1

کیهان‌شناسی - جلسه ۱۱ - ۸۷/۱/۲۶

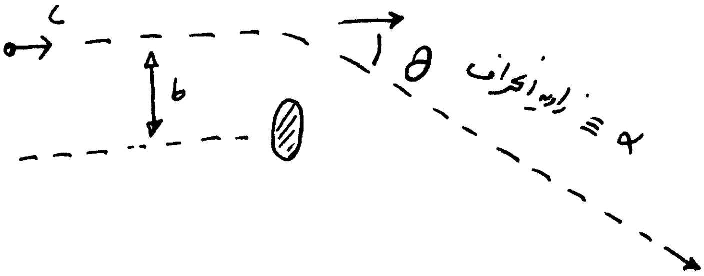
همگرایی گرانشی

منبع: Gravitational Microlensing
Joachim Wambsganss
astro-ph/0604278

تاریخچه:

در سال 1801 توسط Soldner، همگرایی گرانشی را با مکانیک نیوتنی بدست آورده بود

$$\hat{\alpha} = \frac{2GM}{c^2 b}$$

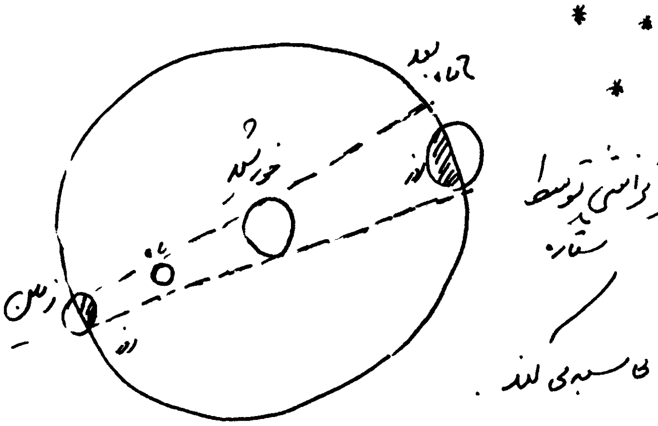


b: پارامتر برخورد

- در سال 1917 متریک شوارتزشیلد معرفی شد. با محاسبات نسبیت عام

$$\hat{\alpha}_{G.R} = 2\alpha = \frac{4GM}{c^2 b}$$

- 1919 - ادینگتون تست انحراف نور در زمان خورشید گرفتگی، ستارگان اطراف خورشید را می‌بینیم.
مقایسه تصاویر ستاره‌های زمینه ۶ ماه بعد
پی به انحراف نور برد.



- 1936 - Mandl مهندس چک پیشنهاد همگرایی گرانشی توسط ستاره به ستاره را به انیشتین می‌دهد.
انیشتین احتمال دیدن این رویداد را در کهکشان کم محاسبه می‌کند.

- در دهه 70 - همگرایی گرانشی مشاهده می‌شود
- 1937 زویکی همگرایی کهکشان با کهکشان را (نشانی برای ماده تاریک)
- 1964 Refsdal - Chang همگرایی ستاره به ستاره را مطرح می‌کند
- 1981 Gott با استفاده از همگرایی گرانشی، ماده تاریک داخل کهکشان را اندازه‌گیری کنیم.
- 1986 paczynski - مطرح شدن Microlensing
- چالز الکوک Harvard تلسکوپ به صورت اختصاصی برای Microlensing

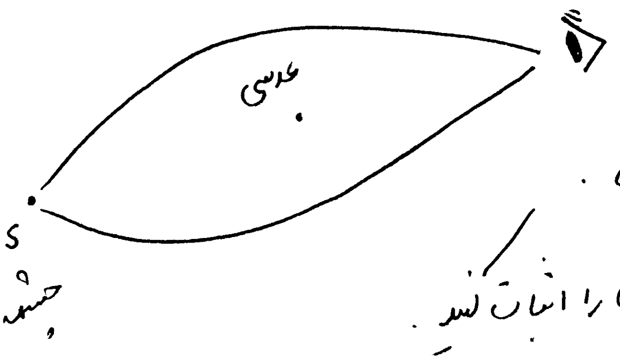
- 1993 اولین رویداد ریزهمگرایی گرانشی - در مقاله Nature

گروه‌های فعال در Microlensing

MACHO
EROS
MOA
OGLE
planet
SuperMACHO
MicroFUN

از هر 10^6 ستاره کهکشان تقریباً یک ستاره می‌تواند در راستای ستاره دیگر قرار بگیرد. در زمان انیشتین امکان‌پذیر نیست اما پس از تکنولوژی CCD - می‌توان با استفاده از تلسکوپ‌های "Wide field" ستاره‌های زیادی را نورسنجی کرد.

