

СТАТИСТИКА КОЕФІЦІЄНТІВ ПІДСИЛЕННЯ ПРИ МІКРОЛІНЗУВАННІ ГАУСІВСЬКОГО ДЖЕРЕЛА ТОЧКОВИМИ МАСАМИ

В даній роботі проводиться статистичний аналіз кривих блиску протяжного гаусівського джерела при мікролінзуванні точковими однаковими масами. Криві блиску побудовано для 500 реалізацій розподілу мікролінз. Побудовано розподіли ймовірності для різних оптичних глибин мікролінзування. Для розрахунків кривих блиску використовується метод "ray shooting" з прямим розрахунком для всіх мікролінз. В ході дослідження було виявлено появу двох піків в розподілі коефіцієнтів підсилення при оптичній глибині мікролінзування в околі $\sigma \sim 0.5$.

In this study statistical analysis of light curves of extended Gaussian source due microlensed by equal point masses is performed. The light curves are calculated for more than 500 realizations of microlensing field. The distributions of probability for different microlensing optical depths. The "ray shooting" method is used to obtain light curves. Direct calculations are performed for all microlenses. During the study there were found two separated peaks on the amplification distribution for microlensing optical depth around $\sigma \sim 0.5$.

1. Вступ. В позагалактичній гравітаційно-лінзовій системі (ГЛС) між джерелом (найчастіше квазаром) і спостерігачем знаходиться лінзуюча галактика, яка вносить зміни в яскравість джерела і породжує декілька його зображень. На фоні власних коливань яскравості квазара можна виділити коливання, що пов'язані саме з мікролінзуванням, це дозволяє аналізувати структуру джерела випромінювання в подіях з великим підсиленням (ПВП), таку можливість вперше було описано в [1]. Моделювання кривих блиску і їх статистичне вивчення проводилося в роботі [10], де визначалася різниця між різними моделями і можливість виявлення моделі джерела при спостереженнях.

В даній роботі проводиться статистичний аналіз кривих блиску протяжного джерела при фіксованих значеннях оптичних густин мікролінз без зовнішньому зсуву ($\gamma=0$) і без неперервної матерії на промені зору. Додатково до аналізу, проведеного в [10] в даній роботі розглянуто розподіли коефіцієнтів підсилення для різних оптичних густин та різних радіусів джерела. Виявлено, що для оптичних глибин в околі $\sigma \sim 0.5$ з'являється певна якісна специфіка цих розподілів. Область поля мікролінз складається з майже 10600×10600 пікселів при радіусі у 60 радіусів Ейнштейна. Всі мікролінзи мають однакову масу і розподілені по полю рівномірно. Для кожної реалізації генерується унікальне поле з мікролінзами; всього для кожного випадку отримано по 500 реалізацій. Рух джерела є лінійним, довжина траєкторії становить 5 радіусів Ейнштейна.

В п.2 приведено вихідні співвідношення, які використовувалися для розрахунків. В п.3 наведено розподіли коефіцієнтів підсилення для різних значень оптичної густини і розміру джерела.

2. Вихідні співвідношення. Розглядалася гаусівська модель джерела, оскільки як показано в роботі [10], вплив моделі на ефекти мікролінзування є невеликим. Розподіл яскравості по диску джерела в цій моделі задається як:

$$P_R(r) = \frac{1}{\pi R^2} \exp\left[-(r/R)^2\right]. \tag{1}$$

Рівняння лінзи без неперервної матерії на промені зору має стандартний вигляд [6]:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \sum_M R_E^2 \frac{\mathbf{x} - \mathbf{x}_M}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_M|}, \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1-\sigma & 0 \\ 0 & 1-\sigma \end{pmatrix} \tag{2}$$

Для загального лінзового відображення з площини зображень в площину лінзи: $\mathbf{x} = (x_1, x_2) \rightarrow \mathbf{y} = (y_1, y_2)$ підсилення протяжного джерела визначається формулою [6]:

$$K = \frac{\iint P(\mathbf{y}(\mathbf{x}))d^2\mathbf{x}}{\iint P(\mathbf{y})d^2\mathbf{y}} \tag{3}$$

Складність аналітичних розрахунків пов'язана із великою кількістю мікролінз, оскільки сумування в (2) ведеться по всіх мікролінзах, то при великій кількості мікролінз задача не піддається розв'язанню аналітичними методами. Інтегрування (3) по всій площині зображення можна замінити на інтегрування в деякій обмеженій області, що й було зроблено в цій роботі. Це значно спрощує обрахунки і зменшує час, що витрачається на розрахунок кожної реалізації.

