

СПЕКТРАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ СЛАБКИХ ЗІР ДО 22.0^m (V) У НАПРЯМКУ РОЗСІЯНИХ ЗОРЯНИХ СКУПЧЕНЬ

В. І. Кузнецов¹, В. Бускомб², Г. З. Бутенко¹

¹Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень
Національної академії наук України

²Північно-західний університет, відділ фізики й астрономії,
Дерборнська обсерваторія, Еванстон, США

(Отримано 26 грудня 2006 р.; в остаточному вигляді — 28 вересня 2007 р.)

За допомогою розробленого методу [V. I. Kuznetsov, G. Z. Boutenko, G. A. Lazorenko, P. F. Lazorenko *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **142**, 389 (2000)] на основі надійних даних про розподіл пилової матерії та *UBV*-фотометрії отримано спектральні характеристики зір у напрямку розсіяних зоряних скупчень NGC 2244, NGC 2264 та IC 1805.

Ключові слова: розсіяні зоряні скупчення, *UBV*-фотометрія, спектральна класифікація зір.

PACS number(s): 95.75.De, 97.10.Ri, 98.20.Di

I. ВСТУП

Для розв'язання низки проблем сучасної астрономії потрібні спектри дуже слабких зір. Із цього погляду найперспективнішим є використання багатоколірних фотометричних систем. Але при переході від триколірної системи (*UBV*) до семиколірної (наприклад, Вільнюської [1]) та до інших ще більш багатоколірних систем, які дають змогу класифікувати зорі всіх спектральних класів та світимостей, різко збільшується обсяг робіт, пов'язаних із отриманням спостережуваних даних.

II. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДУ

У статті [2] описано новий метод спектральної класифікації зір на основі *UBV*-даних та кривої залежності надлишків кольору E_{B-V} від істинного модуля відстані ($V_0 - M_V$). Параметри $E_{B-V} = (B-V) - (B-V)_0$ та $(V_0 - M_V)$, де $V_0 = V - R^* E_{B-V}$, містять дані про спектральні класи $Sp = f(B-V)_0$ та абсолютні величини зір M_V , тому метод [2] виключає неоднозначність у визначенні спектральних характеристик зір, яка притаманна *Q*-методові [3,4]. Використання методу [2] дозволило провести спектральну класифікацію зір до 22.0^m у напрямку скупчення NGC 2264 та NGC 2244 [2,5]. При цьому як додаткові критерії класифікації були використані дані про кінематичні характеристики зір.

Для проведення спектральної класифікації зір до 22.0^m у будь-якому напрямку потрібні *UBV*-величини та криві міжзоряного поглинання світла від Сонця до периферії Галактики. Фотометричні дані зірок до 22.0^m (V) легко отримати за допомогою телескопа середніх розмірів та ПЗЗ-приймача.

Попередні дослідження [2,5,6] показали, що одержати дані про розподіл пилової матерії до периферії

Галактики можна на основі величин та спектрів зір до 15.0^m (V).

Спектри зір до 15.0^m (V) можна отримати методом спектральної класифікації зір із нерозширених низькодисперсійних спектрограм [7] або за допомогою багатоколірної фотометрії зір [1,6].

Отже, метод [2] є ступінчастим, оскільки базується на *UBV*-даних, спектрах та світимостях зір.

Якщо в якомусь напрямку Галактики промінь зору натрапляє на непрозору пилову хмару [8], то цю обставину можна використати як додатковий критерій спектральної класифікації зір. У цьому випадку зірка, яку класифікуємо, однозначно належатиме передньому фону, і тоді легко визначити її спектральний тип та абсолютну величину.

Результати спектральної класифікації зір до 22.0^m (V) [2,5] добре узгоджуються з аналогічними даними, отриманими на 5-метровому телескопі [9].

У роботі [5] методом [2] проведено спектральну класифікацію зір у напрямку розсіяного зоряного скупчення NGC 6913. Фотометричні *UBV*-дані одержано на 2-м телескопі Міжнародного центру астрономічних та медико-екологічних досліджень на піку Терскол [10]. Отже, 2-м телескоп, оснащений ПЗЗ-приймачем, можна успішно використати для спектральних оглядів найслабших зір. Можливості методу [2] з погляду проникної здатності обмежені лише технічними можливостями телескопа та приймальної апаратури.

