

УДК: 524.7—7—56

О РАЗДЕЛЕНИИ КОМПОНЕНТОВ В ИЗЛУЧЕНИИ
ПЕРЕМЕННЫХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

В. А. ГАГЕН-ТОРН

Поступила 20 июля 1984

Принята к печати 11 января 1985

Предложен метод разделения компонентов в излучении переменных внегалактических источников в рамках двухкомпонентной модели (нормальная галактика + переменный точечный источник с постоянным распределением энергии в спектре). Его возможности проиллюстрированы примерами.

1. *Введение.* Одним из проявлений активности внегалактических объектов является переменность их блеска в оптике. Точные фотоэлектрические наблюдения, выполненные с диафрагмами разного диаметра, показали, что переменный компонент локализован в ядре и имеет малые угловые размеры (по существу, является точечным). Он обычно наблюдается на фоне протяженного компонента, который либо прекрасно виден (сейфертовские галактики), либо намечается (близкие N-галактики), либо выделяется на специальном образом полученных фотографиях (далекие N-галактики, близкие квазары). У далеких квазаров непосредственно выделить протяженный источник не удастся, но существование его не вызывает сомнения. В общем, двухкомпонентная (в первом приближении) модель активных внегалактических объектов, обоснованная для квазаров в работе [1] и развитая для сейфертовских и N-галактик в работах [2] и [3], является сейчас общепринятой.

Естественно, что выяснение природы активности требует в первую очередь проведения разделения этих компонентов. В работе [3] предлагаются два метода разделения компонентов по данным фотометрических наблюдений, выполненных с разными диафрагмами. Методы не опираются на изучение переменности, но связаны с предположением, что подстилающая галактика является гигантской эллиптической галактикой (во втором из них задается еще цвет точечного источника). Чуть позже Адамс [4] указал, что в случае неизменности цвета переменного точечного источника его показатели цвета могут быть найдены по наблюдаемой переменности блеска в соответствующих полосах без каких-либо предположений

относительно свойств протяженного источника (кроме его постоянства). Комбинация методов работ [3, 4] была использована при разделении компонентов в излучении лацертиды AP Lib в обстоятельной работе Вестерлунда и др. [5].

В 1981 г. Холоневский [6] предложил более наглядный, чем у Адамса (хотя и не отличающийся принципиально) способ определения показателя цвета переменного компонента, использующий сразу же всю совокупность наблюдательных данных (Адамс выделял точечный источник парным сравнением всех данных с данными для минимума блеска). В нашей недавней работе [7] подход Холоневского был применен к анализу двухцветных *BV*-наблюдений BL Lac и было показано, что в этом случае для разделения компонентов необходимо задать показатель цвета постоянного компонента (иными словами — тип подстилающей галактики). В этой статье мы покажем, что в случае трехцветных *UBV*-наблюдений разделение компонентов в двухкомпонентной модели с нормальной подстилающей галактикой и переменным источником, не меняющим своего цвета, может быть проведено без других дополнительных предположений.

2. *Методика разделения компонентов.* Напомним, что подход Холоневского состоит в том, что сопоставляются найденные по звездным величинам плотности потоков (для краткости будем называть их «потоками»), полученные в разных цветовых полосах. Если двухкомпонентная модель осуществляется, то в пространстве потоков точки, соответствующие наблюдаемым потокам (будем называть их «наблюдаемые точки»), с необходимостью лежат на прямой линии, направляющие тангенсы которой определяются показателями цвета переменного компонента.

Действительно, наблюдаемые потоки — это суммы потоков постоянного компонента (галактической подложки) Φ_U^r , Φ_B^r , Φ_V^r и переменного компонента Φ_U^{var} , Φ_B^{var} , Φ_V^{var} , причем эти последние связаны в силу постоянства показателей цвета соотношениями $\Phi_B^{var}/\Phi_V^{var} = a$, $\Phi_U^{var}/\Phi_B^{var} = c$, где a и c — постоянные. Имеем

$$\left. \begin{aligned} \Phi_V &= \Phi_V^r + \Phi_V^{var} = \Phi_V^r + \frac{1}{a} \Phi_B^{var} \\ \Phi_B &= \Phi_B^r + \Phi_B^{var} \\ \Phi_U &= \Phi_U^r + \Phi_U^{var} = \Phi_U^r + c \Phi_B^{var} \end{aligned} \right\}$$

