

# مطالعه امکان اندازه گیری میدان مغناطیسی ستاره چشمه در عبور از خط سوزان

احمد مهرابی<sup>۱</sup>، حبیب خسروشاهی<sup>۲</sup>، هادی رحمانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>۲</sup>پژوهشگاه دانش های بنیادی، تهران

<sup>۳</sup>Aix Marseille Univ, CNRS, LAM , Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, Marseille, France

## چکیده:

در یک رویداد همگرایی گرانشی، هنگام عبور چشمه از خط سوزان، نور لکه روی ستاره می تواند چندین مرتبه بیشتر نسبت به خود ستاره تقویت شود. این اختلاف تقویت نور زمان مناسبی برای آشکار سازی اندازه میدان مغناطیسی روی ستاره فراهم می آورد. در این مقاله به بررسی امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی به وسیله اثر زیمن<sup>۱</sup> در زمان عبور چشمه از خط سوزان خواهیم پرداخت. با استفاده از آنالیز فوریه می توان سایر عوامل ایجاد جابه جایی در طیف ستاره را شناسایی و جابه جایی در اثر زیمن را مجزا کرد. در مرحله بعد با استفاده از فرمول بندی ریزهمگرایی گرانشی میزان اختلاف تقویت نور لکه و ستاره را محاسبه کرده و با استفاده از دو استراتژی رصدی و روش مونته کارلو، امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی را مطالعه می کنیم. دقت طیف سنجی و میزان سیگنال به نویز در هر استراتژی مشخص کننده میدان های مغناطیسی قابل مشاهده است.

کلمات کلیدی: ریزهمگرایی گرانشی، میدان مغناطیسی ستاره ای، طیف سنجی

Pacs\_number: 90, 95, 97

## ۱- مقدمه:

هنگامی که یک جرم فشرده (عدسی گرانشی) به اندازه ی کافی در امتداد یک چشمه نور هم خط می شود، در اثر همگرایی گرانشی و انحراف نور دو تصویر مجزا از چشمه ایجاد می شود. در ابعاد کهکشانی فاصله جدایی این تصاویر از مرتبه ده هزارم ثانیه قوسی است و در نتیجه با تلسکوپ های زمینی قابل آشکار سازی نیستند. با وجود عدم امکان مشاهده دو تصویر جدا از هم، این اثر باعث افزایش نور چشمه شده که قابل اندازه گیری است. برای یک عدسی تکی، تقویت نور یک چشمه ی نقطه ای و گسترده به صورت تحلیلی قابل محاسبه است [۱]. بر خلاف عدسی تکی، در عدسی های دو تایی و چند تایی، تقویت نور را نمی توان به صورت تحلیلی به دست آورد و از روش های دیگر برای این منظور استفاده می شود. از مهمترین روش ها می توان به الگوریتم پرتاب پرتو برعکس [۲] و شبکه بهینه [۳] اشاره کرد.

<sup>۱</sup> Zeeman

همگرایی گرانشی نه تنها یک ابزار منحصر به فرد برای مطالعه عدسی ها، بلکه یک ابزار مفید برای مطالعه ی ستاره چشمه فراهم می آورد [۵۴]. برای عدسی هایی دوتایی یا بیشتر، منحنی های بسته ای در صفحه عدسی وجود دارند که وقتی یک چشمه نقطه ای روی آن ها قرار می گیرد، تقویت نور آن بی نهایت می شود. این منحنی ها، منحنی های سوختیک نام دارند و مکان هندسی تصاویر ایجاد شده وقتی چشمه روی منحنی سوختیک است، منحنی های بحرانی را تشکیل می دهند. هنگام عبور یک چشمه از خط سوزان، نور آن نسبت به مکان های دیگر در صفحه چشمه بیشتر تقویت شده و در صورت وجود لکه روی چشمه، نور این لکه می تواند تا چند صد مرتبه بیشتر تقویت شود. در این مقاله از این ایده استفاده شده و قصد داریم امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی هنگام عبور چشمه از خط سوزان را بررسی نماییم.

