

「重力レンズ」レンズの紹介

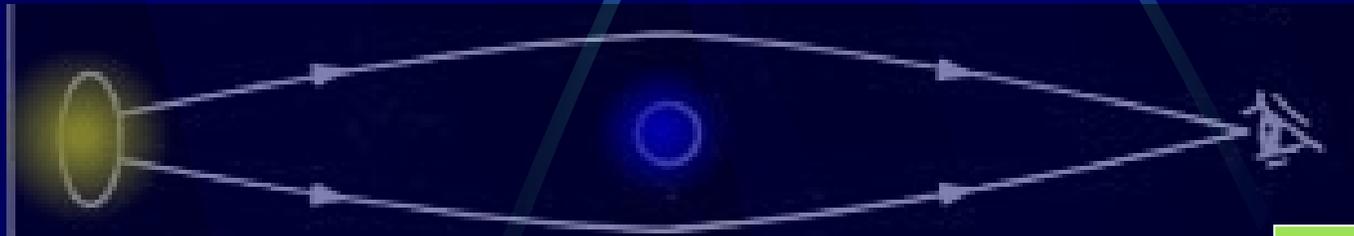
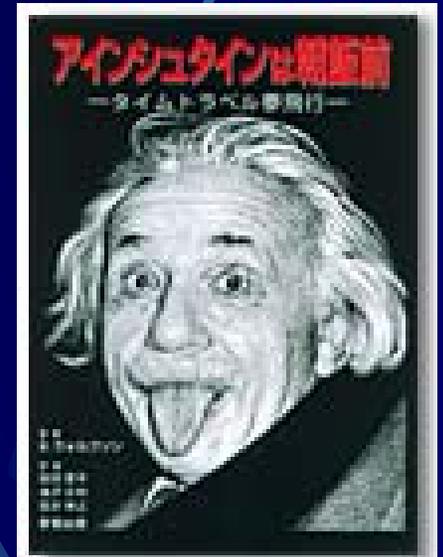


滝沢元和

(山形大学理学部物理学科)

光っていない世界を見る：重力レンズ

アインシュタインの一般相対論によると、重力とは時間空間のゆがみである。その結果、光も重力によって曲げられる。
重たい天体があたかもレンズのような役割をする（重力レンズ）



