

переважно з варіаціями магнітної активності Сонця, одним з основних індексів якої є сонячні плями. Зменшення кількості сонячних плям збігається з епохами похолодання на Землі, тоді як під час максимальної кількості плям спостерігається потепління. У статті зроблено огляд космогенних реконструкцій довготривалих змін магнітної активності Сонця (великі мінімуми та великі максимуми) протягом голоцену (останні 12 000 років). Випадкова поява великих мінімумів і максимумів певною мірою може бути відтворена сучасними моделями турбулентного динамо зі стохастичним приводом.

Важливим ключем до вивчення впливу варіацій сонячної активності на клімат Землі є мінімум Маундера (наприкінці XVII ст.), під час якого спостерігалось винятково мало сонячних плям. Застосування методу аналізу рідкісних подій до цих спостережень привело дослідників до висновку, що появі сонячних плям під час мінімуму Маундера притаманний слабкий за амплітудою 22-річний цикл. Концепція безперервності магнітних циклів у цей час підтверджується також вимірюваннями космогенних радіонуклідів у природних земних архівах. Тому нині прийнято вважати, що під час мінімуму Маундера циклічна магнітна активність Сонця не припинялася, хоча амплітуда циклів була досить низькою.

У моделі $\alpha\Omega$ -динамо це може бути пов'язано з тим, що магнітна індукція тороїдального поля, збудженого радіальним диференціальним обертанням у СКЗ, у цей час не досягала порогового значення, необхідного для спливання магнітних силових трубок на сонячну поверхню (нелінійний режим динамо).

Запропоновано сценарій пояснення північно-південної асиметрії магнітної активності під час мінімуму Маундера. Ключову роль у запропонованому сценарії відіграє особливий режим внутрішнього обертання Сонця, виявлений у результаті геліосейсмологічних експериментів.

Сучасний великий максимум активності Сонця, який почався в 1940-х рр., припинився після 23-го сонячного циклу, і активність Сонця, здається, повертається до свого нормального помірного рівня.

Ключові слова: глобальні зміни клімату Землі, цикли сонячних плям, магнітні поля Сонця, космогенні маркери сонячної активності, мінімум Маундера, сучасний високий максимум, сонячне динамо.

РЕЗУЛЬТАТИ ОПТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ АКТИВНОГО ЯДРА ГАЛАКТИКИ MARKARIAN 501

Василь Пономаренко – канд. фіз.-мат. наук, наук. співробітник;

Андрій Сімон – методист НЦ МАН України, заслужений вчитель України;

Володимир Василенко – методист НЦ МАН України;

Катерина Куліш – студентка магістратури Comenius University in Bratislava.

У статті представлено результати спостережень і досліджень АЯГ типу VL Lacertae – Markarian 501. Спостереження були виконані за допомогою телескопа-рефлектора АЗТ-8 ($D = 0.70$ м, $F = 2.8$ м) спостережної станції у с. Лісники Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка протягом 2018-2020 років. Телескоп АЗТ-8 був обладнаний ПЗЗ-камерою PL4710-1-BB-E2V та широкосмуговими фільтрами UBVR1 системи Джонсона-Бесселя.

Над файлами були виконані всі базові редуції. Потіки енергії від Markarian 501 були перетворені у видимі зоряні величини за допомогою фотометричних зір-стандартів. Криві зміни блиску за період спостережень були побудовані, коливання блиску були виявлені у фільтрах BVRI. На їх основі було досліджено показники кольору.

Ключові слова: активне ядро галактики, фотометрія, оптичні спостереження, зміни блиску, UBVR-фільтри.

Вступ. Блазари є одним з імовірних джерел космічних променів гранично високих енергій (КПГВЕ). Розрізняють два типи блазарів: об'єкти VL Lacertae (VL Lac), що характеризуються наявністю беземісійних оптичних спектрів та об'єкти з окремими

лініями випромінювання, так звані радіоквазари з плоским спектром (FSRQ). Блазари показують змінність практично на всіх довжинах хвиль від радіодіапазону до гамма-променів із часом коливань від декількох секунд до років і навіть десятків років [1].

Ми презентуємо результати фотометричних спостережень та досліджень АЯГ Markarian 501 у фільтрах B, V, R та I системи Джонсона-Бесселя. Спостереження були отримані протягом 2018-2020 років за допомогою телескопа-рефлектора АЗТ-8 ($D = 0,7$ м; $F = 2.8$ м; ПЗЗ-камера PL4710-1-BB-E2V) спостережної станції Лісники Київського національного університету імені Тараса Шевченка [1].