Исключая Φ_B^{var} , получим

$$\left. \begin{aligned} \Phi_B &= a \Phi_V + \Phi_B^r - a \Phi_V^r = a \Phi_V + b \\ \Phi_U &= c \Phi_B + \Phi_U^r - c \Phi_B^r = c \Phi_B + d \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где b и d — постоянные. В пространстве $\{\Phi_U, \Phi_B, \Phi_V\}$ (1) является уравнением прямой. Видно, что точка $(\Phi_U^r, \Phi_B^r, \Phi_V^r)$ лежит на этой прямой.

Расположение наблюдаемых точек на прямой, строго говоря, не является достаточным условием для осуществления двухкомпонентной модели. Тем не менее она, по всей вероятности, в этом случае верна, поскольку альтернативные возможности требуют выполнения некоторых трудно обосновываемых специальных условий. Поэтому мы будем считать в дальнейшем, что расположение наблюдаемых точек на прямой линии свидетельствует о правильности двухкомпонентной модели.

В отличие от Холоневского, переходившего к потокам в относительных единицах, мы будем использовать абсолютные значения потоков в мЯн. Тогда в соответствии с калибровкой Джонсона [8] будет

$$\left. \begin{aligned} \lg \Phi_U &= 6.280 - 0.4 U \\ \lg \Phi_B &= 6.670 - 0.4 B \\ \lg \Phi_V &= 6.600 - 0.4 V \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для связи между показателями цвета и отношением потоков из (2) легко получить:

$$\left. \begin{aligned} B - V &= -2.5 \lg(\Phi_B/\Phi_V) + 0.175 \\ U - B &= -2.5 \lg(\Phi_U/\Phi_B) - 0.975 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Итак, будем считать, что в пространстве потоков $\{\Phi_U, \Phi_B, \Phi_V\}$ наблюдаемые точки лежат на прямой. Запишем уравнение этой прямой в виде (1). Коэффициенты a , b , c и d в уравнениях (1) легко находят по наблюдаемым значениям потоков способом наименьших квадратов. Определив $a = \Phi_B^{\text{var}}/\Phi_V^{\text{var}}$ и $c = \Phi_U^{\text{var}}/\Phi_B^{\text{var}}$, по формулам (3) можно найти показатели цвета переменного компонента $(B - V)^{\text{var}}$ и $(U - B)^{\text{var}}$.

Далее, поскольку точка $(\Phi_U^r, \Phi_B^r, \Phi_V^r)$, которую нам надо найти для разделения компонентов, лежит на этой прямой, имеем:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_B^r &= a\Phi_V^r + b \\ \Phi_U^r &= c\Phi_B^r + d \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Введя обозначения

$$\left. \begin{aligned} \Phi_B^r/\Phi_V^r &= \alpha \\ \Phi_U^r/\Phi_B^r &= \beta \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

перепишем (4) в виде

$$\left. \begin{aligned} \Phi_B^r \left(1 - \frac{a}{a}\right) &= b \\ \Phi_B^r (\beta - c) &= d \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Исключив теперь Φ_B^r , получим связь между a и β

$$\beta = \frac{d + bc}{b} - \frac{ad}{b} \frac{1}{a} \quad (7)$$

Обратим внимание на то, что a и β — это величины, однозначно связанные с показателями цвета галактической подложки (см. формулы (3)). Но между показателями цвета нормальных галактик разных типов существует зависимость $U-B = f(B-V)$, установленная Вокулером и др. [9]. Ее преобразование с использованием формул (3) к виду $\beta = \varphi(a)$ дает второе уравнение, связывающее a и β . Результаты такого преобразования представлены в табл. 1, в которой для галактик разных типов да-

Таблица 1
НОРМАЛЬНЫЕ ЦВЕТА И КОЭФФИЦИЕНТЫ a И β
ДЛЯ НОРМАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК

