

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

بررسی انحراف نور در محیط پلاسمایی همگن

سید محمد طبسی (دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی)، دکتر فاطمه احمدی کلاته (استاد یا ردا دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی شهید رجایی)

مقدمه

در این مقاله به بررسی پدیده‌ی همگرایی گرانشی در حضور یک محیط پلاسمایی می‌پردازیم. در خلا این پدیده بی رنگ است چرا که زاویه‌ی انحراف به بسامد فوتون بستگی ندارد. در این نوشته به دلیل گرانش ضعیف می‌توانیم اثرات حاصل از گرانش و محیط پلاسمایی را به صورت خطی و جداگانه بررسی کنیم. همچنین ما نشان می‌دهیم که در حضور یک محیط، پاشندگی در پلاسمای منجر به وابستگی انحراف نور به بسامد می‌شود که با انحراف نور در خلا متفاوت است.

همگرایی گرانشی در یک محیط پلاسمایی

همان‌گونه که می‌دانیم مسیر فوتون در حضور یک میدان گرانشی بوسیله اصل وردشی بدست می‌آید [1,2]:

$$\delta \left(\int p \right)$$
 که هامیلتونین این رابطه با استفاده از قید

$$n^2 = 1 + \frac{p^i p_i}{(p^0 \sqrt{-g^{00}})^2}$$
 (که n ضریب شکست هندسی محیط می‌باشد) به شکل زیر بیان

می‌گردد:

$w(x^i, \dots)$

با استفاده از روش وردش می‌توان معادلات حرکت را بدین صورت نوشت:

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

که ρ پارامتر آفین مسیر حرکت فوتون می‌باشد. با تفکیک بخش فضایی و زمانی w را می‌توان به شکل ساده تر زیر نوشت:

$$\chi = p$$

$$\frac{dx^\alpha}{dp} =$$

از طرفی در یک پلاسمای ناهمگن ضریب شکست عبارتست از [3,4]: $n^2 = 1 - \frac{\omega_e^2}{[\omega(x^\alpha)]^2}$ که در آن $\omega_e^2 = \frac{4\pi e^2 N(x^\alpha)}{m}$ می‌باشد، با تفکیک

$N(x^\alpha)$ به دو بخش همگن و ناهمگن: $N(x^\alpha) = N_0 + N_1(x^\alpha)$ که در آن $\omega_0^2 = k_e N_0$, $\omega_1^2 = k_e N_1$ و $k = \frac{4\pi e^2}{m}$ می‌توان معادلات

دیفرانسیل را به شکل زیر نوشت:

$$\frac{dx^\alpha}{dp} =$$

که معادلات، معادلات انتشار نور در میدان گرانشی و در یک محیط پلاسمایی را توصیف می‌کند. حال اگر مسیر حرکت فوتون را در راستای محور Z در

نظر بگیریم Z پارامتر آفین مسیر حرکت فوتون می‌باشد بنابراین معادلات حرکت با توجه به ضعیف بودن میدان گرانشی به شکل زیر خواهد

$$\text{بود: } (g_{ij} = \eta_{ij} + h_{ij})$$

$$\frac{dp_\alpha}{dz} =$$

و به این ترتیب می‌توان زاویه ی انحراف را در صفحه‌ی عمود بر محور Z به شکل زیر بدست آورد [3]:

$$\delta = \frac{1}{2}$$

همچنین با توجه به تقارن محوری پارامتر برخورد b را به صورت $r = \sqrt{b^2 + z^2}$ می‌توان نوشت و زاویه‌ی انحراف نور در صفحه‌ی عمود بر

راستای انتشار نور را به صورت زیر بیان کرد:

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

$$\delta_b = \frac{1}{2}$$

زاویه‌ی انحراف در یک محیط پلاسمایی همگن پاشنده

انحراف نور در محیط پلاسمایی همگن را به شکل زیر داریم (با توجه به همگنی فضا $N_1(x^\alpha) = 0$):

$$\delta_b = \frac{1}{2}$$

حال می‌خواهیم زاویه‌ی انحراف نور را در فضا- زمان شوارتز شیلد و در یک پلاسمای همگن بدست آوریم. با فرض متریک فضا- زمان شوارتز شیلد:

$$ds^2 =$$

متریک را می‌توان شامل دو قسمت تخت و اختلالی نوشت:

$$ds^2 =$$

قسمت تخت به صورت $ds_0^2 = \eta_{ij} dx^i dx^j$ و مولفه‌های قسمت اختلالی در دستگاه دکارتی به صورت زیر است:

$$h_{00} =$$

که n_α بردار یکه‌ی سه شعاع r^α و θ زاویه‌ی قطبی بین r^α و محور Z می‌باشد که: $\cos\theta = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{b^2+z^2}}$ با استفاده از رابطه (۱۱) به

تفکیک اجزا انتگرال زاویه‌ی انحراف را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\int \frac{\partial}{\partial b} h$$

$$\int \frac{\partial}{\partial b} h$$

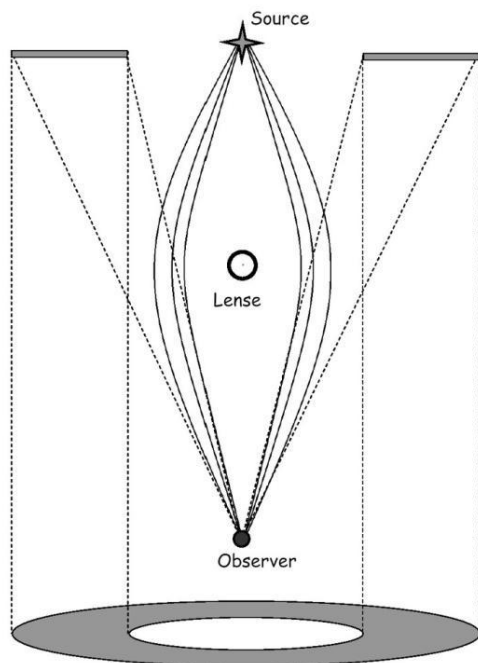
مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

با جایگزینی حدود انتگرال، رابطه‌ی زیر برای زاویه‌ی انحراف فوتون بدست می‌آید:

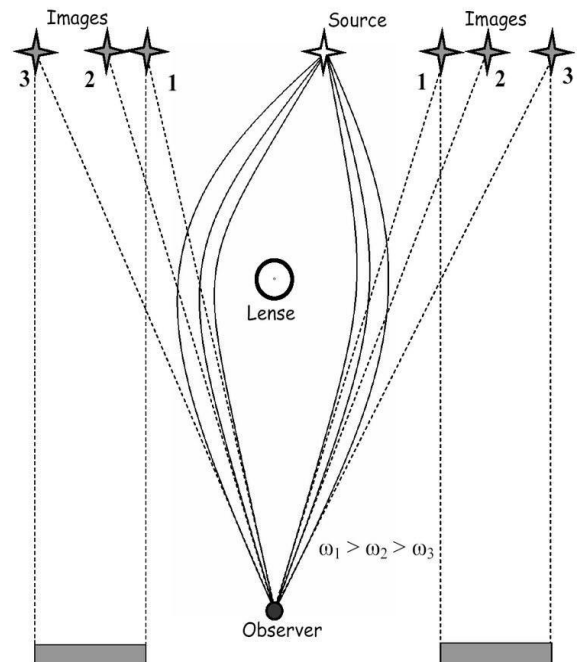
$$\delta_b = -$$

این رابطه برای $\omega > \omega_0$ درست است چرا که امواج با $\omega < \omega_0$ در پلاسما منتشر نمی‌شوند، و $\delta_b < 0$ در این حالت به معنی خمش نور در جهت گرائش می‌باشد (همانند مورد خلا).