遠くにある天体

レンズ天体

観測者

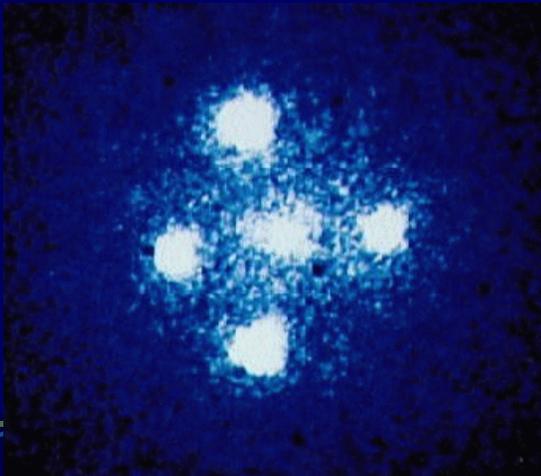
重力レンズ



背景にある天体からの光が重力によって曲げられる。曲げられ方は手前にあるレンズ天体の質量で決まる。

詳しく調べることで光っていない暗黒物質の量や分布がわかる

ふつうのレンズで重力レンズを再現できないか？



質点レンズの場合

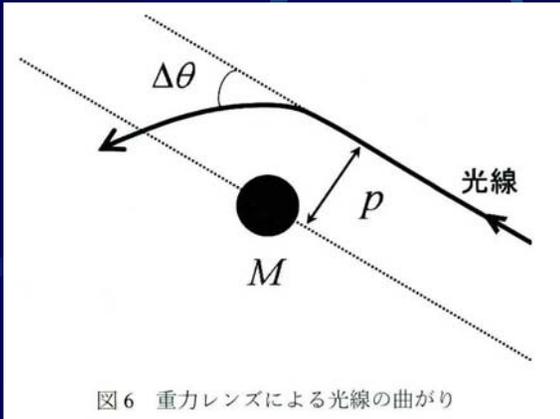


図6 重力レンズによる光線の曲がり

質点M、インパクトパラメータpでの光の曲がり角 $\Delta \theta$ は

$$\Delta \theta = \frac{4GM}{c^2 p}$$

一方、レンズ媒質の屈折率をnとするとスネルの法則より

$$n = \frac{\sin \phi}{\sin \psi} \simeq \frac{\phi}{\psi}$$

質点重力レンズによる光の曲がり

したがって、曲がり角 $\Delta \theta$ は

$$\Delta \theta = \phi - \psi \simeq (n - 1)\phi$$

レンズの光軸からの距離をr、厚みをzとすると、

$$\frac{dz}{dr} = -\tan \phi \simeq -\phi$$

すなわち、

$$\frac{dz}{dr} = -\frac{1}{n-1} \Delta \theta$$

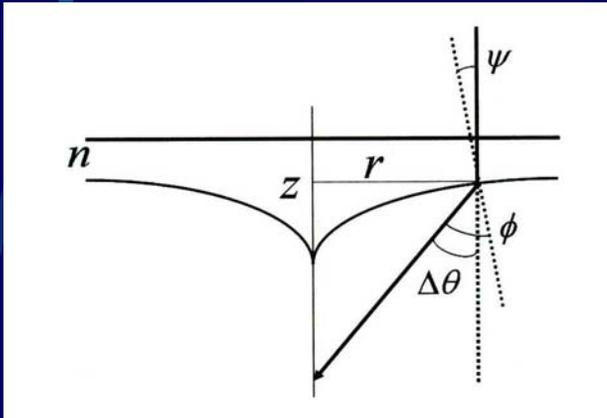
したがって、質点レンズを再現するには、

$$\frac{dz}{dr} = -\frac{4GM}{c^2} \frac{1}{(n-1)r}$$

$$z = -\frac{4GM}{c^2} \frac{1}{(n-1)} \ln r + C$$

上と等価なレンズによる光の曲がり

つまり、対数曲線型なレンズを作ればよい。



銀河・銀河団みたいなもの (等温球レンズ)

singular isothermal sphere (SIS) $\rho(r) \propto r^{-2}$
(flat rotation curve を再現する球対象モデル)

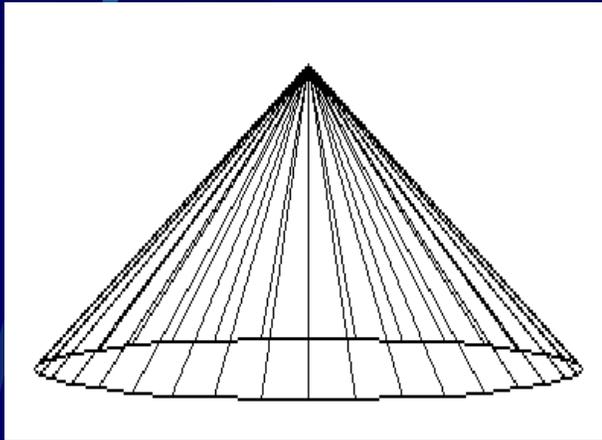
このとき、半径 r の円筒面内に含まれる全質量を
 $M(r)$ とすると、 $M(r) \propto r$
したがって曲がり角 $\Delta\theta$ は以下のように一定となる。

$$\Delta\theta = \frac{4GM(r)}{c^2 r} = C$$

したがって、レンズの形状は以下のよう。

$$\frac{dz}{dr} = -\frac{\Delta\theta}{n-1} = -\frac{C}{n-1}$$

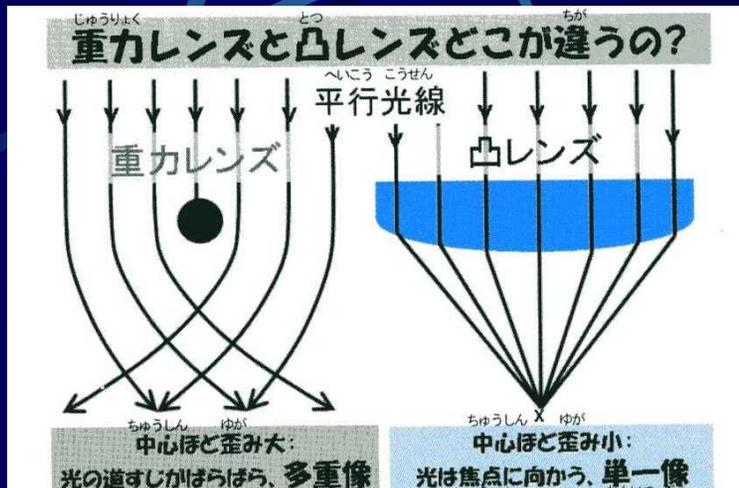
傾き一定、つまり、円錐型のレンズとなる。



「重カレンズ」レンズ @山形大宇宙研

- 「出前講義とかであると便利だよね、、」ということで柴田さんが教養教育用の予算で申請
——>見事採択!!!!
 - 株式会社サワダプラテック(浜名さん情報)
 - 20+ α 個で約10万円
 - 円錐型レンズ(SISをemulate)
 - 国立天文台、東北大、愛媛大、大阪教育大にもいくつか同種のものがあるようです
- 寒河江高での出前講義(2007. 9. 12)で実戦デビュー
- ちなみに、頑張れば自作も可能らしいです。
(see 天文月報の横尾さんの記事)

「重カレンズ」レンズ



お手元の紙とレンズ
でしばし遊んでみて
ください

以下の用途にいかが

- 出前講義

- 重力レンズ現象を身近にかつ直感的に感じることができる。
- 参加者に渡して自分で適当にいじらせておけば、気分転換にもなるし、時間調整にもなる。

- 研究のアイデア探し

- てもとのレンズと実際の天体画像とを見比べてあれこれ

- 現実逃避etc

- あんまりやっていると気分が悪くなる気も

より詳しい話は以下の参考文献を ご覧ください

- 「手作り重力レンズのすすめ」
横尾、加藤、蜂屋、福江
1998 天文月報 91, 543
- 宇宙の蜃気楼「重力レンズで見る世界」:
第7回こどものためのジオ・カーニバル活
動報告
渡會 ほか
2007 天文月報 100, 234