

КОЛОРИНДЕКСЫ 155 ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ТУМАННОСТЕЙ*

М. А. ВАШАКИДЗЕ

Важность определения колор-индексов внегалактических туманностей с точки зрения современной астрофизики нами отмечалась в первом сообщении. С помощью колор-индексов внегалактических туманностей мы можем определить селективное поглощение во всей нашей Галактике, поскольку лучи их пронизывают всю толщу Галактики. До сих пор, в большинстве случаев, селективное поглощение в нашей Галактике определялось с помощью колор-индексов звезд. Поэтому, в лучшем случае, колор-экспессы получаются для расстояний до 3000 парсеков и результаты, далее, экстраполируются на всю толщу Галактики. Хотя по шаровым скоплениям звезд и по планетарным туманностям можно получить колор-экспессы на больших расстояниях, но они плохо характеризуют поглощение вблизи плоскости Галактики в виду того, что шаровые скопления находятся на высоких галактических широтах и полученные по ним колор-экспессы несколько ненадежны. Несмотря на сказанное, можно отметить, что колор-экспессы, полученные по шаровым скоплениям звезд и по внегалактическим туманностям, довольно хорошо совпадают между собой, как это указано М. С. Эйгенсоном¹. Но и для внегалактических туманностей указанный недостаток остается в силе. Вблизи галактической плоскости в полосе $b = \pm 15^\circ$, как известно, проходит пояс избегания внегалактических туманностей и вывод закона уменьшения колор-экспессы с увеличением галактической широты затруднен малочисленностью туманностей вблизи галактического экватора.

С целью получения уверенной картины изменения колор-экспессы, следует очень тщательно определить колор-индексы внегалактических туманностей вблизи галактической плоскости, чтобы результаты, относящиеся к туманностям низких галактических широт, имели большие веса, чем результаты, полученные по многочисленным туманностям, находящимся вблизи галактических полюсов. Что же касается так называемых галактических окон, т. е. тех мест в зоне избегания, где встречаются внегалактические туманности, то нужно думать, что в этих направлениях межзвездная среда сравнительно прозрачна и поэтому мало как селективное, так и общее поглощение. Интересно было бы определить колор-индексы этих внегалактических туманностей для характеристики данных направлений, или же определить там же колор-индексы звезд.

* Сообщение II. См. М. А. Вашакидзе, «Колор-индексы 140 внегалактических туманностей», Бюлл. Абаст. Обс. № 5, р. 1, 1940.

Данными, относящимися к внегалактическим туманностям, лучше характеризуется общее поглощение, выведенное Hubble'ом² по подсчетам туманностей.

Приводя в настоящей работе определенные нами колор-индексы 155-ти внегалактических туманностей, мы, вместе с тем, делаем попытку проиллюстрировать полученный материал, пользуясь при этом не только означенными колор-индексами, но и теми колор-индексами 140 внегалактических туманностей, которые опубликованы в предыдущем номере нашего Бюллетеня³. Нужно отметить, что и указанный материал не вполне достаточен для этой цели, но мы намерены определить колор-индексы всех или большинства внегалактических туманностей, находящихся в каталоге Н. Shapley and А. Ames⁴, после чего интерпретация будет более уверенной.

Таким образом, настоящая работа является продолжением упомянутой. Отличие ее от предыдущей работы заключается в том, что в ней колор-индексы были определены для туманностей, разбросанных по всему небу от $\delta = -20^\circ$ до $\delta = +90^\circ$, тогда как туманности, содержащиеся в предыдущей работе, находятся больше всего в созвездии Virgo.

С целью достижения более точных определений колор-индексов туманностей, мы решили воспользоваться в качестве шкалы сравнения, кроме Полярной Последовательности, также и трубочным фотометром.

Поправка за зенитное расстояние была учтена таким же путем, как и в предыдущей работе и поэтому здесь мы не будем на ней останавливаться.

На этот раз нами было снято с помощью анаберрационной камеры Schmidt'a 45 площадок, распределенных по плану, описанному в предыдущей работе. Попрежнему употреблялись пленки «Изопанхром» 400 HD, хотя в последнее время мы пользовались также и пленками «СЧС» 550 HD.

Мы не остановимся на изложении фотометрического метода, описанного в предыдущей работе, но поясним применение трубочного фотометра.

Применение трубочного фотометра оправдано тем, что внегалактические туманности являются поверхностными объектами и трубочный фотометр в этом смысле имеет преимущество перед Полярной Последовательностью.

Мы печатали трубочный фотометр на пленке, взятой из той же пачки пленок, которая служила для фотографирования внегалактических туманностей. Калибровка производилась в отдельности через фильтры BG3 и GG11, через которые снимались и туманности.