CCD: وسیله حساس به نور که به وسیله فوتوالکتریک کار می‌کند. و الکترون‌های آزاد شده را به صورت digital ثبت می‌کند.



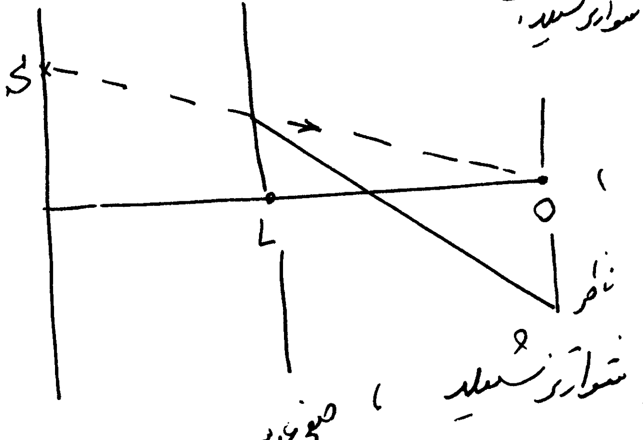
۱) پرتو نور همواره در صفحه‌ای باقی می‌ماند که توسط عدسی - چشمه و ناظر ساخته شده است.

* تمرین: با استفاده از نسبیت عام گزاره فوق را اثبات کنید.

۲) همگرایی گرانشی تابع از طول موج چشمه نیست. چون ژئودزی مستقل از طول موج است.

۳) انتظار داریم دو تصویر برای همگرایی گرانشی ساده تشکیل شود.

تصاویر کل تخت - مینکوفسکی است ولی تصاویر صفحه عدسی شوارتزشیلد است



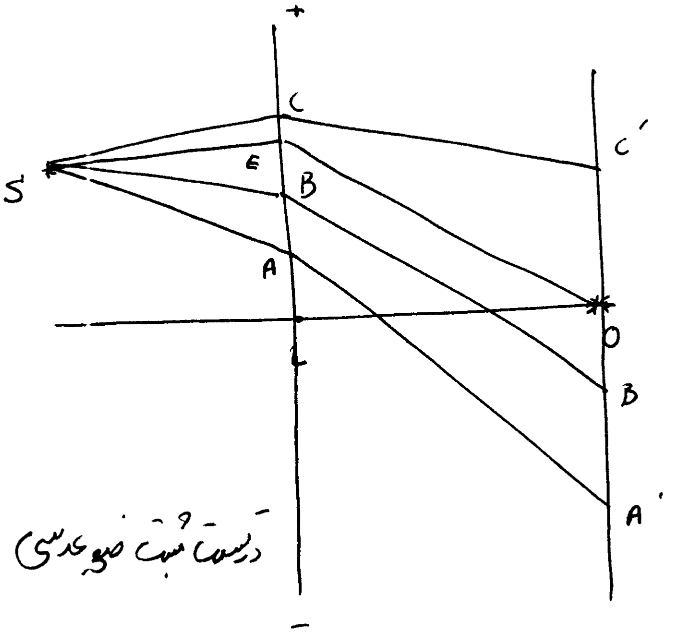
(محوری ناظر - عدسی)

(صفحه عدسی) متریک شوارتزشیلد

$$\alpha = \frac{4GM}{c^2 b}$$

نگاشت یک به یک بین نقاط روی صفحه عدسی و صفحه ناظر (آشکارساز) وجود دارد

3,



درنتیجه اگر در نقطه O قرار بگیریم حتما یک پرتو از قسمت مشابه به O می رسد.