Таблиця 1. Базові параметри симуляції

Радіус поля мікролінз	$60 R_E$
Зовнішній зсув	0
Оптична густина мікролінз	[0.1;0.6]
Повний шлях джерела	$5 R_E$
Розмір області інтегрування в формулі (1)	$70 R_E$
Крок інтегрування по ОХ та ОУ (піксель)	$0.01 R_E$

3. Розподіли коефіцієнтів підсилення. Було отримано криві блиску для джерела з радіусом половинної яскравості $R_{1/2} = 0.1$ для різних значень $\sigma \in [0.1;0.6]$ для гаусівського розподілу яскравості по диску джерела.

Максимум розподілу при $\sigma = 0.1$ на Рис. 1. майже вдвічі вищий, ніж для $\sigma = 0.2$, видно, що зі збільшенням оптичної густини максимально ймовірне значення збільшується, а сама ймовірність при цьому зменшується, відповідно графік стає більш пологим.

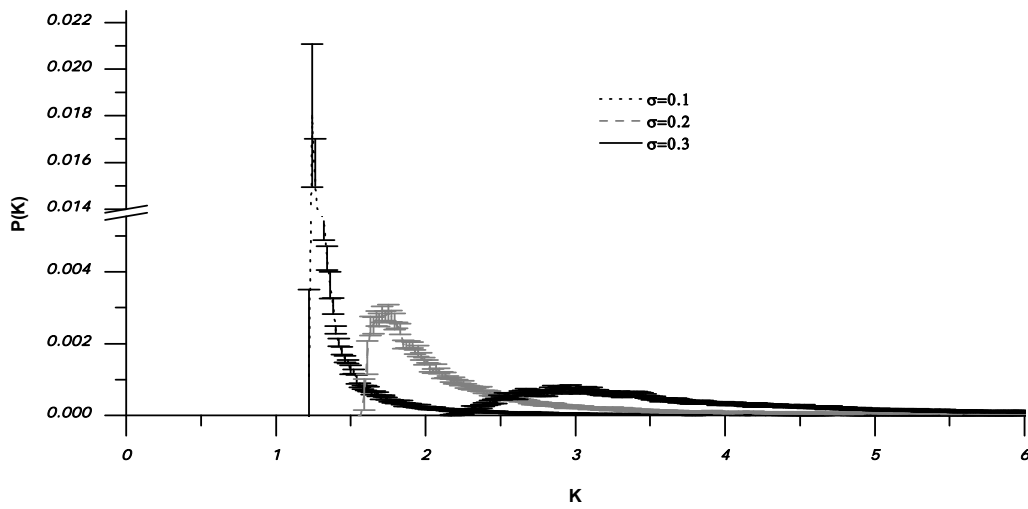


Рис. 1. Розподіл коефіцієнтів підсилення $P(K)$, де K – коефіцієнт підсилення для $\sigma = 0.1$, $\sigma = 0.2$, $\sigma = 0.3$

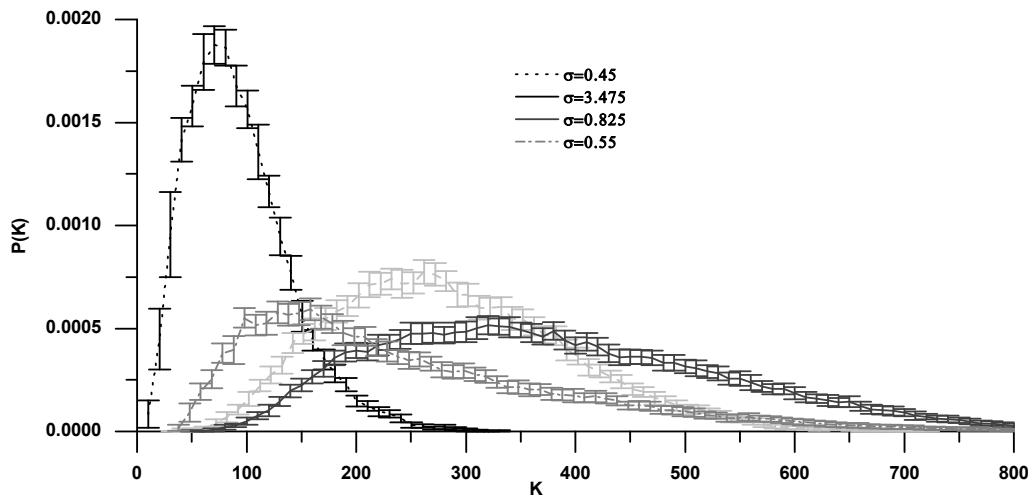


Рис. 2. Розподіл коефіцієнтів підсилення $P(K)$, де K – коефіцієнт підсилення для $\sigma = 0.45$, $\sigma = 0.475$, $\sigma = 0.525$, $\sigma = 0.55$