Під час обробки над спостережним матеріалом були виконані всі базові редукції: віднімався електронний шум (bias) і темновий струм (dark) ПЗЗ-камери, враховувалися особливості накопичення енергії поверхнею камери (flat-field). Отримані потоки енергії від досліджуваного об'єкта були перетворені у видимі зоряні величини за допомогою фотометричних зір-стандартів. Криві блиску для АЯГ Markarian 501 були побудовані та досліджені на змінність видимої зоряної величини протягом усього періоду спостережень. Побудовано та проаналізовано змінність показників кольору з часом.

Методика спостережень та обробки даних. Оптичні фотометричні спостереження АЯГ Mrk 501 були проведені з 2018 року по 2020 рік. Оскільки нам не потрібно була висока просторова роздільна здатність, фотометричні спостереження проводилися з біннінгом 2×2 (складанням сигналу з 2 точок в 1 по вертикалі і горизонталі ПЗЗ-камери) у BVRI фільтрах. Застосовувалися стандартні процедури первинної обробки отриманих зображень, включаючи врахування шуму зчитування (Bias), темнового струму (Dark) і варіацій чутливості пікселів ПЗЗ (Flat). З метою збільшення відношення сигнал/шум (S/N) для АЯГ і зір порівняння, сумувалися 3-10 кадрів зображення з експозиціями 15-120 с на кожен з фільтрів. Для перетворення накопиченого сигналу у видиму зоряну величину об'єктів використовуються 5-10 стандартних зір порівняння в полі об'єкта. ПЗЗ-фотометрія зір порівняння у фільтрах BVRI детально описана у циклі робіт [2 - 4]. Для пошуку змінності протягом доби (IDV), у фільтрах R та I, з експозиціями 15-60 секунд, здійснювався моніторинг об'єкта протягом декількох годин. Для блазара Mrk 501 похибкою між ночами спостережень прийнято σ – середнє квадратичне відхилення поділене на \sqrt{n} – кількості просумованих груп кадрів з виконаними базовими редукціями (тобто середньоквадратичне відхилення середнього арифметичного). Довірчим інтервалом ϵ (σ/\sqrt{n}) помножене на коефіцієнт Стюдента (коефіцієнт було взято для точності 95%). Теоретичні розрахунки довірчих інтервалів були перевірені шляхом неодноразового фотометрування однієї зорі-стандарту за допомогою інших зір. У межах однієї ночі змінність об'єкта спостереження виявляли за допомогою «змінності» зір-стандартів ідентичного блиску. Для цього обчислювали довірчий інтервал 95% для коливань блиску зорі-стандарту і застосовували його до АЯГ. Для спостережень виконаних у 2018 році наша загальна похибка, після виконання всіх редукцій не перевищувала 0.1^m зоряної величини. У зв'язку із розгерметизацією камери на АЗТ-8, з другої половини 2019 року похибки зросли вдвічі (до 0.2^m). Основний вклад вносила випадкова похибка, оскільки систематична була мінімізована при виконанні базових редукцій. Для обробки спостережного матеріалу використовувалося програмне середовище «MaxIm DL».

Результати аналізу оптичних спостережень Mrk 501. Блазар Markarian 501 був відкритий у 1974 році. Протягом спостережень об'єкт показав одну з найвищих активностей в гамма-діапазоні [5], але кореляція з видимим діапазоном не є надто високою. З рисунку 1 видно, що яскравість об'єкта варіюється в діапазоні $\approx 0.3^m$ протягом усього періоду спостережень і досягає максимуму в 13^m у 2016 році. Причина відносно невисокої змінності в оптичному діапазоні полягає в тому, що вклад АЯГ в блиск Mrk 501 складає лише 13.3% [6].