شواهد وجود میدان مغناطیسی روی خورشید در سال ۱۹۰۸ توسط هال به دست آمد [۶]. در این راستا هال با استفاده از اثر زیمان، میدان های مغناطیسی به بزرگی ۲۶۰۰-۲۹۰۰ گوس را روی لکه های خورشیدی اندازه گیری کرد [۶]. آشکار سازی میدان های مغناطیسی روی ستاره های دور دست بسیار مشکل است. در واقع پدیده های دیگری روی سطح ستاره وجود دارند که میزان جابه جایی خطوط طیفی حاصل از آن ها از مرتبه جابه جایی زیمان است و از این رو باید این اثرات را از هم تفکیک نمود. از جمله این اثرات می توان به وجود نقاط سرد و داغ روی سطح ستاره اشاره نمود که باعث جابه جایی خطوط می شوند [۷ و ۸]. به رغم این مشکلات میدان مغناطیسی متوسط روی سطح یک ستاره برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ اندازه گیری شد [۹]. در سال ۱۹۸۰ راینسون<sup>۲</sup> روش مفیدی برای اندازه گیری میدان مغناطیسی ستاره ها در اثر شکافتگی زیمان با استفاده از تحلیل فوریه ابداع نمود [۱۰]. در این روش از تبدیل فوریه دو خط طیفی استفاده می شود که یک خط حساس به میدان مغناطیسی و دیگری غیر حساس است. میزان سیگنال میدان مغناطیسی به نسبت مساحت لکه به ستاره، بزرگی میدان مغناطیسی و زاویه بین میدان مغناطیسی و راستای دید بستگی دارد. در واقع در اثر عبور ستاره چشمه شامل یک لکه از روی خط سوزان، میزان نسبت مساحت لکه به چشمه با زمان افزایش می یابد و این افزایش موجب تقویت سیگنال میدان مغناطیسی خواهد شد. به دلیل ظهور طیف سنج های قوی مانند یوس<sup>۳</sup>، هارپس<sup>۴</sup> و هایرس<sup>۵</sup> آشکار سازی میدان های مغناطیسی ستاره ای وارد مرحله جدیدی شده است. در واقع اندازه گیری میدان مغناطیسی به روش طیف سنجی در هنگام گذر از خط سوزان، یک روش بسیار مفید برای مطالعه میدان های مغناطیسی ستاره های دور دست فراهم می کند.

ساختار این مقاله به این صورت است. در بخش ۲ به ریز همگرایی گرانشی می پردازیم و معادلات مربوطه را معرفی خواهیم کرد. در بخش ۳ نشان خواهیم داد که یک خط طیفی در حضور میدان مغناطیسی به چه صورت تغییر می کند و چطور می توان با استفاده از تحلیل فوریه مقدار میدان را به دست آورد. در بخش ۴ با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی را بررسی می کنیم و در پایان در بخش ۵ نتیجه گیری و بحث را خواهیم آورد.

<sup>2</sup> Robinson

<sup>3</sup> UVES

<sup>4</sup> HARPS

<sup>5</sup> HIRES

## ۲- همگرایی گرانشی و تقویت نور هنگام عبور از خط سوزان

میدان گرانشی عدسی نور یک چشمه را منحرف می کند. این انحراف نور بسته به توزیع جرم عدسی می تواند دو یا چند تصویر ایجاد کند و از آن جا که همگرایی گرانشی تابیدگی سطحی چشمه را تغییر نمی دهد، میزان افزایش نور چشمه برابر با میزان افزایش مساحت تصاویر ایجاد شده است. زاویه انحراف در صفحه عدسی با استفاده از رابطه زیر به دست می آید [۱۱].

$$\alpha(X) = \frac{1}{\pi} \int \kappa(X') \frac{X - X'}{|X - X'|^2} d^2 x' \quad (1)$$

در این جا  $\kappa(X)$  چگالی سطحی جرم در صفحه عدسی است و تمام فواصل به یک مقیاس طول به نام شعاع انیشتن به هنجار شده است. شعاع انیشتن از رابطه زیر به دست می آید.

$$R_E = 4.0 \sqrt{\left(\frac{M}{M_\odot}\right) \left(\frac{D_s}{8Kpc}\right) \left(\frac{p(1-p)}{0.25}\right)} AU \quad (2)$$

در این رابطه،  $M$ ،  $D_s$  و  $p$  به ترتیب جرم عدسی، فاصله چشمه و نسبت فاصله عدسی به چشمه را نشان می دهند. معادله عدسی توسط رابطه زیر داده می شود و با استفاده از آن می توان محل تصاویر را مشخص کرد.