Тип	$(B-V)_0$	$(U-B)_0$	a	β
gE	+0.95	+0.62	0.488	0.230
E	+0.90	+0.48	0.512	0.263
L	+0.88	+0.42	0.522	0.277
S_{ab}	+0.79	+0.25	0.570	0.324
S_{bc}	+0.65	+0.04	0.646	0.393
S_{cd}	+0.48	-0.15	0.755	0.468
$S_{dm}-l_m$	+0.40	-0.23	0.813	0.504

ются показатели цвета по [9] и найденные по (3) значения a и β . Показатели цвета гигантских эллиптических галактик gE даны по Сандейджу [3]. Решение системы

$$\left. \begin{aligned} \beta &= \frac{d + bc}{b} - \frac{ad}{b} \frac{1}{a} \\ \beta &= \varphi(a) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

дает (если оно существует) a и β . Затем по любой из формул (6) можно найти Φ_B^r и далее по (5) Φ_V^r и Φ_U^r . Определение коэффициентов a и β (т. е. $(B-V)^r$ и $(U-B)^r$) позволяет независимо оценить тип

подстилающей галактики. Решение системы (8), в которой функция φ задана таблично, удобно проводить графически.

На практике должны быть учтены еще два обстоятельства: необходимость внесения K -поправки и исправления за межзвездное поглощение света, поскольку функция $\beta = \varphi(\alpha)$ дается для нулевого красного смещения и нулевого поглощения света в Галактике. Первую поправку легко внести во второе уравнение системы (8), используя рассчитанные Пенсом [10] для разных z K -поправки для UBV -фильтров. Нетрудно видеть, что

$$\left. \begin{aligned} \alpha_s &= \alpha \cdot 10^{-0.4[K_B(z) - K_V(z)]} \\ \beta_s &= \beta \cdot 10^{-0.4[K_U(z) - K_B(z)]} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Поправку за поглощение можно внести в коэффициенты a, b, c, d . Будем использовать стандартную кривую поглощения, для которой $A_B = 1.33 A_V$, $A_U = 1.58 A_V$. Исправленные за поглощение потоки, будут: $\Phi_U = l\Phi_U$, $\Phi_B = m\Phi_B$, $\Phi_V = n\Phi_V$, где $n = 10^{0.4 A_V}$, $m = 10^{0.4 A_B}$, $l = 10^{0.4 A_U}$. Для них коэффициенты в системе (1) окажутся равными: $a' = a \frac{m}{n}$, $b' = bm$, $c' = c \frac{l}{m}$, $d' = d \cdot l$.

Решение системы (8) со штрихованными коэффициентами и исправленной за красное смещение кривой $\beta = \varphi(\alpha)$ будет давать величины α и β , которые наблюдались бы в отсутствие поглощения, а уравнения (6) — исправленный за поглощение поток Φ_V^* . Дальнейший переход к звездным величинам осуществляется по формулам (2) и (3).

3. *Примеры применения вышеуказанной методики.* Для иллюстрации возможностей метода применим его к четырем объектам, для которых ранее проводилось разделение компонентов другими способами. Как уже отмечалось, Сандейдж [3] предложил два метода разделения компонентов. Первый из них был применен им к N-галактике ЗС 371, второй он использовал для целого ряда N-галактик. Среди них три объекта (ЗС 371, ЗС 390.3 и ЗС 120), для которых имеются фотоэлектрические данные по переменности. Мы будем использовать для них те же данные, которые использовал Холоневский [6], когда определял цвета точечных источников у этих объектов. Для ЗС 371 и ЗС 390.3 это данные Сандейджа [3, 11], для ЗС 120 — О'Делла и др. [12]*. Четвертым объектом является изучав-

* В случае ЗС 120 Холоневский использовал все наблюдения этого объекта, опубликованные в [12], не обратив внимания на то, что два из них сделаны с отличной по размеру диафрагмой. Поэтому цвета точечного источника, полученные им, ошибочны. Мы использовали только наблюдения с диафрагмой 18".