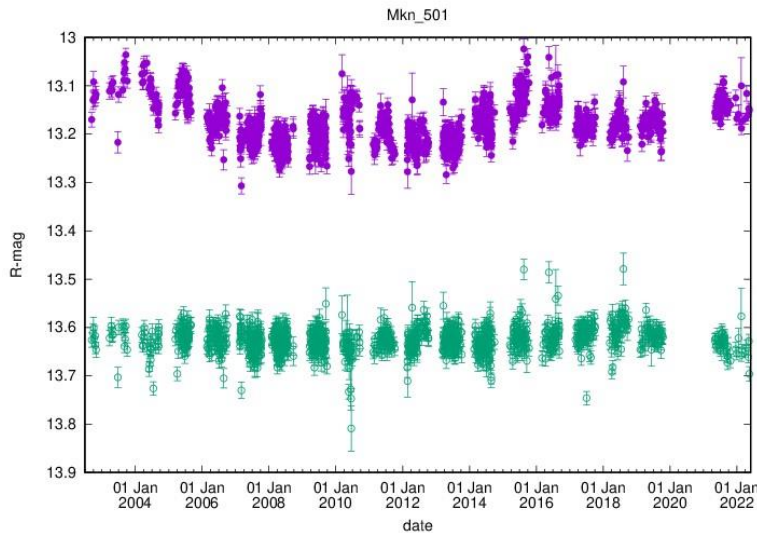


Рис. 1. Змінність Mrk 501 протягом 2003-2022 років [7]

Для об'єкта спостережень виявлено коливання блиску впродовж 2018-2020 рр. з амплітудою до 1^m у фільтрах BVRI системи Джонсона-Бесселя.

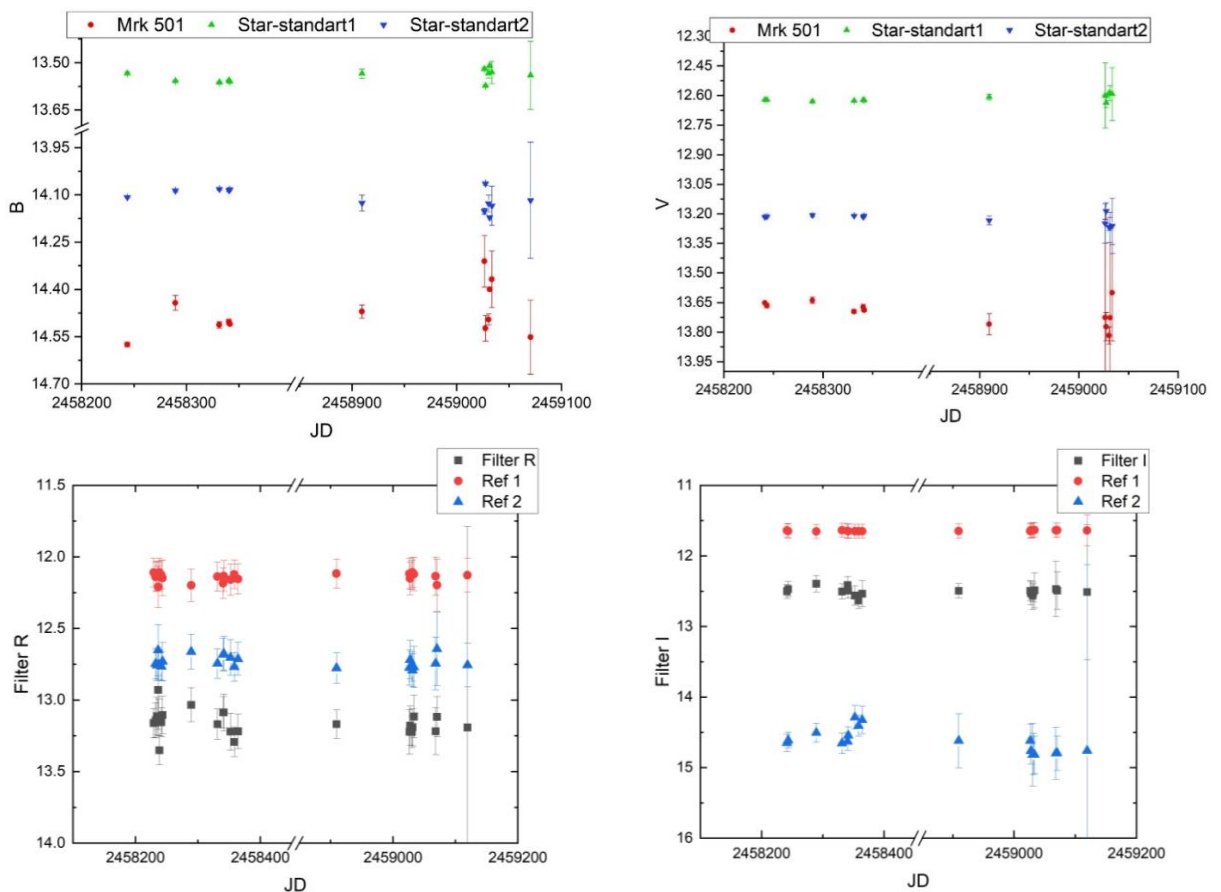


Рис. 2. Змінність Mrk 501 у фільтрах BVRI

Оскільки зміни оптичного потоку у блазарах часто супроводжуються спектральними змінами, вивчення взаємозв'язку між показником кольору і блиском джерела є корисним інструментом для розуміння походження змінності блазарів. Це дозволяє визначити з якої області (акреційного диску або джета) йде основний потік випромінювання. Для цього ми також аналізували співвідношення колір-блиск.