$$Y = X - \alpha(X) \quad (3)$$

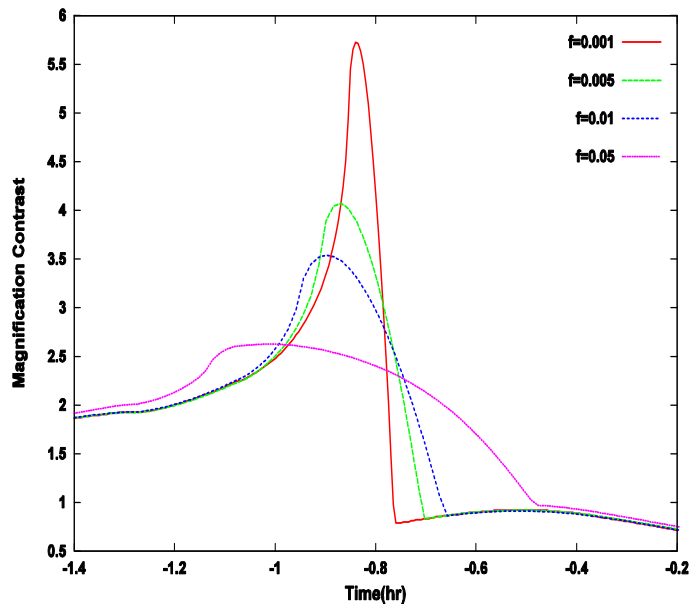
در اینجا  $Y$  مکان چشمه را نشان می دهد و حروف بزرگ انگلیسی برای بردار های دو بعدی به کار برده شده است. در همگرایی گرانشی اثر انحراف نور را می توان به صورت که نگاشت از صفحه چشمه به صفحه عدسی در نظر گرفت. در این صورت نسبت مساحت تصویر به چشمه با استفاده از دترمینان ژاکوبی به دست می آید.

$$\mu_i = \det\left(\frac{\partial Y}{\partial X}\right)^{-1}(X_i) \quad (4)$$

حال برای به دست آوردن تقویت نور کل، باید روی تمام تصاویر جمع بزنیم. همان طور که در بالا ذکر شد، در صفحه چشمه، می توان نقاطی را یافت که تقویت نور یک چشمه نقطه ای در آن ها بی نهایت است. این نقاط خطوط سوزان را مشخص می کنند و با صفر قرار دادن دترمینان ماتریس ژاکوبی حاصل می شوند.

تقویت نور برای یک چشمه گسترده با انتگرال گیری روی سطح چشمه به دست می آید و همان طور که در ابتدا ذکر کردیم برای عدسی های دوتایی و بیشتر، این تقویت نور را نمی توان با استفاده از توابع تحلیلی بیان کرد. از این رو برای محاسبه تقویت نور در این

کار از روش شبکه بهینه استفاده شده است [۳]. حال فرض می‌کنیم روی چشمه یک لکه دایره ای قرار دارد که مساحت آن  $A_s$  است. نسبت مساحت لکه به مساحت کل چشمه را با کمیت  $f$  نشان می‌دهیم. با توجه به این نکته که هر چقدر چشمه کوچکتر باشد، تقویت نور آن در گذر از خط سوزان، بزرگتر خواهد بود، انتظار داریم هنگام عبور یک چشمه شامل لکه از خط سوزان، تقویت نور لکه نسبت به کل چشمه بزرگتر باشد. در واقع در این کار قصد داریم امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی لکه در اثر این بزرگ شدن را بررسی نماییم. در شکل (۱) نسبت تقویت نور لکه به چشمه برای چند لکه با اندازه های مختلف رسم شده است. در این شکل منظور از کانترست تقویت نور (محور عمودی) نسبت تقویت نور لکه به تقویت نور کل چشمه است که نشان دهنده افزایش نسبت مساحت ها است. همان طور که از این شکل مشخص است، لکه ای که یک هزارم سطح چشمه را پوشش می‌دهد می‌تواند تا ۶ برابر چشمه تقویت نور داشته باشد.



شکل (۱): افزایش تقویت نور یک لکه در مقایسه با خود چشمه برای چند لکه با اندازه های متفاوت

در این کار ما از خطوط سوزان یک عدسی دوتایی استفاده می‌کنیم. یک عدسی دوتایی توسط دو پارامتر نسبت جرم دو عدسی و فاصله آن‌ها در واحد شعاع انیشتن مشخص می‌شود. در شکل (۱) نسبت جرم را ۰,۰۰۱ و فاصله را یک در نظر گرفته ایم. در ادامه به بررسی اثر میدان مغناطیسی روی یک خط طیفی و نحوه مجزا کردن آن از بقیه اثرات مشابه می‌پردازیم.

### ۳- جابه جایی خطوط طیفی در اثر میدان مغناطیسی

میدان های مغناطیسی بزرگی روی لکه های ستاره ها وجود دارند. این میدان های مغناطیسی یک خط طیفی حساس به میدان مغناطیسی را به چند خط تقسیم می‌کنند (اثر زیمان). میزان جابه جایی یک خط طیفی به حاصل ضرب میدان مغناطیسی و فاکتور لاندا ( $g$ )

بستگی دارد [۱۲]. منظور از یک خط طیفی حساس، داشتن  $g$  بزرگ است. این ثابت به تراز اولیه و تراز نهایی یک خط طیفی بستگی دارد و مقدار آن برای خطوط طیفی متفاوت مشخص است. یک خط طیفی در حضور میدان مغناطیسی به شکل زیر تغییر می کند.

