

لنزینگ گرانشی

زهرا اکبری

دانشجوی کارشناسی فیزیک دانشگاه صنعتی شریف

۳۰ تیر ۱۳۹۹

۱ مقدمه

به خم شدن نور در اثر میدان های گرانشی لنزینگ گرانشی گفته می شود. هنگامی که جسم سنگینی با جرم قابل توجه میان منبع نور و آشکارساز قرار می گیرد، پرتو نور گذرنده در اثر میدان گرانشی جسم سنگین خم می شود و لنزینگ گرانشی رخ می دهد. در چند دهه ی اخیر بررسی این پدیده به ابزاری کاربردی در اخترفیزیک مبدل شده است. مقاله پیش رو از به بررسی برخی ویژگی های این پدیده فیزیکی از دیدگاه نیوتنی خواهد پرداخت.

۲ تاریخچه

برای اولین بار در سال ۱۹۱۹ در رصد های آرتور استنلی ادینگتون در طول خورشید گرفتگی ۲۹ مه ۱۹۱۹ پیش بینی خم شدن نور توسط میدان های گرانشی تایید شد. در سال ۱۹۷۱ والش، کارزول و ویمان در رصد هایشان متوجه یک جفت کوزار با قرمز گرایی مشابه حدود $1/4$ شدند که جدایی زاویه ای شان تنها ۶ ثانیه قوسی بود. با بررسی طیف نورسنجی کاملاً مشابه این دو جرم آسمانی به نظر می رسید که این دو در واقع یک کوزار هستند که تصویرشان به دو قسمت تقسیم و بازتاب شده است. با کشف کهکشانی با قرمزگرایی $0/36$ در خط فاصل ما و کوزار این فرضیه تایید شد. با اینکه ساز و کار لنزینگ گرانشی به طور نظری بسیار پیش از این بررسی شده بود، مطالعات جدی بر روی این پدیده با داده های تجربی کسب شده در این رصد ها شدت گرفت.

۳ انواع لنز گرانشی

لنز گرانشی قوی : در این حالت تصاویر متعددی از منبع نور تشکیل می شود. معروف ترین مثال آن صلیب انیشتین نامیده می شود که تصویر کوازاری در فاصله ۸ میلیارد نوری از ما توسط لنز گرانشی قوی ۴ بار تکرار شده است.



شکل (۱): صلیب انیشتن

لنز گرانشی ضعیف: در این حالت یک یا بعضی از تصاویر دیده نمی شوند، در عوض تصویری که از منبع دیده می شود تغییر شکل داده ی تصویر اصلی ست. (شکل ۲)

	< 0	> 0
κ		
$\text{Re}[\gamma]$		
$\text{Im}[\gamma]$		

شکل ۲

میکرو لنزینگ: در این حالت نه چند تصویر تشکیل می شود و نه شکل تصویر تغییر می کند. تنها اثر لنز، تغییر شار قابل مشاهده (بزرگنمایی) ست.

۴ زاویه انحراف

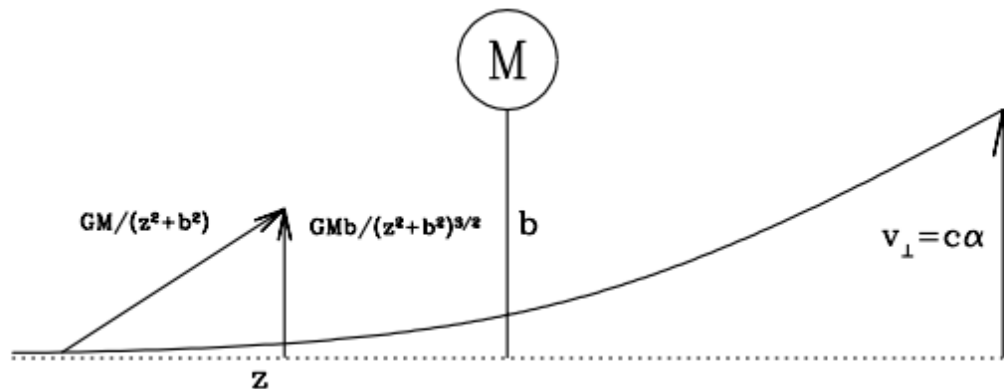
زاویه بین مسیر اولیه نور و مسیر خم شده زاویه انحراف نامیده می شود. در اینجا با ساده سازی هایی از دیدگاه مکانیک نیوتنی این زاویه به دست آورده می شود.