шаяся в [2] сейфертовская галактика NGC 4151, для которой имеются наиболее богатые наблюдательные данные по UBV -фотометрии. Как и в работе [6], для нее будут использованы наблюдения Лютого [13, 14] и Зайцевой и Лютого [15] с диафрагмой $27''$.

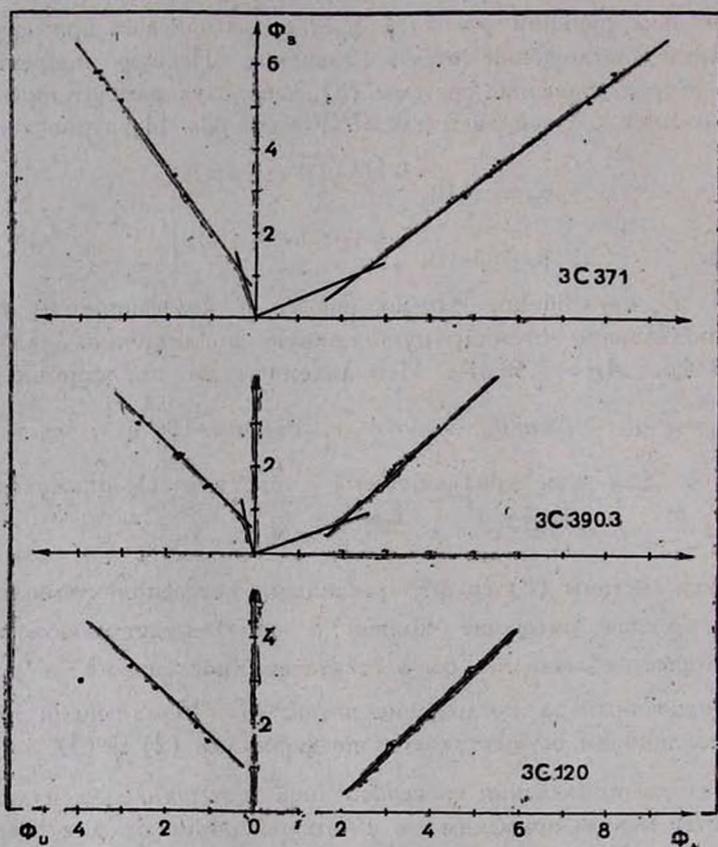


Рис. 1. Сопоставление наблюдаемых потоков для трех N-галактик; точки пересечения прямых с лучами дают наблюдаемые потоки галактической подложки.

Сопоставление наблюдаемых потоков Φ_U , Φ_B , Φ_V для объектов 3C 371, 3C 390.3, 3C 120 проведено на рис. 1, для NGC 4151 на рис. 2, где разными значками нанесены данные для разных лет (с 1968 г. по 1972 г. и 1975 г.). Из рассмотрения рис. 1 видно, что во всех трех случаях точки вполне удовлетворительно ложатся на прямые линии. Для NGC 4151 наблюдаемые точки также в среднем достаточно хорошо лежат на прямых линиях (хотя некоторые различия для разных сезонов, возможно, и имеются). Это позволяет нам во всех случаях исходить из двухкомпонентной модели с точечным источником, не меняющим распределения энергии.

Отметим, что в статье Бабаджанянца и др. [2] для NGC 4151 на основании в значительной степени тех же наблюдательных данных было сделано заключение об изменениях цвета точечного источника и корреляции этих изменений с уровнем его блеска. Причиной этого, как теперь представляется, ошибочного заключения послужило использование в качестве точки, от которой отсчитывался блеск точечного источника, наиболее близкой к началу координат точки, которая, как видно, довольно сильно уклоняется от средней прямой на рис. 2. Это обстоятельство иллюстрирует, в частности, преимущество подхода Холоневского, поскольку в работе [2] использовался метод выделения точечного источника, по существу не отличающийся от метода Адамса.