$$F_m(\lambda) = F_0(\lambda) * [\frac{a}{2} \delta(\lambda - \Delta\lambda) + \frac{a}{2} \delta(\lambda + \Delta\lambda) + b \delta(\lambda)] \quad (5)$$

در این جا  $F(\lambda)$  پروفایل یک خط طیفی است و  $a$  و  $b$  دو ثابت هستند که به جهت میدان مغناطیسی و راستای دید بستگی دارند و توسط روابط زیر مشخص می شوند [۱۳].

$$a = 0.5(1 + \cos^2 \gamma), b = 0.5 \sin^2 \gamma \quad (6)$$

زاویه  $\gamma$  در این رابطه، زاویه بین میدان مغناطیسی در سطح ستاره و راستای دید است. علامت ستاره بیانگر پیچش و  $\delta(x)$  تابع دلتای دیراک است. میزان جابه جای یک خط طیفی با استفاده از رابطه زیر داده می شود.

$$\Delta\lambda = 35.84 \left( \frac{g}{1.2} \right) \left( \frac{\lambda_0}{0.8 \mu m} \right)^2 \left( \frac{B}{1 KG} \right) mA \quad (7)$$

در این رابطه میدان مغناطیسی به هزار گوس به هنجار شده است و میزان جابه جایی بر حسب میلی آنگستروم است. بر اساس معادله ی (۷) طول موج های بزرگتر جابه جایی طیفی بیشتری دارند. در نتیجه استفاده از خطوط طیفی در محدوده مادون قرمز، از محدوده اپتیکی مناسب تر است. برای مثال خطوط طیفی حساس FeI در ۱,۵۶ میکرومتر و TiI در ۲,۲۲ میکرومتر دو خط طیفی مناسب برای مشاهده میدان مغناطیسی هستند.

همان طور که در بالا ذکر شد علاوه بر جابه جایی زیمان، اثرات دیگری وجود دارند که می توانند در یک خط طیفی جابه جایی ایجاد کنند. از جمله مهمترین این اثرات می توان به جابه جای در اثر تغییر سرعت، افت و خیز های کوچک و بزرگ روی سطح ستاره و پهن شدگی در اثر عبور نور از تلسکوپ اشاره کرد. برای در نظر گرفتن تمام این اثرات باید پیچش این اثرات با تابع خط طیفی را محاسبه نماییم.

$$P(\lambda) = R(\lambda) * V(\lambda) * M(\lambda) * I(\lambda) \quad (8)$$

در فضای فوریه این رابطه به صورت زیر در می آید.

$$p(k) = r(k) v(k) m(k) i(k) \quad (9)$$

در این جا حروف کوچک نشان دهنده ی کمیت در فضای فوریه است و  $M$  نماینده افت و خیز های سطحی ستاره است. در رابطه (۸)  $R(\lambda)$  بیان گر تابع طیفی کل چشمه و لکه است که با استفاده از رابطه زیر داده می شود.

$$R(\lambda) = fR_m(\lambda) + (1-f)R_0(\lambda) \quad (10)$$

تبدیل فوریه این رابطه به صورت

$$r(k) = r_0(k)[fa(\cos(2\pi\Delta\lambda k) - 1) + 1] \quad (11)$$

در می آید. در این کار از روش رابینسون [۱۰] برای اندازه گیری میدان مغناطیسی استفاده می کنیم. در این روش با استفاده از تقسیم دو خط طیفی داریم

$$\frac{p(g_1, k)}{p(g_2, k)} = \frac{r(g_1, k)}{r(g_2, k)} \quad (12)$$

در نتیجه تمام اثرات مخرب پهن شدگی به جز اثر زیمان حذف می شوند. برای آشکار سازی میدان مغناطیسی می توان از دو خط طیفی یکی حساس به میدان مغناطیسی (لاندا فاکتور بزرگ) و یکی غیر حساس به میدان مغناطیسی (لاندا فاکتور کوچک) استفاده نمود. در بخش بعد با استفاده از روابط این قسمت به مطالعه امکان اندازه گیری میدان مغناطیسی چشمه هنگام گذر از خط سوزان خواهیم پرداخت.

#### ۴- آشکار سازی میدان مغناطیسی

برای اندازه گیری میدان مغناطیسی به یک طیف سنج قدرتمند نیاز است. در این بخش دو استراتژی رصدی زیر را در نظر می گیریم.

