiforme, esfera isotérmica singular e não singular.
- Assimetrias: modelos mais realistas para galáxias e aglomerados.
- Cáusticas e imagens múltiplas.

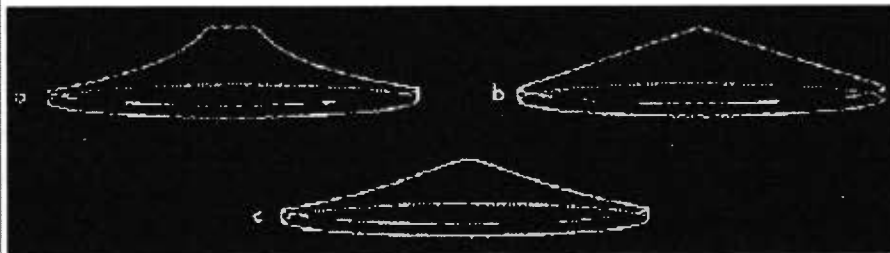
### 2.2 Experimento ótico de lente gravitacional

O objetivo final do projeto é construir três lentes de material plástico (plexiglas) que simulem o efeito de deflexão da luz de lentes gravitacionais [9,10]. Os passos a serem dados são os seguintes:

- 1) Determinação da forma das lentes óticas que simulem o efeito de lente gravitacional de três sistemas conhecidos: (a) massa puntiforme, (b) esfera isotérmica singular e (c) galáxia espiral.



2)  
Determinação  
dos valores  
de  
parâmetros  
relevantes e  
construção  
das lentes  
para os  
sistemas  
acima  
descritos.



3) Montagem  
do  
experimento  
ótico com a  
simulação de  
alguns casos  
observados:  
anel de  
Einstein  
(figura ao  
lado),  
imagens  
duplas e  
múltiplas  
(cruz de  
Einstein) e  
arcos.



## Referências

[1] P. Schneider, J. Ehlers, and E. E. Falco, "Gravitational Lenses", Springer: Verlag., (1992).

[2] J. Soldner, Berliner Astron. Jahrb., 1804, (1804).

[3] A. Einstein, Annalen der Physik 35, 898 (1911); A. Einstein, Science 84, 506 (1936)

[7] S. Refsdal, Monthly Notices Roy. Astron. Soc., **128**, 307, (1964).

[8] D. Walsh, R. F. Carswell, and R. J. Weymann, Nature, **279**, 381, (1979).

[9] S. Refsdal and J. Surdej, Reports Progress in Physics, **57**, 117, (1994).

[10] R. J. Adler, W. C. Barber and M. E. Redar, Am. J. Phys. **63**, June, (1995).

[11] L. Amendola, J. A. Frieman and I. Waga, Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **309**, 405, (1999).

[12] I. Waga and A. P. M. R. Miceli, Phys. Rev. **D59**, 103507, (1999).

---