У таблиці 1 наведено розрахунки індивідуальних характеристик зорі спектрального класу K, виконані на основі *UBV*-даних та кривої поглинання, наведеної на рис. 1.

На рис. 2 наведено порівняння результатів спектральної класифікації зір, отриманих різними методами:

— трикутниками позначено порівняння результатів спектральної класифікації зір, одержаних мето-

дом [2], з оцінками спектрів у системі МК у напрямку скупчення NGC 2244 [11];

— хрестиками позначено порівняння результатів класифікації за методом [2] з оцінками спектрів у системі МК в напрямку скупчення NGC 2264 [12,13];

— зірочками позначено порівняння результатів, отриманих в Абастуманській системі критеріїв [14], з оцінками спектрів у системі МК в напрямку скупчення NGC 2264.

Виміряні величини: $V = 11.06$, $B-V = 0.29$, $U-B = -0.21$

	Sp	$(B-V)_0$	E_{B-V}	A_V	V_0	M_V (MS)	M_V (ZAMS)	V_0-M_V (MS)	V_0-M_V (ZAMS)	Sp
1.	B9 V	-0.07	1.11	3.55	6.66	0.2	0.9	6.46	5.76	—
2.	F0 V	0.30	0.74	2.37	7.84	2.7	2.8	5.14	5.04	—
3.	K2 V	0.91	0.13	0.42	9.79	6.4	6.3	3.39	3.49	K2 V
4.	M0 V	0.40	-0.36	0.00	10.21	8.8	8.8	1.61	1.61	—
5.	B9 III	-0.07	1.11	3.55	6.66	0.2	—	6.46	—	—
6.	F2 III	0.35	0.69	2.21	8.00	1.7	—	6.3	—	—
7.	G8 III	0.94	0.10	0.32	9.89	0.8	—	9.09	—	G8 III
8.	M6 III	1.52	-0.48	0.00	10.21	-0.3	—	10.51	—	—

$Q_{UBV} = -0.19$, Sp = K0, $Q'_{UBV} = -0.03$, $Sp_{UBV} = K5$, $Sp_{МК} = K3$ III

Таблиця 1. Розрахунок індивідуальних характеристик зорі спектрального класу K.

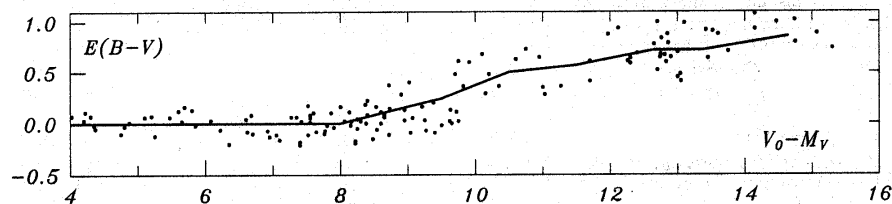


Рис. 1. Залежність надлишків кольору від істинного модуля відстані в напрямку скупчення NGC 2244.

Наведені порівняння свідчать про те, що за своєю точністю розроблений метод [2] не поступається Абастуманській системі критеріїв і похибки у визначенні спектральних типів зір не перевищують 1-2 спектральних підкласів.

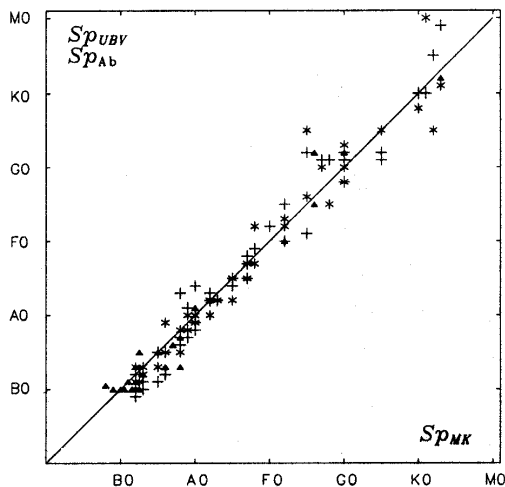


Рис. 2. Порівняння результатів спектральної класифікації зір у напрямку скупчень NGC 2244 і NGC 2264 з даними в системі МК та Абастуманській системі критеріїв.

III. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЖЗОРЯНОГО ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА

При дослідженні міжзоряного поглинання в напрямку скупчення IC 1805 були використані кінематичні [15,16], фотометричні [17,18,19] та неопубліковані спектральні дані, що люб'язно надав для роботи професор В. Бускомб, з ініціативи якого виконано цю роботу та уточнено спектри зір скупчення IC 1805 методом [2].

Для побудови надійної кривої поглинання у вибраному напрямку дослідження або залежності $E_{B-V} \sim (V_0 - M_V)$ члени скупчення необхідно виключити з розгляду. Значення надлишків кольору та істинних модулів відстані на кривій залежності $E_{B-V} \sim (V_0 - M_V)$ повинні були б виродитися в точку, оскільки розміри скупчення малі порівняно з відстанню до нього. Проте через великі похибки у визначенні абсолютних величин зір [2,7] члени скупчення створюють сильну дисперсію по осі істинних модулів та відстаней, спотворюючи криву поглинання та створюючи ефект так званої "горизонтальної полицки". Раніше цей ефект пояснювали лише спостереженою селекцією [20]. Крім того, дуже сильний вплив на характер ходу кривої поглинання можуть викликати

істотні відмінності у шкалах абсолютних величин зір головної послідовності (ГП) та початкової головної послідовності (ПГП), які різні для зір фону та членів скупчення [2].

Практично в усіх попередніх роботах із дослідження будови Галактики в напрямку молодих розсіяних скупчень, ділянок зореутворення (ОЗ) та ОБ-асоціацій абсолютні величини членів цих зоряних угруповань приймалися такими ж, як і для зір фону, тобто за шкалою ГП. У праці [2] показано, що це може привести до штучного збільшення та розтягнення шкали відстаней у Галактиці, яке може досягати 60%.

Згідно з даними [21] середній надлишок кольору зірок — членів скупчення IC 1805 — становить $E_{B-V} = 0.83^m$. Похибка у визначенні E_{B-V} може досягати $\pm 0.10^m$ [7]. Враховуючи розкид на кривій залежності надлишків кольору від істинного модуля відстані, який становить $3\sigma(E_{B-V}) = \pm 0.30^m$, до членів скупчення, треба віднести зірки з $E_{B-V} \leq 1.13^m$ та $E_{B-V} \geq 0.53^m$ з імовірністю їх належності до скупчення $P \geq 70\%$ [15,16,19] в полі зору $1^\circ \times 1^\circ$. Тоді всі зірки з $P \leq 70\%$, $E_{B-V} \leq 0.53^m$ та $E_{B-V} \geq 1.14^m$ в полі зору з однорідним поглинанням [21] площею $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ можна з великою достовірністю віднести до переднього та заднього фону. За цими критеріями відібрано близько 200 зірок фону, за допомогою яких була побудована крива залежності надлишку кольору від істинного модуля відстані в напрямку скупчен-

ня IC 1805 (рис. 3). Значення коефіцієнта переходу від селективного поглинання до повного R прийнято рівним 3.2.

На прикладі зірки № 199 скупчення IC 1805 визначимо її спектральний тип Sp та клас світності M_V за допомогою методу [2]. Величина зірки $V = 11.54^m$, показники кольору $(B-V) = 1.67^m$, $(U-B) = 1.44^m$. Обчислимо середнє значення Q за формулою: $Q = (U-B) - X(B-V) = 0.02$, при середньому значенні $X = 0.85$. Розрахуємо можливі спектри при $Q = 0.02$ та індивідуальні характеристики, які наведено в таблиці 2.