По данным измерения калиброванных пленок строились характеристические кривые—фотографическая $[E_{ph}, \log I]$ и визуальная $[E_{vis}, \log I]$. (E_{ph} и E_{vis} обозначают результаты измерения марок трубочного фотометра на микрофотометре). Пользуясь этими кривыми, мы получали для туманности, соответственно, $\log I_1$ и $\log I_2$, а по формуле $\Delta m = -2.5 \log \frac{I_1}{I_2}$ вычисляли разность в звездных величинах. Для того, чтобы перевести эту разность в колор-индексы, нужно придать ей поправку за нуль-пункт. Т. о., для колор-индекса получается окончательная формула:

$$C. I. = -2.5 \log \frac{I_1}{I_2} + a,$$

где постоянная a является поправкой за нуль-пункт.

Для получения значения постоянной мы пользовались звездами Полярной Последовательности. Последняя снималась нами внефокально для каждой ночи, поэтому мы смогли получить значение нуль-пункта для каждой площадки отдельно, причем мы обычно пользовались красными звездами Полярной Последовательности и брали от 5-ти до 8-ми звезд, а по ним вычисляли арифметическое среднее.

Таким образом, колор-индексы туманностей получены двумя способами—непосредственно по Полярной Последовательности и с помощью трубочного фотометра. В таблице I даются арифметические средние из этих двух рядов значений колор-индексов.

Таблица содержит значения колор-индексов для 155-ти внегалактических туманностей. Номера последних даны по каталогу NGC.

ТАБЛИЦА I TABLE

No. NGC	m_{ph}	m_{vis}	C. I.	Тип Type	No. NGC	m_{ph}	m_{vis}	C. I.	Тип Type
151	12.5	11.8	0.72	S	1637	11.6	10.7	0.88	Sc
205	10.8	9.9	0.90	Ep	1638	13.1	12.4	0.68	—
224	5 ±	3.9	1.06	Sb.	1659	12.9	12.2	0.66	S.
274	13.0	12.7	0.29	—	2268	12.2	11.4	0.84	—
275	13.0	12.3	0.66	—	2276	12.4	11.7	0.74	S.
337	12.2	11.6	0.62	I	2300	12.2	11.3	0.91	E.
470	12.4	11.6	0.80	Sc	2441	12.7	12.3	0.44	S.
474	12.6	11.7	0.86	E	2523	12.7	12.0	0.68	—
488	11.8	10.7	1.06	Sa	2551	13.1	12.4	0.68	—
520	12.4	11.8	0.62	*I.	2633	12.6	12.0	0.60	SBe
521	13.0	12.3	0.70	—	2646	12.8	12.2	0.65	—
533	13.0	12.1	0.92	—	2748	12.4	11.5	0.89	Sb
672	11.9	11.1	0.76	Sb	2964	11.9	11.2	0.67	Sc
681	12.9	12.2	0.68	S.	2968	12.8	12.0	0.78	I
701	12.7	12.2	0.50	S	2976	11.2	10.2	1.00	Sc
718	12.7	12.1	0.59	—	2985	11.8	10.9	0.93	Sb
741	13.0	12.3	0.74	—	3003	12.5	12.0	0.45	Sc
750	12.9	12.1	0.82	E	3021	12.7	12.1	0.57	Sc
955	13.1	12.5	0.60	—	3034	9.4	8.3	1.08	I.
991	12.7	12.4	0.25	S	3065	12.9	12.4	0.50	E.
1022	12.0	11.2	0.75	SBB	3067	12.8	12.2	0.60	S.
1035	12.8	12.5	0.32	S	3077	11.4	10.3	1.06	I
1048	12.5	11.9	0.58	S	3147	11.9	11.0	0.85	Sc
1052	11.6	10.5	1.13	E	3245	12.0	11.2	0.75	Sa
1055	12.0	11.5	0.52	S	3254	12.6	11.9	0.67	Sc
1068	10.0	9.2	0.80	Sb	3277	12.6	11.9	0.69	Sb
1084	11.2	10.5	0.66	Sc	3495	12.7	12.2	0.53	S.
1087	11.2	10.5	0.69	Sc	3521	10.3	9.3	1.01	Sc
1090	12.8	12.3	0.54	S	3605	13.1	12.4	0.66	—
1172	13.1	12.2	0.94	—	3607	11.4	10.3	1.12	Ep
1199	12.7	11.7	0.99	—	3608	12.5	11.6	0.94	E.
1288	13.0	12.0	1.00	—	3626	11.8	10.8	0.98	Sa
1339	12.8	12.2	0.60	E	3646	11.8	11.1	0.69	S.
1344	11.6	10.6	0.95	E	3659	12.9	12.4	0.49	S.
1351	12.8	11.8	1.00	E	4024	12.9	12.3	0.60	S.
1353	12.4	11.6	0.82	S	4136	12.1	11.6	0.48	S
1359	12.8	12.7	0.08	I	4150	12.6	11.9	0.74	Sa
1400	12.5	11.6	0.92	E	4158	12.9	12.3	0.63	—
1407	11.5	10.3	1.16	E	4220	12.4	11.5	0.90	Sc
1415	12.8	11.9	0.88	S.	4245	12.3	11.4	0.89	SBB
1417	12.9	12.2	0.68	S.	4251	11.6	10.9	0.74	Sa
1426	12.8	11.8	1.05	E	4258	10.2	9.1	1.05	Sb
1439	12.9	12.0	0.91	E	4274	11.7	10.7	1.00	Sa
1440	13.0	12.1	0.94	—	4278	11.6	10.5	1.08	E
1452	13.0	12.2	0.83	—	4283	12.8	12.0	0.75	E
1453	12.8	11.9	0.92	E	4291	12.5	11.7	0.77	E