۱- قدرت تفکیک یک کیلومتر بر ثانیه و نسبت سیگنال به نویز ۲۰

۲- قدرت تفکیک ۵ کیلومتر بر ثانیه و نسبت سیگنال به نویز ۵۰

این مقادیر با طیف های بسیار قدرتمند امروزی به سادگی قابل دسترس هستند. قدرت تفکیک و حساسیت یک طیف سنج برای یک ستاره با قدر مشخص، معلوم است. در واقع خطای اندازه گیری عکس سیگنال به نویز است. قدرت تفکیک یک طیف سنج توسط

رابطه  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{C}$  داده می شود که می توان آن را با استفاده از رابطه  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{C}$  به سرعت تبدیل کرد. حال با استفاده از شبیه سازی مونته

کارلو به بررسی امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی روی لکه می پردازیم. ابتدا تعداد بسیار زیادی از رویداد های ریز همگرایی گرانشی با نسبت جرم و فاصله عدسی متفاوت تولید کرده و در گذر از خط سوزان هر یک از این رویداد ها میزان سیگنال میدان مغناطیسی را محاسبه می کنیم. در این شبیه سازی از تابع توزیع یکنواخت برای نسبت جرم حول  $q \in [0.0001, 0.01]$  و برای فاصله در بازه  $d \in [0.8, 1.2]$  استفاده شده است. همچنین برای کمترین فاصله عدسی و چشمه  $u_0$  از تابع توزیع یکنواخت حول صفر استفاده شده است. در این شبیه سازی مقدار زمان انیشتن ثابت و برابر ۲۰ روز در نظر گرفته شده است که یک مقدار نوعی برای رویداد های ریز همگرایی گرانشی است. لازم به یادآوری است که تغییر توابع توزیع در این شبیه سازی نتایج این کار را به طور وسیع تغییر

نخواهد داد در این کار هدف مطالعه امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی در ریز همگرایی گرانشی است. باید به این نکته اشاره کرد که در این رویداد ها مرکز لکه روی چشمه به صورت یک عدد تصادفی با احتمال برابر در تمام نقاط سطح چشمه مشخص می شود. با توجه به رابطه (۱۱) و (۱۲) برای دو خط طیفی حساس و غیر حساس داریم.

$$\frac{r(g_1, k)}{r(g_2, k)} = \frac{r_0^{sen}(k) [fa(\cos(2\pi\Delta\lambda^{sen} k) - 1) + 1]}{r_0^{ins}(k) [fa(\cos(2\pi\Delta\lambda^{ins} k) - 1) + 1]} \quad (۱۳)$$

در این رابطه صورت کسر خط طیفی حساس و مخرج کسر خط طیفی غیر حساس را نشان می دهد. کمیت های  $r_0^{sen}(k)$  و  $r_0^{ins}(k)$  توابع طیفی حساس و غیر حساس را نشان می دهند و در عمل با استفاده از حل معادلات تابشی ستاره قابل محاسبه هستند [۱۴]. در این صورت سیگنال میدان مغناطیسی از رابطه زیر به دست می آید.

$$S(B) = \frac{fa(\cos(2\pi\Delta\lambda^{sen} k) - 1) + 1}{fa(\cos(2\pi\Delta\lambda^{ins} k) - 1) + 1} \quad (۱۴)$$