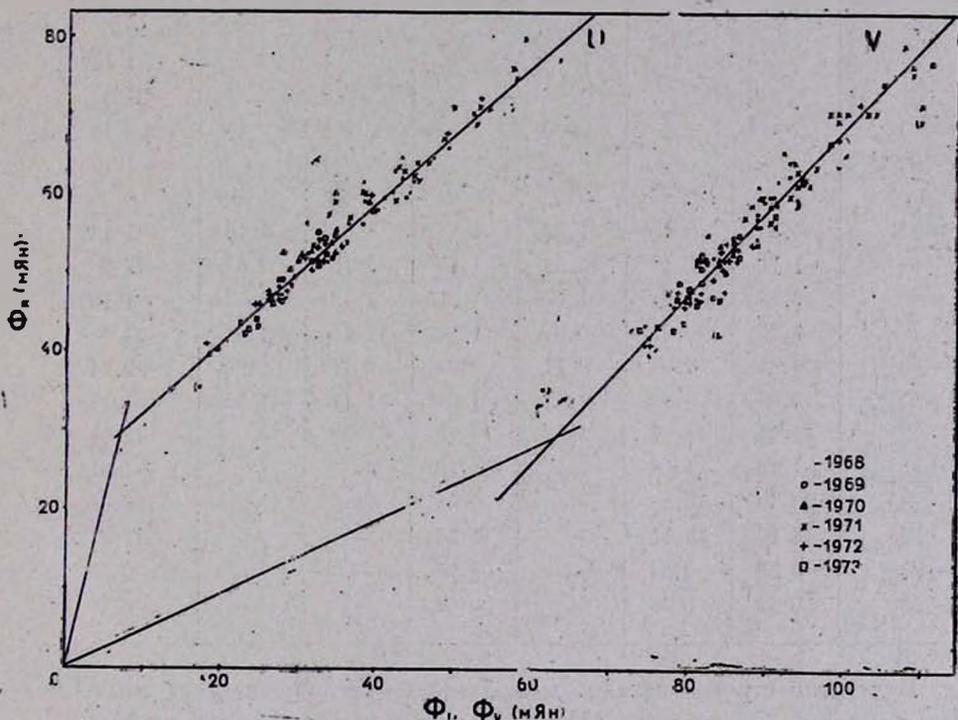


Рис. 2. Сопоставление наблюдаемых потоков для NGC 4151; точки пересечения прямых с лучами дают потоки галактической подложки.

В каждом случае способом наименьших квадратов были проведены две прямые в предположении, что все ошибки содержатся сначала в одном из сопоставляемых потоков, а затем в другом, и окончательно была взята средняя прямая. Все прямые нанесены на рис. 1 и 2, а коэффициенты a , b , c , d приведены в 3—6 строках табл. 2 (в первой ее строке — название объекта и размер использованной при наблюдениях диафрагмы, во второй — красное смещение). Для NGC 4151 помимо данных, нанесенных

на рис. 2, были учтены данные за 1973 г. и 1974 г., опущенные на рисунке, для того чтобы его не перегружать. Они также хорошо ложатся на среднюю прямую. Найденные по коэффициентам a и c с помощью формул (3) показатели цвета точечного источника $(B-V)_{набл}^{var}$ и $(U-B)_{набл}^{var}$ приведены в табл. 2 в строках 7 и 8.

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ

Объект	ЗС 371 (7."6)		ЗС 390.3 (12."2)		ЗС 120 (18")		NGC 4151 (27")
z	0.051		0.057		0.033		0.003
a	0.795		0.663		0.984		1.070
b	-0.85		-1.16		-1.54		-38.0
c	0.705		1.016		1.074		1.127
d	-0.42		-0.56		-0.84		-26.3
$(B-V)_{набл}^{var}$	+0.42		+0.22		+0.19		+0.10
$(U-B)_{набл}^{var}$	-0.60		-0.99		-1.05		-1.10
A_V	0 ^m .22	0 ^m .37	0 ^m .25	0 ^m .40	0 ^m .23	0 ^m .39	0 ^m .19
a'	0.847	0.892	1.040	1.082	1.055	1.108	1.133
b'	-1.11	-1.33	-1.58	-1.88	-2.18	-2.64	-47.5
c'	0.742	0.767	1.076	1.115	1.131	1.174	1.180
d'	-0.58	-0.72	-0.81	-1.00	-1.18	-1.35	-34.5
$(B-V)_{испр}^{var}$	+0.35	+0.30	+0.14	+0.09	+0.11	+0.06	+0.04
$(U-B)_{испр}^{var}$	-0.65	-0.69	-1.05	-1.09	-1.11	-1.15	-1.15
$V_{набл}^r$	15.61	15.57	—	15.79	—	—	12.01
$(B-V)_{набл}^r$	+1.10	+1.03	—	+1.27	—	—	+1.01
$(U-B)_{набл}^r$	+0.40	+0.38	—	+0.65	—	—	+0.66
$V_{z=0}^r$	15.29	15.11	—	15.28	—	—	11.81
$(B-V)_{z=0}^r$	+0.88	+0.84	—	+0.97	—	—	+0.94
$(U-B)_{z=0}^r$	+0.42	+0.33	—	+0.62	—	—	+0.62