З рис. 2 у фільтрі V бачимо короткотривале зростання блиску понад 0.1^m у червні-липні 2018 року. Також спостерігаємо коливання блиску на $\approx 0.2^m$ у липні 2020 року та середнє зростання блиску протягом 2020 року на $\approx 0.1^m$ порівняно з 2018 роком. Зростання величини похибок пов'язане із технічним станом і зміною температурного режиму CCD-камери, що зумовило зменшення відношення сигнал/шум. З кривої зміни блиску у фільтрі V бачимо спадання блиску АЯГ на понад 0.1^m . Це трапилося у серпні 2018 р. порівняно з липнем 2018 року. Також можемо бачити коливання блиску на $\approx 0.2^m$ у липні 2020 року. З кривої зміни блиску у фільтрі R бачимо спадання блиску АЯГ на понад 0.1^m , що трапилося у серпні 2018 р. у порівнянні з липнем 2018 року. З кривої зміни блиску у фільтрі I бачимо спадання блиску АЯГ на понад 0.1^m . Це трапилося у серпні 2018 р. порівняно із липнем 2018 року. Зміни блиску АЯГ протягом 2018 року синхронно повторюються у всіх застосованих фільтрах (BVRI).

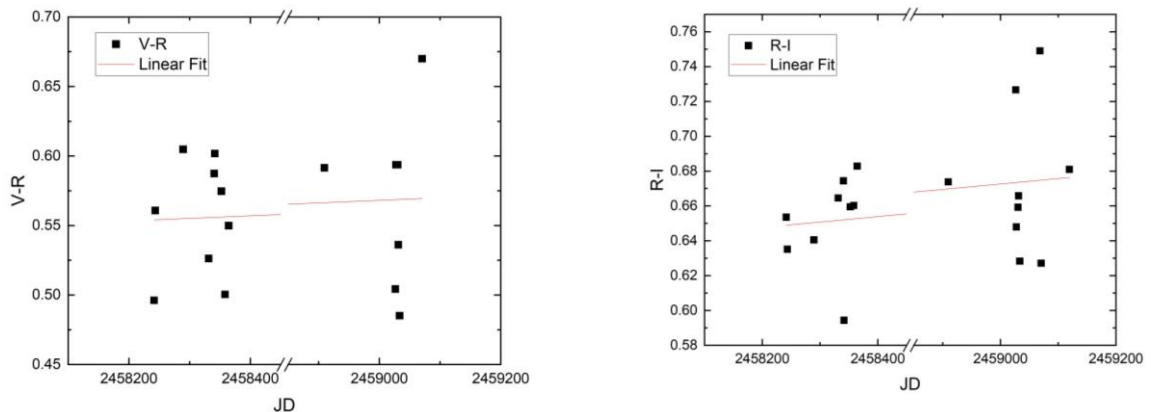


Рис. 3. Зміна індексів кольору V-R та R-I протягом періоду спостережень

З рис. 3 ми можемо бачити значне почервоніння блазара протягом періоду спостережень. Показник кольору V-R вказує на незначне послаблення активності Mrk 501 у 2020 році. Схожа ситуація і з показником кольору R-I. Ці результати також підтверджуються даними інших авторів [7], що приведені на рис. 1.

Незначна зміна показників кольору $(V-R)/V$ та $(R-I)/R$ на рис. 4 також підтверджує слабку активність блазара Mrk 501 протягом періоду спостережень.

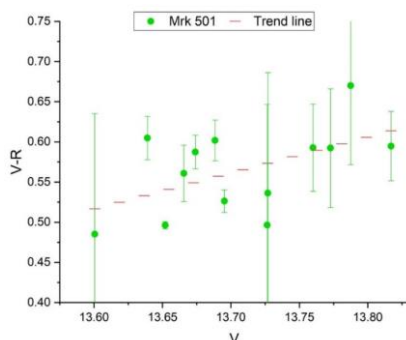


Рис. 4. – Зміна показників кольору $(V-R)/V$ та $(R-I)/R$ у 2018-2020 рр.