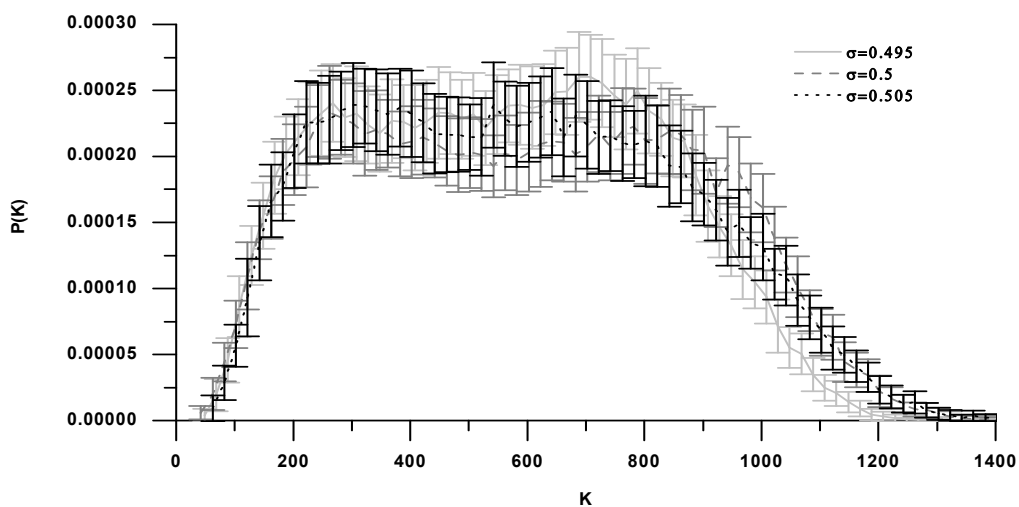


Рис. 3. Розподіл коефіцієнтів підсилення для $\sigma = 0.495$, $\sigma = 0.5$, $\sigma = 0.505$

Найбільший інтерес викликали розподіли коефіцієнтів підсилення при $0.4 < \sigma < 0.6$, тому були побудовані розподіли для проміжних значень σ з цього інтервалу, ці розподіли представлені на Рис. 3.

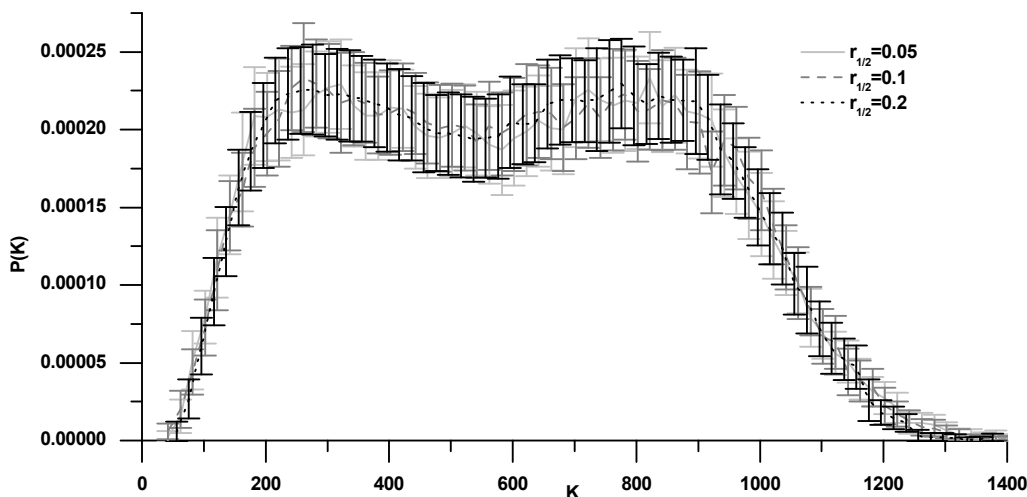


Рис. 4. Розподіл коефіцієнтів підсилення для радіусів половинної яскравості $R_{1/2} = 0.05, 0.1, 0.2$, довжина траєкторії становить $5R_E$, оптична глибина $\sigma = 0.5$, зовнішній зсув $\gamma = 0$

4. Обговорення. В даній роботі проведено повне моделювання ефектів мікролінзування для гаусівського джерела, що мікролінзоване точковими масами, яке не зводиться до наближенням лінійної каустики, оскільки моделювання за допомогою останнього методу має суттєвий недолік. Це наближення є ефективним лише на відстані від каустики порядку розміру джерела за умови, що розмір джерела значно менший за радіус кривини каустики, і не працює в області, де джерело можна розглядати як точкове. Пряме обчислення кривих блиску протяжного джерела виявило появу двох максимумів у розподілі коефіцієнтів підсилення при $\sigma \approx 0.5$. Численні перевірки самого коду і його складових частин не показали ніяких відхилень від цієї тенденції і для більшого поля мікролінз, і для іншого напрямку траєкторії джерела. При цьому можна зазначити, що різниця між моделями є досить малою і становить не більше 10%, подібний результат було отримано раніше [10]. Вигляд розподілів коефіцієнтів підсилення при різних значеннях радіуса половинної яскравості джерела майже не змінюється, в цьому випадку лише змінюється максимум коефіцієнтів підсилення.