В девятой строке указано межзвездное поглощение A_V . Значения A_V , принятые Сандейджем [3] и Холоневским [6], различны. Мы для удобства сравнения проводим разделение компонентов и для того, и для другого значения A_V . Это поможет нам также увидеть, как сказывается принятое значение A_V на результатах разделения компонентов. Строки 10—13 дают a' , b' , c' , d' . В 14 и 15 строках помещены показатели цвета точечного источника, исправленные за поглощение. Естественно, что для всех объектов, кроме ЗС 120, они те же, что и у Холоневского [6].

Обратимся теперь к решению системы (8). На рис. 3а нанесена кривая $\beta = \varphi(\alpha)$ для $z = 0$ согласно табл. 1. Около каждой точки указаны

типы галактик. средние цвета которых она представляет. На рис. 3а проведены также кривые $\beta = \varphi(z)$ для $z = 0.033$ (3С 120) и $z = 0.051$ (3С 371), на рис. 3б — для $z = 0.003$ (NGC 4151) и $z = 0.057$ (3С 390.3). Кривые 1—4 — графическое представление первого уравнения в (8) для

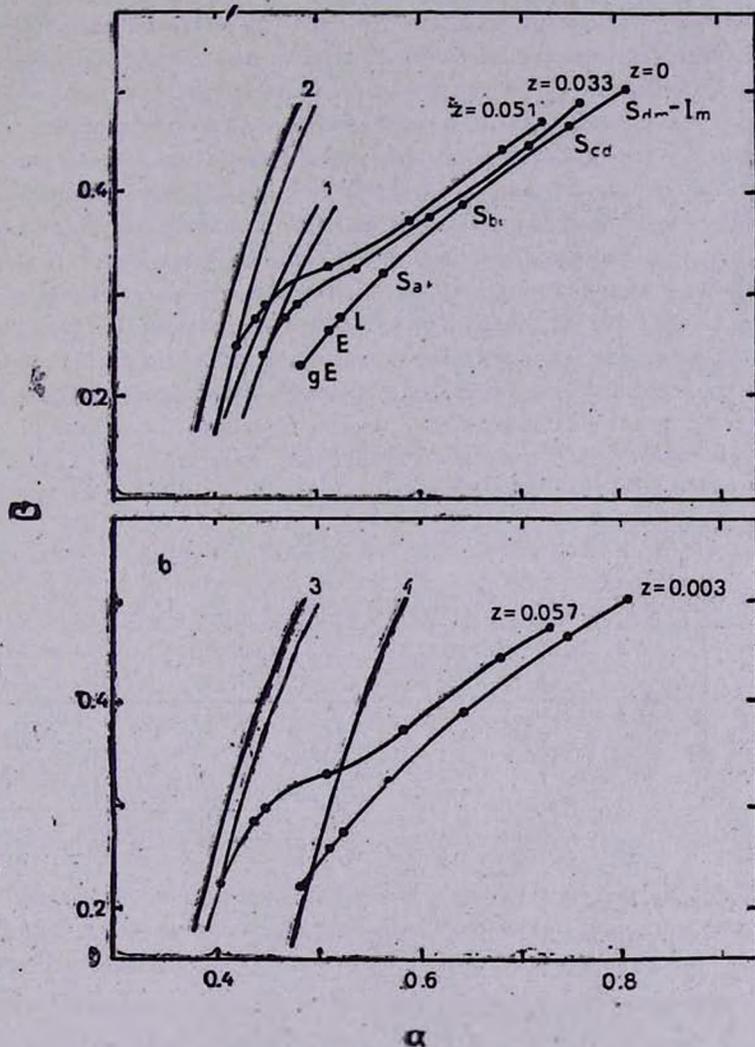


Рис. 3. Результаты решения системы (8): а) для 3С 371 (1) и 3С 120 (2); б) для 3С 390.3 (3) и NGC 4151 (4).