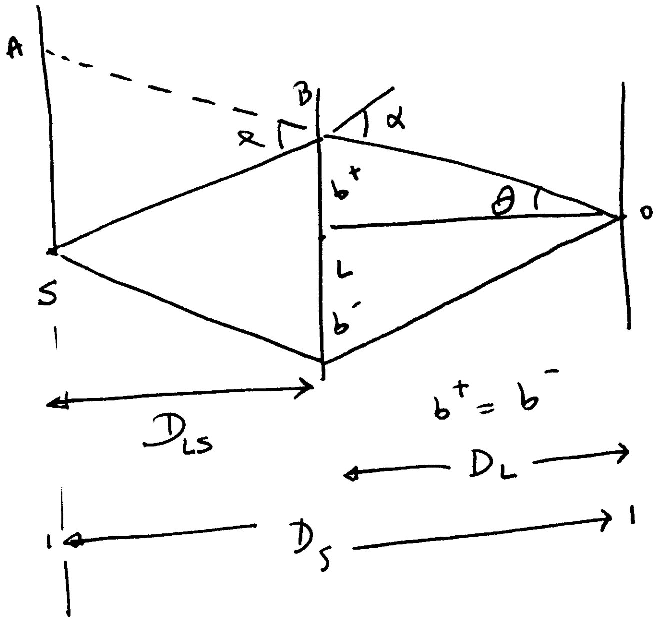
همچنین برای قسمت پایین نیز می توان یک پرتو دریافت کرد.

درنتیجه دو تصویر تشکیل می شود.

در حالت خاص اگر سه جسم ناظر، عدسی و چشمه در یک خط باشند تعداد تصاویر بی نهایت خواهد بود. (تقارن)

به ازای یک تصویر، Ring ساخته می شود.

"حلقه انیشتین"



$\overset{\Delta}{OLB}$:

I $\left\{ \theta = \frac{b}{D_L} \right.$

II $\left\{ \begin{array}{l} \overset{\Delta}{ABS} \\ \alpha = \frac{AS}{D_{LS}} \end{array} \right.$

$\overset{\Delta}{OAS}$:

III $\left\{ \theta = \frac{AS}{D_S} \right.$

$$\xrightarrow{\text{II, III}} \left\{ \begin{array}{l} \theta D_S = \alpha D_{LS} \\ \alpha = \frac{4GM}{c^2 b} \end{array} \right. \rightarrow \theta D_S = \frac{4GM}{bc^2} D_{LS}$$

$$\rightarrow \theta_E = \frac{4GM}{bc^2} \frac{D_{LS}}{D_S}$$

Einstein-angle

$$\theta_E = \frac{R_E}{D_L} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_E = \frac{4GM}{bc^2} \cdot \frac{D_{LS} D_L}{D_S} \\ b \approx R_E \end{array} \right.$$

1

$$R_E^2 = \frac{4GM}{c^2} \cdot \frac{D_{LS} D_L}{D_S}$$

$$R_E = (2 R_{sh} \cdot D)^{\frac{1}{2}} \qquad D = \frac{D_{LS} D_L}{D_S}$$

R_{sh} ← شعاع شوارتزشیلد

D ← مرتبه فواصل لنز

- محل تشکیل تصاویر حاصل از همگرایی گرانشی از مرتبه شعاع انشتین است.

$$\theta_E = \left(2 R_{sh} \frac{D_{LS}}{D_S D_L}\right)^{\frac{1}{2}}$$

θ_E : نشان دهنده میزان قدرت عدسی است.

■ در مقیاس کهکشان:

ستاره‌ها

$R_S \sim 1 Km$

$D \sim 10 Kpc$

$$\theta_E \sim \left(\frac{1Km}{10 Kpc}\right)^{\frac{1}{2}} \sim 10^{-17/2} \times \frac{180}{\pi} \times 3600$$

$\theta_E \sim 10^{-3} a.s = mas \sim \mu a$

mili lensing — Micro lensing.

قدرت تفکیک تلسکوپ‌های زمینی Arc Second است.