Накладаємо на криву залежності $E_{B-V} \sim (V_0 - M_V)$ пари значень E_{B-V} і $(V_0 - M_V)$ та залишаємо в таблиці тільки ті значення спектрів Sp, які не виходять за межі $3\sigma(E_{B-V}) = \pm 0.30^m$ (рис. 3). Отримуємо значення Sp1 = M4 III; Sp2 = K3 I та Sp3 = M0 I. Із трьох значень обчислюємо середнє значення Sp* = K9. Для Sp* = K9 беремо $X = 0.99$ [1] та розраховуємо Q : $Q = -0.21$. Із залежності Sp $\sim Q$ [1] — спектральний тип зорі — K2. Відтак визначаємо абсолютну величину зірки M_V . Насамперед обчислюємо середнє значення V_0 для спектрів M4 III, K3 I, M0 I: $V_0 = 11.26^m$, далі розраховуємо для зір цих спектральних класів $(V_0 - M_V)$: $(V_0 - M_V) = 2.17^m$. Підставляємо в цю формулу істинне значення $V_0 = 11.26^m$. Із таблиці залежності Sp- M_V отримуємо кінцеве значення класифікації: Sp = K2V.

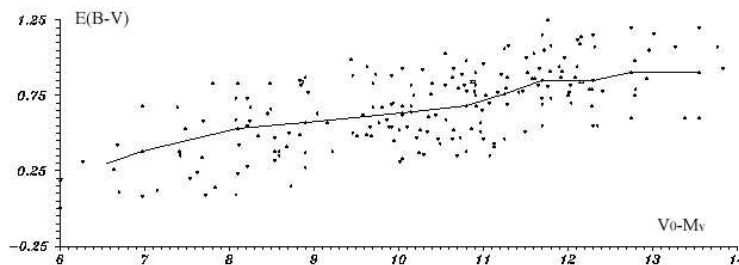


Рис. 3. Залежність надлишків кольору від істинного модуля відстані в напрямку скупчення IC 1805.

Виміряні величини: $V = 11.54^m$, $B-V = 1.67^m$, $U-B = 1.44^m$

Sp	$(B-V)_0$	E_{B-V}	A_V	V_0	M_V (MS)	$V_0 - M_V$ (MS)	r (MS)	$V_0 - M_V$ (ZAMS)	Sp
A2 V	0.05	1.62	5.18	6.36	1.30	5.06	102.61	4.66	—
K5 V	1.15	0.52	1.66	9.88	7.35	2.53	32.00	2.58	—
A2 IV	0.05	1.62	5.18	6.36	1.00	5.36	117.81	4.66	—
A1 III	0.01	1.66	5.31	6.23	0.20	6.03	160.55	4.66	—
K2 III	1.16	0.51	1.63	9.91	0.50	9.41	761.38	3.61	—
M4 III	1.62	0.05	0.16	11.38	-0.50	11.88	2376.84	-0.52	M4 III
A9 I	0.15	1.52	4.86	6.68	-6.60	13.28	4520.64	4.01	—
F0 I	0.17	1.50	4.80	6.74	-6.60	13.34	4655.86	3.94	—
K3 I	1.46	0.21	0.67	10.87	-5.90	16.77	22573.56	4.31	K3 I
M0 I	1.67	0.00	0.00	11.54	-5.60	17.14	26791.68	2.74	M0 I

$Q_{UBV} = 0.02$, Sp = K0, $Q'_{UBV} = -0.03$, Sp_{UBV} = K5, Sp_{MK} = K3III.

Таблиця 2. Приклад визначення спектрального типу та класу світності зорі за допомогою методу [2].

IV. СПЕКТРАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗІР

Спектральна класифікація зір у напрямку скупчення IC 1805 наведена тільки для зір, які мають *UBV*-дані, взяті з праці [18]. Частина отриманих результатів наведена в таблиці 3.

У шостій колонці таблиці 3 подано результати спектральних досліджень на основі методу [2] в ділянці скупчення IC 1805. У сьомій колонці наведено спект-

ральні оцінки, які надав В. Бускомб, у восьмій колонці — дані праці [18], а в дев'ятій — спектральні оцінки за даними роботи [19]. Видно, що всі вони добре узгоджуються між собою. Треба відзначити, що праця [18] містить, в основному, характеристики зірок із високою ймовірністю їх належності до скупчення IC 1805. Зірки з малою ймовірністю практично виключаються з розгляду, а отже, фотоелектрична фотометрія виконана властиво тільки для членів скупчення.