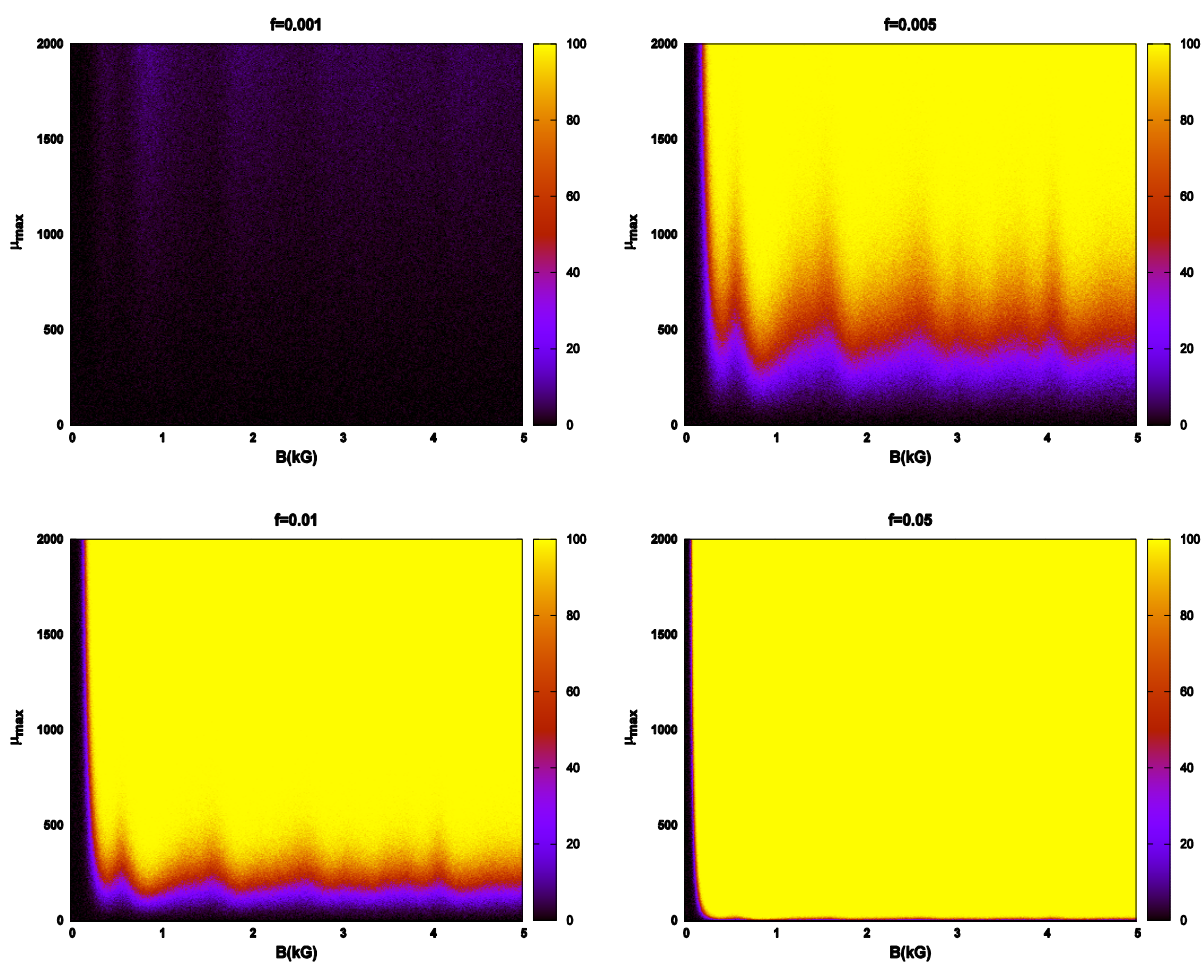
برای محاسبه جابه جایی طیف در خط حساس و غیر حساس به ترتیب از  $g_1 = 2.5$  و  $g_2 = 1$  در طول موج  $\lambda = 0.8\mu m$  استفاده شده است. برای محاسبه کمیت  $a$  در این رابطه، از متوسط زاویه بین میدان مغناطیسی و راستای دید  $\gamma = 34$  که توسط [۱۵] به دست آمده، استفاده شده است. هنگامی که میدان مغناطیسی صفر است، سیگنال میدان مغناطیسی (رابطه ۱۴) یک است و هر انحرافی از این مقدار نشان دهنده وجود میدان مغناطیسی است.

با استفاده از تابع توزیع گوسی، خطا های تصادفی را روی خطوط طیفی قرار داده و به ازای میدان های مغناطیسی و اندازه لکه های مختلف، سیگنال میدان مغناطیسی را محاسبه می کنیم. سپس رویداد های را که سیگنال میدان مغناطیسی آن ها ۵ برابر خطا است، به عنوان رویداد های قابل مشاهده جدا می کنیم. باید به این نکته اشاره نمود که اندازه لکه هنگام عبور از خط سوزان با زمان افزایش یافته و دوباره به میزان اولیه بر می گردد بنابر این کمیت  $f$  در معادله (۱۴) به صورت میانگین آن در دو طرف خط سوزان محاسبه شده است. قابلیت مشاهده ی میدان مغناطیسی با استفاده از نسبت رویداد های قابل مشاهده به کل رویداد ها تعریف می شود. نتایج حاصل از این شبیه سازی ها در استراتژی های در نظر گرفته شده و برای مقادیر مختلف اندازه لکه در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده است. نوار کناری شکل میزان قابلیت مشاهده پذیری را بر حسب درصد نشان می دهد.

در استراتژی اول و برای یک لکه کوچک  $f = 0.001$  تقریباً با هیچ تقویت نور بیشینه ای نمی توان میدان مغناطیسی را مشاهده نمود. با بزرگ شدن اندازه لکه، قابلیت مشاهده پذیری میدان مغناطیسی افزایش می یابد و برای  $f = 0.05$  تمام میدان های مغناطیسی بزرگتر از ۲۰۰ گوس قابل مشاهده هستند. در شکل های (۱) و (۲) محور افقی بزرگی میدان مغناطیسی بر حسب کیلو گوس و محور عمودی بیشینه تقویت نور در عبور از خط سوزان را نشان می دهد. بر خلاف استراتژی اول، در استراتژی رصدی دوم، حتی لکه های

