

## اندازه گیری میدان مغناطیسی در لکه ستاره ای با استفاده از طیف سنجی

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

<sup>۱</sup> دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>۲</sup> پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران

### چکیده

حرکت ذرات باردار داخل ستاره‌ها باعث ایجاد میدان مغناطیسی در سطح ستاره‌ها می‌شود. وجود میدان مغناطیسی در سطح ستاره از یک طرف باعث به وجود آمدن لکه‌های ستاره‌ای و کاهش تابندگی سطحی ستاره شده و از سوی دیگر طیف جذبی یا نشری در اثر وجود میدان مغناطیسی به چند خط مجزا شکافته می‌شود. با مقایسه طیف جذبی ستاره در یک خط حساس به میدان مغناطیسی و یک خط غیر حساس می‌توان اندازه میدان مغناطیسی را به دست آورد. در این کار حساسیت پارامترهای لکه نسبت به آشکارسازی میدان مغناطیسی را مطالعه نموده و با استفاده از روش جمع کردن طیف‌های ستاره‌ها به بررسی امکان مشاهده میدان مغناطیسی می‌پردازیم.

خورشید نزدیک‌ترین ستاره به ما است. مطالعات متعددی روی لکه‌های خورشید انجام شده است. این لکه‌ها در یک بازه زمانی یازده ساله به بیشینه مقدار خود رسیده و دوباره تعداد آن‌ها کم می‌شود. لکه‌های روی خورشید می‌توانند به اندازه ۰.۱ شعاع خورشید بزرگ شوند [1]. دمای لکه‌ها از مرتبه چند صد کلوین نسبت به دمای سطحی ستاره کم‌تر است. این در حالی است که میدان‌های مغناطیسی نوعی در سطح ستاره‌ها از مرتبه چند کیلوگوس است [2].

میدان مغناطیسی در محل لکه باعث ایجاد شکافتگی زیمان در طیف جذبی مولکول‌ها یا عناصر حساس به میدان مغناطیسی می‌شود. از سوی دیگر طیف عناصر و مولکول‌های غیر حساس به میدان مغناطیسی، بدون تغییر می‌مانند. با مقایسه این دو طیف می‌توان به وجود میدان مغناطیسی پی برد. شکافتگی زیمان در اثر وجود میدان مغناطیسی را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد [3].

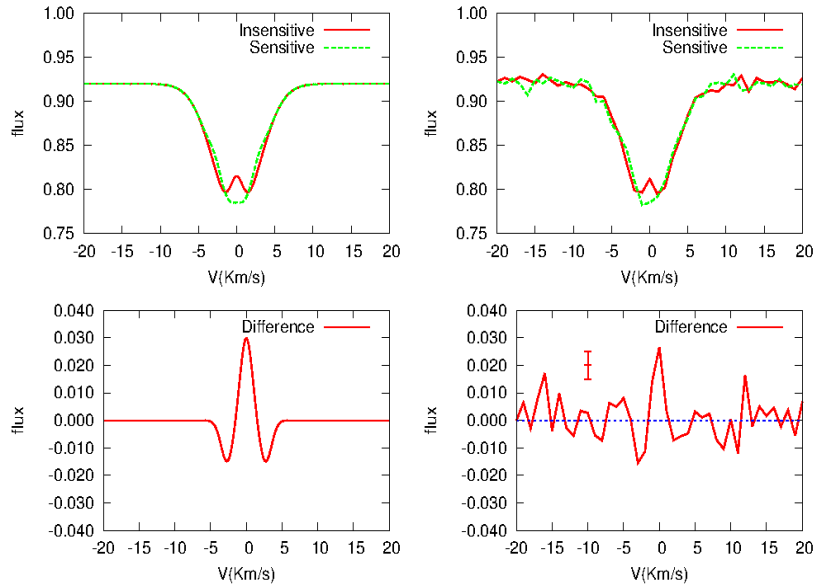
$$\Delta\nu = 1.4\lambda_0 gB \quad (1)$$