■ مقیاس کیهانی

$D \sim Gpc$

$R_S \sim 10^{11-12} Km$ مربوط به کهکشان

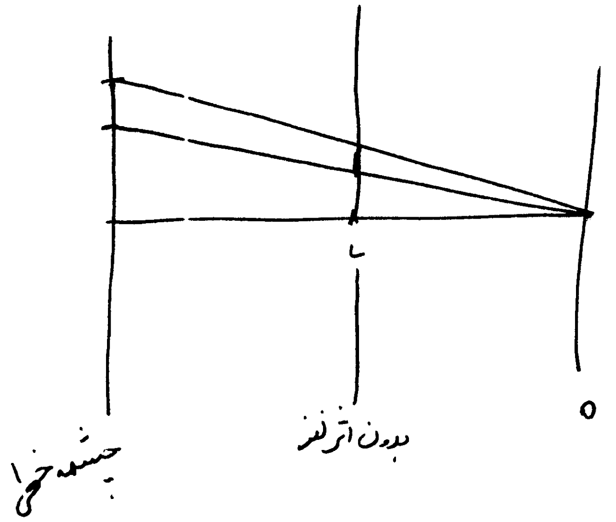
$$\theta_E = \left(\frac{10^{11-12} Km}{10^6 Kpc}\right)^{1/2} = \left(\frac{10^{+11}}{10^{22}}\right)^{\frac{1}{2}} \sim 10^{-11/2} \sim 10^3 \theta_E$$

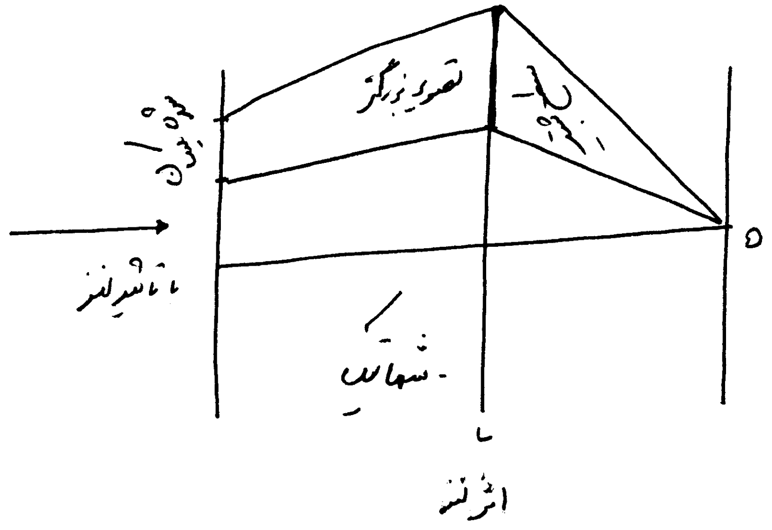
θ_E ← کیهانی

$10^3 \theta_E$ ← کهکشانی

$\sim 1as$

قدرت تلسکوپ زمینی



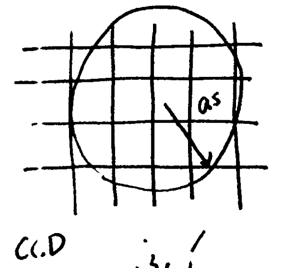


اثر تقویت نور در اثر همگرایی گرانشی :

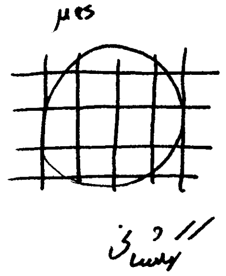
اگر تلاطم جو نداشته باشیم، تنها اثر پراش حاصل از عدسی تلسکوپ است.

$$\theta_{\text{پراش}} = \frac{\lambda}{D}$$

اما بدلیل تلاطم جو، تصاویر هاله‌ای خواهیم داشت



تک تصویر

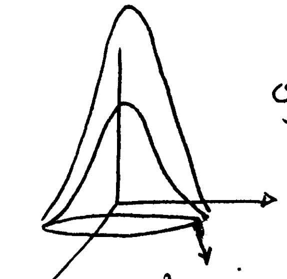


point Spread function.

چند تصویر که درهم ادغام شده اند

بدلیل تلاطم جو

شار بیشتری به CCD خواهد رسید.



نکته - بدلیل افزایش سطح انرژی بیشتری به CDD می‌رسد.

درنتیجه چون نمی‌توانیم تصویر را ببینیم می‌توانیم تقویت نور را ببینیم

از آنجایی که لنز و چشمه و ناظر دینامیک دارند، پدیده ریزهمگرایی گرانشی تغییر در زمان دارد.

درنتیجه پدیده لنز در داخل کهکشان دینامیک دارد، درحالی که پدیده لنز در مقیاس کیهانی استاتیک است

بدلیل احتمال بسیار کم عبور دو کهکشان در راستای هم