کوچک با  $f = 0.001$  نیز قابل مشاهده هستند. دلیل این موضوع، خطای کوچکتر در استراتژی دوم است. در این استراتژی نیز مانند حالت اول با بزرگ شدن لکه احتمال مشاهده میدان های مغناطیسی بالاتر می رود ولی با دقت در قابلیت مشاهده پذیری با  $f = 0.05$  متوجه می شویم که در این استراتژی میدان های مغناطیسی کوچک قابل مشاهده نیستند. دلیل این موضوع به قدرت تفکیک پایین تر استراتژی دوم بر می گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده از این شبیه سازی ها، می توان نتیجه گرفت که برای آشکار سازی میدان های کوچک به قدرت تفکیک بالاتر و برای آشکار سازی میدان مغناطیسی روی لکه های کوچک به سیگنال به نویز بالا تر احتیاج است. این نتایج همچنین نشان می دهند که با طیف سنجی ستاره چشمه در هنگام عبور از خط سوزان می توان میدان مغناطیسی روی لکه های آن را آشکار سازی کرد.

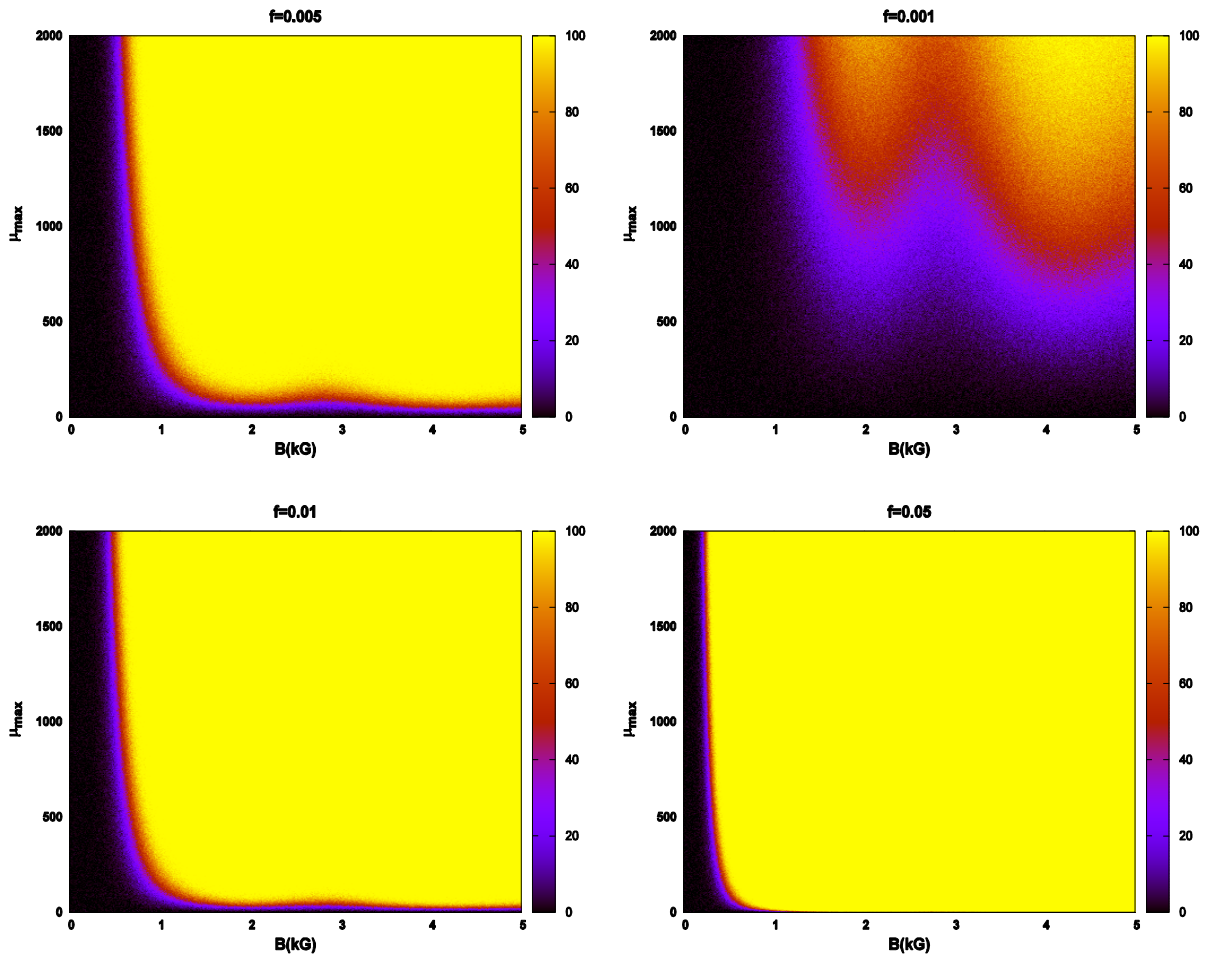


شکل (۲): قابلیت مشاهده پذیری میدان مغناطیسی بر حسب پیشینه تقویت نور، برای چند لکه با اندازه های متفاوت در استراتژی اول