در این رابطه شکافتگی طیف را بر حسب سرعت بیان کرده ایم.  $\lambda_0$  طول موج مشاهده بر حسب میکرومتر،  $g$  ثابت لانداو و  $B$  میدان مغناطیسی بر حسب کیلوگوس است. طیف جذبی یک مولکول خاص در سطح ستاره به صورت یک خط تیز است که در اثر چرخش ستاره به دور خودش پهن می‌شود. این پهن‌شدگی را می‌توان با یک تابع گوسی مدل کرد که در این تابع پهنای سرعت چرخشی ستاره برابر است. وجود لکه روی ستاره باعث کاهش تابندگی شده و این کاهش در خط جذبی اثر می‌گذارد. در شکل 1 نمونه‌ای از یک خط جذبی حساس به میدان مغناطیسی و خط غیر حساس رسم شده است. در سمت چپ این نمودار خط‌های اندازه‌گیری را نیز وارد نموده ایم. اندازه خطا در یک نقطه نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است در صورتی که خط‌ها نسبت به اختلاف ایجاد شده در اثر وجود میدان مغناطیسی بزرگ باشند، اثرات مربوط به میدان مغناطیسی از بین خواهد رفت. در صورت مشاهده اختلاف بین دو طیف و مشخص بودن طول موج خط حساس به میدان مغناطیسی، و استفاده از رابطه 1 می‌توان میدان مغناطیسی را به دست آورد. در این نمودارها همواره شدت نور ستاره را به شدت نور زمینه بهنجار می‌کنیم.

آشکارسازی میدان مغناطیسی در لکه‌های ستاره‌ای به اندازه لکه در مقایسه با ستاره، محل قرار گرفتن لکه روی ستاره، سرعت چرخش ستاره به دور خودش و اندازه میدان مغناطیسی بستگی دارد. برای مطالعه حساسیت آشکارسازی به هر کدام از این پارامترها، یک شبیه‌سازی مونته‌کارلو انجام داده ایم. در این شبیه‌سازی‌ها تعداد زیادی رویداد درست کرده و در هر کدام مقدار بیشینه به کمینه را در اختلاف دو طیف حساب می‌کنیم. در شکل 2

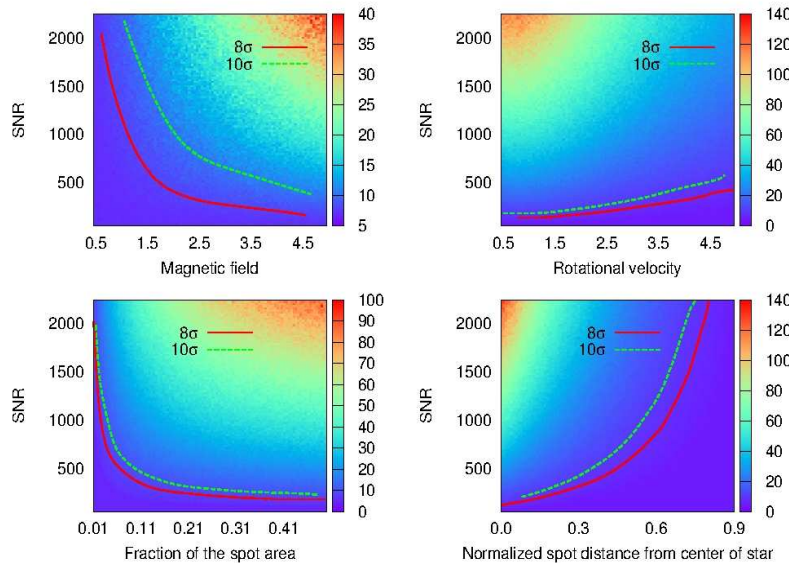
نتایج مربوط به این شبیه سازی نشان داده شده است. رنگ هر کدام از خانه ها نشانگر توانایی آشکار سازی آن پارامتر خاص با سیگنال به نویز مشخص است.

Typical line profile for a sensitive and insensitive line



شکل 1: مقایسه دو خط حساس و غیر حساس به میدان مغناطیسی. نمودار های سمت چپ بدون در نظر گرفتن خطا و نمودار های سمت راست با در نظر گرفتن خطا رسم شده اند. در نمودار سمت راست پایین اندازه خطا نشان داده شده است.