۴.۱ لنز و منبع نور در یک راستا

برای سادگی منبع نور را نقطه ای فرض کنید. پرتو نوری را در نظر بگیرید که در فاصله موثر b از جرم m قرار دارد. (شکل ۱)

می دانیم شتاب گرانشی وارد بر آن برابر است با

$$a = \frac{Gm}{b^2 + z^2}$$



شکل ۱: پرتوی نور گذرنده از کنار جسم

مولفه ی عمودی این شتاب برابر خواهد بود با:

$$a_t = \frac{Gm}{b^2 + z^2} \frac{b}{\sqrt{b^2 + z^2}}$$

$$= \frac{Gmb}{\sqrt{(b^2 + z^2)^3}}$$

همچنین داریم:

$$v_t = \int a_t dt = \int \frac{a_t}{c} dz = \frac{2Gm}{bc}$$

اگر زاویه انحراف کوچک باشد با تقریب می توان گفت:

$$\theta = \frac{v_t}{c} = \frac{2Gm}{bc^2}$$

عبارتی که با استفاده از مکانیک نیوتنی و تقریب زاویه کوچک برای زاویه انحراف به دست آورده شد دقیق نیست. با نوشتن معادلات دقیق و استفاده از نسبیت عام به مقدار دو برابر عبارت بالا یعنی $\frac{2Gm}{bc^2}$ می رسیم. در واقع همین عامل ۲ زمینه ساز بررسی صحت نظریه نسبیت عام شد. رصد های ادینگتون در خورشید گرفتگی ۱۹۳۰ و اندازه گیری زاویه بالا در عمل نشان داد نسبیت عام با ساز و کار طبیعت همخوانی دارد.

۴،۲ منبع نوری که با راستای لنز زاویه می سازد

فرض کنید اگر منبع نور نقطه ای تحت تاثیر لنز گرانشی قرار نمی گرفت، نسبت به راستای قرار گیری لنز، زاویه β می ساخت. در این صورت از این منبع نور نقطه ای دو تصویر مجزا در دو طرف لنز تشکیل می شود. فاصله زاویه ای این دو تصویر نسبت به راستای لنز برابر است با:

$$\theta = \frac{\beta \pm \sqrt{\beta^2 + 4\theta_E}}{2}$$

که θ_E در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد.

۵ شعاع انیشتین

در صورتی که منبع نور نقطه ای و یک لنز گرانشی دقیقا در یک راستا قرار بگیرند. به جای ایجاد چند تصویر از منبع، ناظر حلقه ای نورانی از منبع خواهد دید که شعاع

زاویه ای آن $\theta_E = \sqrt{\frac{4Gm D_{LS}}{c^2 D_S D_L}}$ خواهد بود. در این رابطه D_{LS} فاصله منبع نور تا لنز گرانشی، D_L فاصله لنز گرانشی از ناظر و D_S فاصله منبع نور از ناظر می باشد. به این شعاع زاویه ای شعاع انیشتین گفته می شود. (شکل ۴)

اگر منبع نور را نقطه ای در نظر نگیریم ضخامت حلقه را می توان با استفاده از اختلاف دو زاویه به دست آمده در بخش ۴,۱ محاسبه کرد.



شکل ۴

۶ تاثیر بر شار

در نسبیت عام اثبات می شود که درخشندگی سطحی یعنی شار دریافتی از واحد زاویه فضایی از یک منبع نور پیش و پس از لنزینگ تغییری نمی کند. در نتیجه نسبت شار

دریافت شده پس از لنزینگ به شار دریافت شده از منبع پیش از لنزینگ برابر نسبت مساحت تصویر به مساحت منبع نور است.

$$\mu = \frac{\hat{f}_s}{f_s} = \frac{\hat{A}_s}{A_s}$$

با جایگذاری زاویه شعاع خارجی و داخلی حلقه انیشتین از قسمت های قبلی به عبارت زیر می رسیم.

$$\mu = \sqrt{1 + 4\left(\frac{\theta_E}{\theta_+}\right)^2}$$

که در آن θ_+ شعاع خارجی حلقه تشکیل شده توسط لنزینگ می باشد.

۷ نتیجه گیری

لنزینگ گرانشی پدیده طبیعی زیباییست که با مفاهیم فیزیکی ساده می توان آن را بررسی کرد. در عین حال ابزار قدرتمندی برای اخترفیزیک بوده و دارای کاربرد هایی مشابه بررسی مقدار ماده تاریک تجمع یافته در کهکشان است.

۸ منابع

1. Weinberg, Steven, *Cosmology*, New York, Oxford university, 2008
2. Ryden, Barbara, *Introduction to cosmology*, Ohio, Ohio university, 2006
3. W. Carrol, Bradley & Ostlie, Dale, *An introduction to modern astrophysics*, Edinburgh, Pearson, 2014

4. *Schneider, P., Ehlers, J. & Falco, E.E. , "Gravitational Lenses", Springer,1992*

5. *Koijken, Konrad, The basics of lensing,2003*