разных объектов и разных значений A_V . Кривые 1 относятся к 3С 371, 2 — к 3С 120, 3 — к 3С 390.3 и 4 — к NGC 4151. В первых трех случаях левая кривая соответствует меньшему значению A_V .

В четырех из семи рассмотренных случаев соответствующие кривые пересекаются, т. е. система (8) имеет решение. Для этих случаев в табл. 2 приведены значения величины V и цветов $B-V$ и $U-B$ подстилающей галактики — как наблюдаемые, так и приведенные к $z = 0$ и исправленные за поглощение.

Рассмотрим объекты по отдельности. ЗС 371 оказался единственным среди изученных объектов, для которого можно провести сравнение с результатами Сандейджа. Соответствующие данные собраны в табл. 3. Видно, что найденные цвета точечного компонента отличаются довольно сильно. По-видимому, предпочтение должно быть отдано цветам, выведенным в настоящей работе, поскольку они получаются непосредственно из наблюдательных данных без каких бы то ни было предположений. Далее, цвета галактической подложки, полученные нами, оказываются более голубыми, чем у гигантских эллиптических галактик. В этом случае лежащее в основе методов Сандейджа использование кривой нарастания блеска, верной только для гигантских эллиптических галактик, может привести к ошибкам. Из рис. 3 видно, что лишь при значении поглощения, существенно меньшем, чем принятое Сандейджем, можно получить для галактической подложки цвета, соответствующие гигантской эллиптической галактике. В общем представляется, что выполненное нами разделение является более обоснованным.

Таблица 3

СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ САНДЕЙДЖА ДЛЯ ЗС 371

	$(B-V)_{\text{набл}}^{\text{var}}$	$(U-B)_{\text{набл}}^{\text{var}}$	$V_{\text{набл}}^r$	$(B-V)_{z=0}^r$	$(U-B)_{z=0}^r$
Сандейдж [3]	+0.56	-0.45	15.89	+0.95*	+0.62*
Наст. работа	+0.42	-0.60	15.61	+0.88	+0.42

* Эти значения приняты Сандейджем за основу при разделении компонентов.

Для ЗС 390.3 решение имеется лишь при большем значении поглощения; при значении же, принятом Сандейджем, решения нет. Полученные нами цвета — это цвета гигантской эллиптической галактики. Отметим, что для обоих объектов исправленные интегральные величины ($V_{26} - A_V - K_V$) получаются (если брать апертурную поправку Сандейджа) близкими к тем, которые дает Сандейдж. У нас это либо 14^m09 , либо 13^m91 для ЗС 371 (у Сандейджа 13^m95) и 14^m54 для ЗС 390.3 (у Сандейджа — 14^m57).

Для галактической подложки у NGC 4151 полученные при разделении компонентов цвета также близки к цветам эллиптической галактики.

Хотя известно, что NGC 4151 представляет собой пересеченную спираль, полученный результат можно объяснить тем, что 27" диафрагма охватывает только область ядра и бара, которые, как известно, всегда оказываются очень красными. Возможно, однако, и другое истолкование (см. ниже).

В случае ЗС 120 решения нет, причем кривые 2 лежат существенно левее кривой $\beta = \varphi(\alpha)$ и пересечения можно добиться лишь для неоправданно большого значения A_V . Таким образом, рассматриваемая двухкомпонентная модель (нормальная галактика + переменный точечный источник с постоянным распределением энергии) в случае ЗС 120 оказывается неприменимой. Поскольку на рис. 1 наблюдаемые точки лежат на прямых достаточно хорошо и характеристики выделенного точечного источника не являются необычными (см. табл. 2), дело, видимо, во втором компоненте, т. е. подстилающая галактика не является нормальной. Указание на это можно найти, например, в работе Комберга и Лютого [16], которые считают, что в ЗС 120 есть дополнительный высокотемпературный источник теплового излучения, дающий горб в ультрафиолете.

