спектральні спостереження Сонця Спектральні спостереження Сонця

Осіпов С.М.

Горизонтальний сонячний телескоп Ернеста Гуртовенка





Гуртовенко Е.А. (1928-1994) Засновник відділу фізики Сонця ГАО НАН України

Телескоп Встановлено 1965 р. Введено до експлуатації 1966 р. Діаметр головного дзеркала 45 см Діаметр зображення Сонця 162 мм Комплекс складається з

- 1. Телескопа АЦУ-5.
- 2. Спектрографа АСП-20.
- 3. Систем реєстрації та контролю.

Телескоп

допоміжне

Riaronanbhe

- 1. Целостатна установка (целостатне та допоміжне плоскі дзеркала).
- 2. Сферичне головне дзеркало (f=17.5м).
- 3. Діагональне плоске дзеркало.
- 4. Вузли керування.





Зображення Сонця



механізм часового ведення целостату: (система редукторів, приводів і кроковий двигун ДШІ-200, який керується через сотпорт комп'ютера

пристрій управління допоміжним дзеркалом целостата (рух зображення по а- і d- координатам)

4.Вузли керування телескопом

Спектрограф АСП-20 закритого типу

оснащений такими елементами:

- дифракційна гратка (4) (розмір140х150 мм, 600 штрихів/мм)
- сферичне дзеркало (1) діаметром 50 см і фокусом 7 м. (використовується як коліматор і як камера)
- мікрометрична вхідна щілина (2)
- система екранів і діафрагм для захисту від розсіяного світла

Зкомпонований для використання в режимі автоколімації за вертикальною схемою Еберта.





Система реєстрації

П33-камера SBIG ST-8300M (3326 х 2504 пікселів розміром 5.4 мікрони) з термоохолодженням.

Оснащена USB-роз'ємом для під'єднання до комп'ютера. Повний кадр (16 Мб) записується на жорсткий диск протягом 8 секунд.

SBIG-камера змонтована на спеціалізованій платформі для багатофункціонального юстування.



Спостереження, як правило, ведуться в 4-му порядку спектра. Для відсікання світла від суміжних порядків (3-го і 5-го) застосовуються широкосмугові світлофільтри, які розміщуються перед вхідною щілиною спектрографа.



Висота робочої частини вхідної щілини не може перевищувати 11 мм. За такої умови в спектрографі реєструється якісний невін'єтований спектр Сонця. (11мм = 120 arcsec)

Щілина може бути зорієнтована і на спокійних і на активних місцях зображення Сонця від центра Сонця до лімба.

Сильні і слабкі сторони телескопа

Телескоп розміщений посеред великого міста і тому умови спостережень обтяжуються поганим астрокліматом.

Спектрограф телескопа забезпечує високу спектральну роздільну здатність, яка підтримується високою стабільністю умов реєстрації спектра.

6328 A



 O_2

Fe I

Cr I

02

На рисунку видно зміни з часом тремтіння ліній спектра при одночасній реєстрації **сонячних ліній** і реперної **лазерної лінії**. Положення лазерної лінії визначається виключно внаслідок оптичних збурень і механічних деформацій всередині спектрографа.

Ni I

Laser

Висновок: Паразитні внутрішні променеві швидкості спектрографа (о ~ 5м/сек) незначні і значно менші варіацій сонячного сигналу (о ~ 30м/сек)

Основні редукції

- 1. Редукції плоского поля (flatfield) (FF).
- 2. Розсіяне світло в спектрографі (РС).
- 3. Інструментальний контур (ІК).
- 4. Атмосферне розсіяне світло (АРС) (для спостережень лімба і сонячних плям)

Спостережний кадр (сонячна пляма)



Границі діафрагми на вхідній щілині



Поле flatfield

Виправлений початковий кадр

Вирішується проблема пилу та неоднорідністі освітлення поверхні ПЗЗ-матриці.

Серія спостережних кадрів спокійної ділянки



Детальніше

Зареєстровано спектр плями в області $\lambda\lambda$ 539.4 нм (2021/09/05).

Існує: -ефект нерівномірності освітлення,

-неоднаковість чутливості пікселів,

-забрудненість поверхні матриці,

-гарячі пікселі.

Для виправлення впливу цих чинників необхідна корекція плоского поля (або flatfield correction). Для цього проводиться серія вимірів спокійних ділянок в центрі диска Сонця з рівномірною яскравістю.

При усередненні записів серії просторово дрібномасштабні деталі на поверхні Сонця замиваються.