که به ازای $\omega \rightarrow \infty$ به همان زاویه‌ی انحراف خلا می‌رسیم و برای بسامدهای پایین تر زاویه‌ی انحراف ممکن است بیشتر از خلا باشد بنابراین بسامدهای پایین تر (نزدیک به بسامد رادیویی) اهمیت پیدا می‌کند. در این حالت، تصویر چشمه به جای دو تصویر یک خط تصویر تشکیل می‌شود و همچنین حلقه‌ی اینشتین دارای پهنا می‌شود.



شکل ۲: تشکیل حلقه‌ی اینشتین در محیط پلاسمایی: در این حالت حلقه‌ی اینشتین به صورت پهن تشکیل می‌شود که به زاویه‌های انحراف مختلف در بسامدهای متفاوت می‌باشد.



شکل ۱: هم‌گرایی گرائشی بوسیله‌ی جرم نقطه‌ای شوارتزشیلد در محیط پلاسمایی همگن: که به جای دو تصویر در خلا دو خط تصویر داریم. که تصویر شماره ۱ همان تصویری است که در شرایط خلا ایجاد می‌شود و تصویرهای ایجاد شده در طرفین چشمه برای فوتون‌های با بسامدهای یکسان می‌باشد.

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

نتیجه گیری

برای کیهان شناسان جالب است که انحراف نور را در یک محیط پلاسمایی مورد مطالعه قرار دهند، چرا که فضای میان ستاره ای رفتاری شبیه پلاسما دارد و در واقع نور از یک محیط پلاسمایی می‌گذرد. به همین دلیل به بررسی هم گرایی گرانشی و انحراف نور در یک محیط پلاسمایی پرداختیم. در یک محیط پلاسمایی همگن با توجه به پاشنده بودن پلاسما فوتونها بر روی یک مسیر منحنی حرکت می‌کنند.

زاویه‌ی انحراف برای پلاسمای همگن پاشنده به ازای $\omega > \omega_0$ (بسامد فوتون بیشتر از بسامد پلاسما) معتبر است که در این حالت زاویه‌ی انحراف بیشتر از خلاء می‌باشد و با کاهش ω زاویه‌ی انحراف بیشتر می‌شود و با نزدیک شدن به ω_0 به اندازه‌ی قابل توجهی افزایش می‌یابد که زمانیکه $\omega \rightarrow \omega_0$ زاویه‌ی انحراف بیشترین مقدار خود را دارد. در محیط پلاسمایی برای بسامدهای پایین، از چشمه به جای دو تصویر یک خط تصویر تشکیل می‌شود و همچنین در حالتی که چشمه، لنز و ناظر در یک راستا قرار می‌گیرند حلقه‌ی اینشتین تشکیل می‌شود با این تفاوت که در این حالت این حلقه دارای پهنایی می‌باشد که به دلیل بسامدهای مختلف فوتون ایجاد می‌شود. این اثر برای فوتون‌های با بسامدهای پایین در حدود امواج رادیویی اتفاق می‌افتد به همین دلیل به عنوان طیف‌سنج گرانشی رادیویی عمل می‌کند.

منابع

- [1] Gravitational radiospectrometer ; G. S. Bisnovaty-Kogan, and O. Yu. Tsupko; arXiv:0809.1021v2 [astro-ph]
19 Sep 2008
- [2] J.L. Synge, Relativity: the General Theory, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1960

مقاله نامه بیست و دومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۴)

[3] Plasma Waves S.M.Lea January 2007

[4] Electromagnetic fields source and media , Alan M. poriti, Univeasity of California

[5] Effects of plasma on gravitational lensing ; Xinzhong Er, Shude Mao

arXiv:1310.5825v2 [astro-ph.CO] 6 Nov 2013

[7] Gravitational lensing in a non-uniform plasma; G. S. Bisnovaty-Kogan^{1,2?} and O. Yu. Tsupko;

arXiv:1006.2321v1 [astro-ph.CO] 11 Jun 2010