## ۵- نتیجه گیری و بحث

همگرایی گرانشی یک ابزار منحصر به فرد برای مطالعه ی اجرام فشرده و ستاره های چشمه فراهم می کند. با استفاده از تقویت نور حاصل از انحراف نور در میدان گرانشی، از یک سو می توان اطلاعاتی از اجرام فشرده که نقش عدسی را بازی می کنند، به دست آورد و از سوی دیگر به دلیل افزایش نور چشمه، می توان چشمه های کم نور را مورد مطالعه قرار داد. در این کار به بررسی امکان آشکار سازی میدان مغناطیسی روی چشمه پرداختیم. با توجه به این نکته که هر چه اندازه چشمه کوچکتر باشد، تقویت نور آن بزرگتر است، نتیجه گرفتیم که در هنگام عبور چشمه از خط سوزان اندازه لکه در مقایسه با اندازه چشمه چند برابر بزرگتر می شود. این بزرگ شدن لکه احتمال مشاهده میدان مغناطیسی را افزایش می دهد. در ادامه برای مطالعه این اثر رویداد های ریز همگرایی گرانشی با پارامتر های مختلف شبیه سازی



شکل (۳): قابلیت مشاهده پذیری میدان مغناطیسی بر حسب بیشینه تقویت نور، برای چند لکه با اندازه های متفاوت در استراژی دوم

کرده و برای لکه‌هایی با اندازه‌های متفاوت، قابلیت آشکار سازی میدان مغناطیسی را بررسی کردیم. دو استراتژی رصدی متفاوت در این کار در نظر گرفته شد و برای هر کدام قابلیت آشکار سازی میدان مغناطیس به طور جداگانه محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهند که با انجام طیف‌سنجی در هنگام عبور چشمه از خط سوزان می‌توان میدان مغناطیسی لکه‌ی چشمه را آشکار سازی کرد.

## قدردانی:

ایده اولیه این کار توسط دکتر سهراب راهوار مطرح شده است. در این جا لازم می‌دانیم از ایشان تشکر نماییم.

## ۶- مراجع

- [1] Witt H. J., Mao S., 1994, *Apj*, 430, 505
- [2] Schneider P., Weiss A., 1987, *A&A*, 171, 49
- [3] Dominik M., 2007, *Mon.Not.Roy.Astron.Soc.*, 377, 1679
- [4] Gould A., 2001, *Publ.Astron.Soc.Pac.*, 113, 903
- [5] Rahvar S., 2015, *Int. J. Mod. Phys. D*, 24, 1530020
- [6] Hale G., 1908, *Astrophys. J.*, 28, 315
- [7] Berdyugina S. V., 2005, *Living Rev.Sol.Phys.*, 2, 8
- [8] Favata F., Reale F., Micela G., Sciortino Silvio ., et al., 2000, *Astron.Astrophys.*, 353, 9
- [9] Preston G. W., 1971, *ApJ*, 164, 309
- [10] Robinson J. R. D., 1980, *ApJ*, 239, 961
- [11] Schneider P., 1985, *A&A*, 143, 413
- [12] Reiners A., 2012, *Living Rev. Solar Phys.*, 8, 1
- [13] Babcock H. W., 1949, *ApJ*, 110, 126
- [14] Saar S. H., 1988, *ApJ*, 324, 441
- [15] Marcy G. W., 1981, *ApJ*, 245, 624

# On the possibility of magnetic field detection of a source star at caustic crossing

Ahmad Mehrabi<sup>1</sup>, Habib Khosroshahi<sup>2</sup>, Hadi Rahmani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of physics, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>School of Astronomy, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), P.O. Box 19395-5531, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Aix Marseille Univ, CNRS, LAM , Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, Marseille, France

## Abstract:

In a microlensing event, at caustic crossing, flux of a spot can be magnified several times with respect of the source star. This magnification contrast provide a unique opportunity to measure the magnetic field over a source star. In this work we investigate possibility of magnetic field detection through the Zeeman effect when a source crosses a caustic line. Using Fourier analysis, one can separate other broadening agents from actual Zeeman broadening. At next stage we use microlensing formalism to measure the magnification contrast of spot and source and finally using two reliable strategy, we find the delectability of magnetic field as a function of maximum magnification for spots with different sizes. The resolution and the signal to noise in each strategy determine which magnetic fields are detectable.

Key words: Microlensing, Stellar magnetic field, Spectroscopy

Pacs\_number: 90, 95, 97