При послідовному порівнянні між собою різних доріжок спектра проводиться крос-кореляційний аналіз для визначення взаємних зсувів, для вертикальних доріжок проводиться медіанне згладжування і будується flatfield-масив для корекцій (детальніше див. Wohl H. et al., A&A, 394, 1077–1091, 2002). Виправлений кадр

согrected = (obs – background_{obs}) / (FF – background_{FF}) * Norm де obs – спостережний кадр,

FF – flatfield поле,

background – темновий струм + розсіяне світло,

Norm – нормалізуючий коефіцієнт (середнє значення найяскравіших пікселів в спостережному кадрі).

Ремарка.

Юстування телескопа передбачає розміщення ПЗЗ-камери таким чином, щоб горизонтальні доріжки пікселів матриці строго співпадали з напрямком дисперсії спектра.



Але з часом внаслідок температурних деформацій така умова може трохи порушуватись. Контролюється ця умова по зображенню края діафрагми вхідної щілини.

При необхідності вертикальні доріжки пікселів слід зсунути таким чином, щоб зображення краю діафрагми вхідної щілини було строго горизонтальним.

Корекція за розсіяне світло в спектрографі

Розсіяне світло (РС)

Виникає внаслідок розсіяння світла на оправах гратки, коліматорного та камерного дзеркал, на пильових поверхнях оптичних елементів. Обмежується системами діафрагм та захисними екранами.





В ядрах насичених кисневих ліній сонячний сигнал відсутній. Реєструється лише паразитне РС. Аналіз таких спектрів дозволяє дослідити розподіл РС не лише вище і нижче спектра, а і на самому спектрі.





Дослідження розподілу РС при різному діафрагмуванні вхідної щілини привело нас до висновку, що

РС складається з плоскої і дифузної компоненти. Дифузна компонента добре описується квадратною параболою. Плоска компонента пропорційна інтегральній яскравості спектра.

Плоска компонента формується при відбиванні світла від оправи і пилу на поверхні камерного дзеркала.

Дифузна компонента виникає внаслідок розсіювання світла на коліматорному дзеркалі. Таке світло після проходження гратки під впливом фокусуючої дії камери падає на приймач у вигляді недофокусованої плями.

Пил на гратці, швидше за все, формує як плоску так і дифузну компоненту.

На практиці для визначення параметрів обох компонент достатньо додатково виміряти той самий спектр при частково задіафрагмованій щілині і дослідити розподіл яскравості на "темній" частині кадру.



Корекція за інструментальний контур (ІК)

За допомогою спеціального пристрою реєструється профіль монохроматичного світла від Не-Ne лазера на довжині хвилі 629 нм при заповненні оптики телескопа аналогічно сонячним спостереженням.



Перед обчисленнями вирішуються дві великі проблеми

- Як перерахувати зареєстрований профіль ІК від лазерного когерентного світла до сонячного некогерентного світла?
- Ук перерахувати зареєстрований профіль ІК на довжині хвилі λ 629 нм до будь-якої необхідної λ?



Напівширина вимірюваного ІК (18-22 mA) є значно меншою за ширини сонячних ліній і тому обернена задача з відтворення справжніх профілів сонячних ліній вирішується **надійно**.

Корекція за атмосферне розсіяне світло (АРС)



Лімб





Фіксуєм

Спостережний профіль лімба = градієнту інтенсивності сигнала на межі небо-Сонце в континуумі



В підсумку знаходиться функція атмосферного розсіяного світла, яка є симетричною і двомірною.

Представляється сумою двох гаусіан і двох лоренціанів.

Ядро (гаусіани) описує дефокусування і seeing.

Крила (лоренціани) відповідають за розсіяне світло в атмосфері і на дзеркалах телескопа.

Обернена задача виправлення за ці спотворення є складнішою ніж при редукціях за інструментальний контур внаслідок своєї двомірної природи.

Редукції за АРС необхідні при спостереженнях на лімбі і при спостереженнях активних ділянок. При спостереженнях спокійних ділянок в центральних зонах диска Сонця такі редукції не потрібні.

Після проведення всіх редукцій отримуються якісні профілі окремих фраунгоферових ліній для вибраних позицій на диску Сонця

При порівнянні з найкращими атласами сонячного спектра київські профілі менш зашумлені, хоча і мають коротшу експозицію

Якість реєстрації бісектору лінії Fe I 5324 в порівнянні з Л'єжським атласом



Бісектор V(R) і його похідна dV/dR, яка характеризує зашумлення зареєстрованого профіля

Приклад обробленого спектра (λλ 558.5 -559.1 нм) для спокійної області в центрі диска Сонця, порівняння його з Льєжським атласом та вигляд бісекторів сімох ліній





Дякую за увагу