№ з/п	<i>N</i> [18]	<i>V</i> [18]	<i>B-V</i> [18]	<i>U-B</i> [18]	Sp (UBV)	Sp (Buscombe)	Sp [18]	Sp [19]
1.	5	12.98	1.62	1.63	K5V	—	—	—
2.	7	14.44	0.84	0.16	B5V	—	B6	—
3.	8	13.39	0.78	0.17	B6V	—	B7	—
4.	15	14.14	0.87	0.03	B3IV	—	B3	—
5.	18	12.61	0.84	-0.12	B2V	—	B1.5	—
6.	21	11.29	0.98	-0.07	B1V	O9.5 V	B0	—
7.	23	11.45	0.84	-0.11	B1.5V	B1 V	B0.5	—
8.	26	12.04	0.67	0.57	A2V	—	—	A0V
9.	28	13.49	0.76	0.11	B5IV	—	—	—
10.	29	13.29	0.63	0.24	B8IV	—	—	—
11.	37	13.86	0.85	0.10	B4V	—	B5	—
12.	39	13.01	0.89	0.62	A8III	—	—	—
13.	42	13.45	0.90	-0.05	B2III	B2.5V	B2	—
14.	43	12.22	1.60	1.05	—	F8.5	F8	—
15.	49	12.80	1.12	0.02	O8II	B2.5V	B0.5V	—
16.	50	12.75	0.59	0.12	B8III	—	B1.5	—
17.	51	11.32	0.38	-0.35	B3III-IV	—	B4	—
18.	52	13.27	1.08	0.04	B0.5V	B2V	B1	—
19.	53	12.82	0.80	-0.04	B3III	B1.5V	B3	—
20.	55	13.82	0.87	0.49	F1V	—	—	—
21.	56	13.23	0.50	0.15	B5V	—	—	—
22.	57	13.90	0.86	0.31	B8V	—	F6	—
23.	60	13.93	0.78	0.73	A2IV	—	B8	—
24.	62	12.54	0.85	-0.18	B1 V	B2.5V	B1	—
25.	63	13.33	0.78	0.40	B9V	—	B7	—
26.	68	13.16	0.63	-0.11	B3V	B2.5V	B4	—
27.	69	12.34	0.68	-0.24	B1V	B2.5V	B2	—
28.	70	8.31	0.79	-0.22	B0 I	B0.5Ia	B3	O9
29.	71	13.83	0.69	-0.03	B3V	—	—	—
30.	72	12.38	0.61	-0.33	B1V	B2.5V	B1	—
31.	74	11.40	1.93	1.90	K4V	—	K4.5	—
32.	82	12.50	0.81	-0.14	B1 V	—	B1.5	—
33.	85	13.83	0.69	-0.34	B0V	B5V	B0	—
34.	86	12.79	0.54	0.37	A0IV	—	—	—
35.	91	13.02	0.55	0.16	B8IV	—	B2	—
36.	94	13.91	0.78	-0.10	B2V	B2.5V	B2.5	—
37.	96	13.50	0.56	-0.10	B4V	B4V	B5	—
38.	99	13.44	0.75	0.60	A3II	—	A0.5	—
39.	103	10.56	0.51	-0.42	B1V	B1V	B1	O-B
40.	104	8.79	0.57	-0.51	O5V	O7V	O5.5	O5

Таблиця 3. Спектральна класифікація зір у напрямку скупчення IC 1805.

Скупчення IC 1805, згідно з даними праці [21], перебувають на великій відстані від Сонця — 2230 пс. Легко підрахувати, що для граничної величини каталогу [18] на цій відстані можна спостерігати тільки ранні О-В зірки. Інший каталог [19], що використовується для порівняння, містить тільки О-В-А зірки. Список зірок В. Бускомба також складається тільки з О-В зірок. Цим пояснюється порівняно вузький

діапазон зірок порівняння, що перебувають у межах ранніх О-В зір та деяких пізніх зір-гігантів і зір фону.