1. Chang K., Refsdal S. Flux variations of QSO 0957+561 A, B and image splitting by stars near the light path // Nature. – 1979. – Vol. 282. – P. 561-564.
 2. Grieger B., Kayser R., Refsdal S. Gravitational micro-lensing as a clue to quasar structure // Astron. and Astrophys. – 1988. – Vol. 194. – P. 54–64.
 3. Lewis G.F., Irwin M.J. The statistics of microlensing light curves – I. Amplification probability distributions // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 1995. – Vol. 276, № 1. – P. 103–114.
 4. Mortonson M.J., Schechter P.L. Size is Everything: Universal Features of Quasar Microlensing with Extended Sources // Astrophys. J. – 2005. – Vol. 628. – P. 594–603.
 5. Salata S.A., Zhdanov V.I. Statistical Astrometric Microlensing of Extended Sources // Astron. J. – 2003. – Vol. 125, № 3. – P. 1033–1037.
 6. Schneider P., Weiss A. Light propagation in inhomogeneous universes: the ray-shooting method // MPA Rep. – 1987. – Vol. 311. – P. 46.
 7. Wambsgans J., Paczynski B., Schneider P. Interpretation of the microlensing event in QSO 2237 + 0305 // Astrophys. J. – 1990. – Vol. 358. – P. L33–L36.
 8. Wozniak P., Alard C., Udalski A. The optical gravitational lensing experiment monitoring of QSO 2237+0305. A Hunt for Caustic Crossings // Astron. J. – 2000. – Vol. 529. – P. 88–92.
 9. Wyithe J.S., Webster R.L., Turner E.L., Mortlock D.J. A gravitational microlensing determination of continuum source size in Q2237+0305 // MNRAS. – Vol. 315, № 1. – P. 62-68.
 10. Слюсар В.М., Александров А.Н., Жданов В.И. Моделювання кривих блиску мікролінзованого протяжного джерела // Вісник Київ. ун-ту. Астрономія. – 2009. – № 45. – С.29-33.

Надійшла до редколегії 10.06.10

УДК 523.985

О. Андрієць

ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ У СЛАБКИХ СОНЯЧНИХ СПАЛАХАХ ПО ЛІНІЯХ ФОТОСФЕРИ ТА ХРОМОСФЕРИ

У роботі наведено результати спектрофотометричного дослідження трьох слабких сонячних спалахів від 25 липня 1991 року балу SB, від 18 липня 2000 року рентгенівського балу C1.5 активної області NOAA 9077 та від 28 липня 2004 р. рентгенівського балу C4, який виник в активній області NOAA 652. На основі аналізу $I \pm V$ профілів Стокса для всіх трьох спалахів було виміряно величини усереднених магнітних полів і проведено перевірку на наявність маломаштабних просторово нероздільних структур магнітних полів. Показано, що в наближенні однорідного поля у деяких спалахах існує знакозмінний вертикальний градієнт магнітного поля. Розгляд ліній з близькими глибинами формування але різними факторами Ланде показує, що принаймні у двох спалахах існувала субтелескопічна структура магнітного поля з локальними індукціями понад 1 кГс.

The spectrophotometric results investigation of magnetic fields in the three weak solar flares of 28 July 2004, 18 July 2000 and 25 July 1991 are presented. The magnitudes of magnetic fields were measured and availability of unresolved magnetic structure test was carried out. Alternating vertical gradient of magnetic field was revealed for two of the investigated flares. Treatment of lines with similar formation depths and with different Lande factor shows that even if one subtelescopic structure was existed with strong magnetic field with local inductions over 1 kGs.

Вступ. На сьогодні магнітні поля у сонячних спалахах найкраще досліджені лише на фотосферному рівні. Є також обмежене число публікацій, в яких містяться результати магнітографічних вимірювань у зоні температурного мінімуму і хромосфери [2, 7, 14]. Та при вивченні хромосферних магнітних полів магнітографічним методом їх значення не зовсім достовірні, оскільки мають місце значні зміни у профілях хромосферних ліній в активних обла-