Sensitivity of the spot parameter to signal to noise



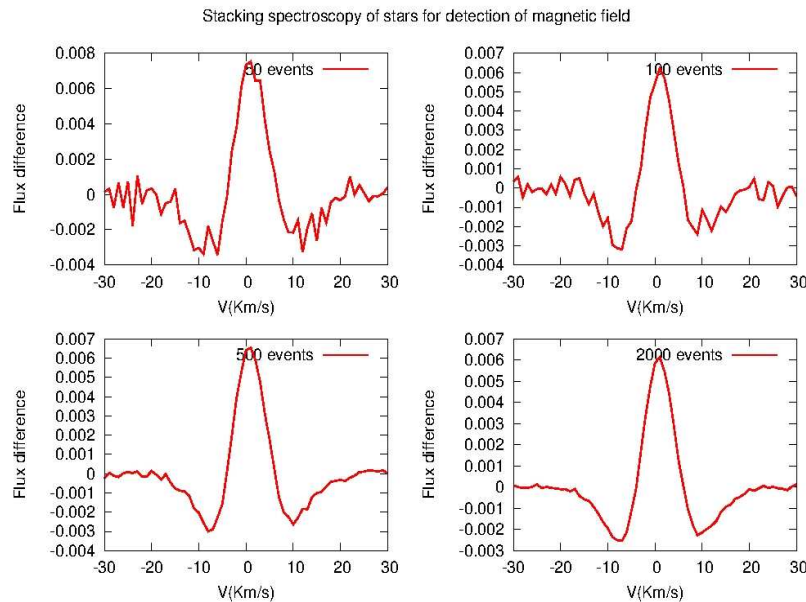
شکل 2: حساسیت پارامتر های یک لکه ستاره ای به آشکارسازی افت و خیز ناشی از میدان مغناطیسی

در نمودار شکل 2  $\sigma = \frac{1}{SNR}$  است و در این جا با کاهش شدت نور ستاره در یک خط جذبی نویز افزایش می یابد. خطوط نشان داده شده مرز آشکارسازی با  $8\sigma$  و  $10\sigma$  را نشان می دهد. در این شبیه سازی ها نسبت سیگنال به نویز را بین 50 تا 2250 برای شدت بهنجار شده به یک در نظر گرفته ایم. رنگ های مشخص شده نشان می دهند مقدار بیشینه به کمینه در اختلاف بین دو طیف تا چند برابر سیگما بزرگ هستند.

برای نشان دادن امکان آشکارسازی میدان مغناطیسی با استفاده از این روش، شبیه سازی دیگری انجام داده ایم. با توجه به وجود تعداد زیادی داده طیف سنجی از ستاره ها با سیگنال به نویز های مختلف، می توان طیف ستاره ها را

در یک طول موج خاص با یکدیگر جمع زد و میانگین آن‌ها را حساب کرد. برای این کار تعداد مشخصی رویداد شبیه سازی کرده و اختلاف بین دو طیف حساس و غیر حساس به میدان مغناطیسی را با میانگین گیری بین آن‌ها به دست می آوریم. نتایج حاصل از این شبیه سازی در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل با افزایش تعداد رویدادها می توان اختلاف ناشی از وجود میدان مغناطیسی را در شکل مشاهده کرد. برای شبیه سازی رویدادها در این قسمت پارامترهای مربوط به لکه را با توزیع یکنواخت شبیه سازی می کنیم. همچنین نسبت سیگنال به نویز در شدت زمینه ستاره را عددی تصادفی بین ۵۰ تا ۲۰۰۰ انتخاب کرده ایم. برای نزدیک شدن این شبیه سازی به آنچه در واقعیت اتفاق می افتد، خطوط طیفی به دست آمده با استفاده از توزیع گوسی را با یک تابع گوسی با پهنای

$$3 \frac{Km}{s}$$



شکل ۳: اثر میانگین گیری یک خط طیفی بین تعداد زیادی ستاره. با زیاد کردن تعداد ستاره‌ها اثر میدان مغناطیسی واضح تر دیده خواهد شد.

## نتیجه گیری

امکان اندازه گیری میدان مغناطیسی در لکه ستاره ای را با استفاده از مقایسه بین دو خط جذبی حساس و غیر حساس به میدان مغناطیسی مطالعه کردیم. نتایج حاصل نشان می دهد که برای آشکارسازی میدان مغناطیسی در لکه های کوچک نیاز به سیگنال به نویز بالایی داریم. با شبیه سازی رویدادهای مختلف حساسیت هر کدام از پارامترهای لکه را نسبت به آشکار سازی میدان مغناطیسی بررسی کرده و در پایان نشان دادیم که با استفاده از میانگین گیری از رویدادها می توان اثر میدان مغناطیسی را مشاهده نمود.

در این جا بر خود لازم می دانم از دکتر سهراب راهوار برای طرح این موضوع تشکر کنم.

## مرجع ها

1. Solanki, S.K., Inhester, B., & Schussler, M., 2006, Rep, Prog, Phys, 60, 563-668
2. Trujillo Bueno, J., Schukina, N., & Asensio Ramos, A., 2004, Nature, 430, 326-329
3. Reiners, A., 2012, Living Rev. Solar phys, 8, 1