4. *Заключительные замечания.* В заключение еще раз подчеркнем, что предложенная методика разделения компонентов в излучении переменных внегалактических источников работает только в том случае, когда подстилающая галактика является нормальной. Если есть основания считать, что цвета ее как-то искажены, то методику надо применять с осторожностью. Одной из причин искажения цветов может быть наличие сильного эмиссионного спектра, влияние которого (при умеренных красных смещениях) больше всего сказывается на блеске в полосе U , куда попадает бальмеровский континуум и высшие члены бальмеровской серии, так что цвет $U-B$ становится более голубым. Следовательно, на рис. 3 кривые $\beta = \varphi(\alpha)$ должны пройти существенно выше.

Среди рассмотренных нами объектов три (кроме ЗС 371) показывают эмиссионные спектры, и в тех случаях, когда решения нет, подъем кривой $\beta = \varphi(\alpha)$ может привести к тому, что соответствующие кривые пересекутся, а в тех случаях, когда пересечение есть, точка пересечения сместится в сторону галактик более поздних типов. Отметим, что для NGC 4151 горб в ультрафиолете, обусловленный бальмеровской эмиссией, был выделен Оуком и Сарджентом [17].

Оценка влияния эмиссии и усовершенствование предложенной методики разделения компонентов в случае объектов с сильным эмиссионным спектром будет служить предметом специального исследования. Применимость же ее к объектам без эмиссии, либо со слабой эмиссией сомнения не вызывает. Такими объектами являются лацертиды, представленные в данной статье объектом ЗС 371.

Автор выражает благодарность студенту С. М. Латушко, вычислившему по его просьбе коэффициенты a , b , c , d .

Ленинградский государственный
университет

ON THE SEPARATION OF COMPONENTS OF RADIATION OF VARIABLE EXTRAGALACTIC SOURCES

V. A. HAGEN-THORN

Within the framework of a two-component model of variable extragalactic sources (normal galaxy + variable point source with constant spectral energy distribution) a method is proposed of separation of the components of its radiation. The method is illustrated by several examples of its application.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. R. Sandage, *Pontif. Acad. Sci. Scripta Varia*, 33, 271, 1971.
2. М. К. Бабаджанян, В. А. Гаген-Торн, В. М. Лютый, *Астрофизика*, 8, 509, 1972.
3. A. R. Sandage, *Ap. J.*, 180, 687, 1973.
4. Th. F. Adams, *Ap. J.*, 188, 463, 1974.
5. B. E. Westerlund, G. Wlörick, R. Garnter, *Astron., Astrophys.*, 105, 284, 1982.
6. J. Choloniewski, *Acta Astronomica*, 31, 293, 1981.
7. В. А. Гаген-Торн, С. Г. Марченко, В. А. Яковлева, *Астрофизика*, 22, 5, 1985.
8. H. L. Johnson *Com. LPL*, 3, 73, 1965.
9. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 77, 1, 1972.
10. W. D. Pence, *Ap. J.*, 203, 39, 1976.
11. A. R. Sandage, *Ap. J.*, 178, 25, 1972.
12. S. L. O'Dell, J. J. Puschell, W. A. Stein, J. W. Warner, *Ap. J., Suppl. ser.*, 38, 267, 1978.
13. В. М. Лютый, *Астрон. ж.*, 48, 930, 1972.
14. В. М. Лютый, *Астрон. ж.*, 54, 1153, 1977.
15. Г. В. Зайцева, В. М. Лютый, *Астрон. ж.*, 46, 237, 1969.
16. Б. В. Комберг, В. М. Лютый, *Астрон. цирку.*, № 735, 1, 1972.
17. Дж. Б. Оук, У. Л. У. Сарджент, *Нестационарные явления в галактиках*, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1968, стр. 91.