У роботі [22] наведено каталог *UBV*-величин 1023 зір у напрямку скупчення IC 1805. Тому особливе зацікавлення викликають спектральні дослідження цих зір на основі методу [2] для вивчення фізичних та еволюційних характеристик молодого розсіяного зоряного скупчення IC 1805.

-
- [1] В. Страйжис, *Многоцветная фотометрия звезд* (Вильнюс, Мокслас, 1977).
- [2] V. I. Kuznetsov, G. Z. Boutenko, G. A. Lazorenko, P. F. Lazorenko *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **142**, 389 (2000).
- [3] H. L. Johnson, *Lowell. Obs. Bull.* **4**, 37 (1958).
- [4] H. L. Johnson, W. W. Morgan, *Astrophys. J.* **117**, 313 (1953).
- [5] V. Kuznetsov, W. Buscombe, G. Butenko, G. Lazorenko, P. Lazorenko *Kinematics Phys. Celest. Bodies Suppl.*, 165 (2003).
- [6] А. Пучинкас, *Бюлл. Вильнюс. астрон. обс. №61*, 3 (1982).
- [7] В. И. Кузнецов, *Астрометрия и астрофизика*, Вып. 34, 30 (1978).
- [8] Н. Б. Каландадзе, В. И. Кузнецов, В. И. Ворошилов, *Кинем. физ. небес. тел* **2**, 27 (1986).
- [9] T. M. Adams, K. M. Strom, S. E. Strom, *Astropys. J. Suppl. Ser.* **53**, 893 (1983).
- [10] K. Jockers *et al.*, *Kinematics Phys. Celest. Bodies* **3**, 13 (2000).
- [11] K. Ogura, K. Ishida, *Publ. Astron. Soc. Jpn* **33**, 149 (1981).
- [12] M. F. Walker, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **2**, 365 (1956).
- [13] M. F. Yong, *Publ. Astron. Soc. Pac.* **90**, 144 (1978).
- [14] Е. К. Харадзе, Р. А. Бартая, *Бюлл. Абастурман. обс.* **25**, 139 (1960).
- [15] S. Vasilevskis, W. L. Sanders, W. F. van Altena, *Astron. J.* **70**, 806 (1965).
- [16] W. L. Sanders, *Astron. Astrophys.* **16**, 58 (1972).
- [17] A. A. Hoag, H. L. Johnson, B. Iriate, R. I. Mitchell, K. L. Hallam, *Publ. US Naval Obs. Second Ser.* **17**, part 7, 90; 539 (1961).
- [18] O. C. Joshi, R. J. Sagan, *Roy Astron. Soc. Can.* **77**, 40 (1983).
- [19] В. И. Ворошилов, Н. Г. Гусева, Н. Б. Каландадзе *и др. Каталог В, V-величин и спектральных классов 6000 звезд* (Киев, Наук. думка, 1985).
- [20] В. И. Ворошилов, Н. Б. Каландадзе, *Астрометрия и астрофизика*, Вып. 50, 35 (1983).
- [21] Л. Н. Аршуткин, В. И. Ворошилов, Н. Г. Гусева, *Строение и эволюция областей звездообразования* (Киев, Наук. думка, 1990).
- [22] P. Massey, *Astrophys. J.* **454**, 151 (1995).

SPECTRAL CLASSIFICATION OF FAINT STARS TO 22.0^m (V) IN THE DIRECTION OF THE OPEN CLUSTERS

V. I. Kuznetsov¹, W. Buscombe², G. Z. Butenko¹

¹*International Center for Astronomical, Medical, and Ecological Research*

E-mail: kouznets@mao.kiev.ua, butenko@mao.kiev.ua

²*Northwestern University, Department of Physics and Astronomy,*

Dearborn Observatory, Evanston, USA

E-mail: buscombe@nvu.edu

By the developed method [V. I. Kuznetsov, G. Z. Boutenko, G. A. Lazorenko, P. F. Lazorenko *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **142**, 389 (2000)] on the basis of reliable information concerning the distribution of dust matter and *UBV*-photometry spectral descriptions of stars we got spectral characteristics of stars in the direction of the open clusters of NGC 2244, NGC 2264 and IC 1805.