Отже, для АЯГ Markarian 501 в основному спостерігалось невелике почервоніння впродовж періоду спостережень (2018-2020 рр.). Це співпадає зі зменшенням блиску об'єкта у 2019-2020 роках і можна пояснити зростанням відносного внеску теплового випромінювання у загальний потік.

Висновки. На основі сласних фотометричних спостережень АЯГ Mrk 501 в оптичному діапазоні, виявлено зміни блиску у фільтрах BVRI (до $0,3^m$), проаналізовано

механізми коливань блиску та показники кольору цього блазара. Для АЯГ Markarian 501 в основному спостерігалось невелике почервоніння впродовж періоду спостережень (2018-2020 рр.). Це співпадає зі зменшенням блиску об'єкта у 2019-2020 роках і можна пояснити зростанням відносного внеску теплового випромінювання у загальний потік.

Список використаних джерел:

1. Пономаренко В., Сімон А., Василенко В., Ізвєкова І., Баранський О. Результати фотометричного оптичного моніторингу чотирьох активних ядер галактик у 2018-2019 роках. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія. 2019. №. 59. с. 48-55.
2. Doroshenko V.T., Efimov Y.S., Borman G.A., Pulatova N.G. BVRI CCD-Photometry of Comparison Stars in the Fields of Galaxies with Active Nuclei. Astrophysics. 2014. 57. № 2. С. 176-196.
3. Doroshenko V.T., Efimov Y.S., Borman G.A., Pulatova N.G. BVRI CCD-Photometry of Comparison Stars in the Fields of Galaxies with Active Nuclei. VI. Astrophysics. 2014. 57. № 1. С. 30-49.
4. Doroshenko V.T., Sergeev S.G., Efimov Y.S., Borman G.A., Okhmat D.N., Pulatova N.G., Nazarov S.V. BVRI CCD-Photometry of comparison stars in the fields of galaxies with active nuclei. V. Astrophysics. 2013. 56. № 3. С. 343-358.
5. Acciari V.A., Arlen T., Aune T., et al. Spectral energy distribution of Markarian 501: Quiescent state versus extreme outburst. The Astrophysical Journal, 729(1), p. 2, 2011.
6. Feng H.C., Liu H.T., Zhao Y.H., et al. ir/i-band host galaxy contamination of TeV/i-ray blazar mrk 501: effects of aperture size and seeing. Research in Astronomy and Astrophysics, 18(2), p. 021, 2018.
7. Tuorla Observatory blazar monitoring Optical light curves. [Електронний ресурс] // [сайт] URL: <https://users.utu.fi/kani/1m/index.html>.

OPTICAL MONITORING RESULTS OF ACTIVE GALACTIC NUCLEUS MARKARIAN 501

Vasyl Ponomarenko – PhD, Senior Research Fellow

Andrew Simon – methodologist of the National Academy of Sciences of Ukraine, honored teacher of Ukraine

Volodymyr Vasylenko – methodologist of the National Academy of Sciences of Ukraine

Kateryna Kulish – master's student at Comenius University in Bratislava

Hereby we present the results of photometric observations and research AGN Markarian 501. The observations were performed with the AZT-8 ($D = 0.70\text{ m}$, $F = 2.8\text{ m}$) telescope of the observation station Lisnyky of Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv during 2018-2020. The AZT-8 equipped with the PL4710-1-BB-E2V CCD and broadband Johnson/Bessel UBVR filters system.

The substrate (bias), dark current, flat-field were taken into account during processing. The fluxes of energy from the object of research with the help of standard stars have been turned into visible stellar magnitudes. The light curves over the observation period were plotted. Variability of brightness in BVRI filters was detected. Color indexes were also studied.

Keywords: active galaxy nuclei (AGN), photometry, optical observations, changes of brightness, UBVR-filters.

ДОПОВНЕННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ АЕРОЗОЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ АТМОСФЕРИ ЗА ДАНИМИ СПЕКТРАЛЬНИХ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ НЕБА

Олександр Овсак – канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співробітник

Анатолій Відьмаченко – д-р фіз.-мат. наук, професор

Запропоновано доповнити алгоритми методу відновлення параметрів основних аерозольних мод у земній атмосфері розширенням діапазону значень параметрів