ТАБЛИЦА I TABLE

No. NGC	m_{ph}	m_{vis}	C. I.	Тип Type	No. NGC	m_{ph}	m_{vis}	C. I.	Тип Type
4293	11.7	11.0	0.67	S	5457	9.0	7.7	1.28	Sc
4314	11.7	10.9	0.80	SBp	5473	12.8	11.9	0.90	SBc
4382	10.5	9.5	1.01	E	5485	12.9	12.0	0.86	Ep
4394	12.2	11.2	0.99	SBb	5585	12.0	11.4	0.64	Sc
4414	11.1	10.3	0.79	Sc	5631	12.5	11.7	0.84	Sa
4448	11.9	11.1	0.80	Sb	5676	11.9	11.3	0.64	Sc
4494	10.9	9.9	0.98	E	5678	12.1	11.2	0.88	Sc
4517	11.6	10.8	0.77	Sc	5687	12.7	11.8	0.92	S;
4559	10.7	10.0	0.70	Sc	5689	12.6	11.9	0.69	SBa
4565	10.7	9.6	1.05	Sb	5701	12.8	12.1	0.70	SBa
4589	12.1	11.0	1.05	—	5775	12.4	11.7	0.70	S
4632	12.1	11.3	0.77	Sc	5806	12.5	11.8	0.71	Sb
4689	12.0	11.2	0.80	S	5813	12.2	11.3	0.87	E
4701	12.8	12.1	0.70	E;	5820	12.8	12.2	0.64	E
4725	10.8	9.8	1.00	SBb	5866	11.5	10.2	1.26	Sa
4747	12.7	12.2	0.50	S	5878	12.9	12.3	0.61	S;
4782	12.9	12.5	0.43	S;	5879	12.1	11.4	0.73	Sb
4783	12.7	12.3	0.35	S;	5905	13.1	12.4	0.66	—
4856	11.4	10.4	1.00	E	5907	11.8	11.1	0.72	Sc
4866	12.1	11.2	0.90	Sa	5908	13.0	12.3	0.72	—
4902	11.6	11.1	0.50	S	6340	12.8	12.0	0.80	E
4941	12.4	11.7	0.70	S	7171	12.8	12.5	0.28	S
4951	12.7	12.1	0.55	I	7218	12.7	11.8	0.92	S
4958	11.6	10.7	0.88	Sa	7541	12.8	12.1	0.70	Sb
4981	12.2	11.6	0.55	S	7600	13.1	12.2	0.90	—
4984	11.9	11.2	0.70	SB	7606	11.9	11.1	0.78	Sb
4995	11.7	11.0	0.70	Sc	7679*	13.1	12.2	0.88	—
5194	10.1	9.5	0.61	Sc	7721	12.4	11.9	0.48	S
5195	11.1	10.2	0.93	I	7742	12.7	12.1	0.56	E;
5377	12.8	11.9	0.90	Sa	7743	12.8	12.0	0.80	—
5383	12.7	11.8	0.90	SBc	7782	13.1	12.6	0.52	—
5448	12.5	11.8	0.67	S					

Во втором столбце таблицы даны интегральные фотографические величины по Shapley и Ames, в третьем—визуальные величины, полученные на основе фотографических величин и наших значений колор-индексов. Таким образом, эти визуальные величины даются в той же системе интегральных величин, что и фотографические величины. В четвертом и пятом столбцах даются колор-индекс и тип туманностей, соответственно.

С целью определения точности получаемых нами колор-индексов мы вычислили среднюю квадратическую ошибку одного определения колор-индекса для туманностей пользуясь формулой Peters'a:

$$\sigma = \frac{\sum |\Delta|}{\sqrt{n(n-1)}} \text{ или } \sigma = \frac{\sum |\Delta|}{n-2}$$

из которой для средней квадратической ошибки вытекает формула

$$\mu = \pm 1.25 \frac{\sum |\Delta|}{n-2} \quad (1)$$

что, в свою очередь, по разделению на $\sqrt{2}$ дает выражение для средней квадратической ошибки одного наблюдения.

Ниже, в таблице II, приводятся два определения колор-индексов по снимкам в разные ночи, на разных или на тех же пластинках, и разности этих значений колор-индексов. Ясно, что эти разности в колор-индексах являются истинной ошибкой определения колор-индекса туманности, чем и оправдывается применение формулы Peters'a.

ТАБЛИЦА II TABLE

No. NGC	C. I. I	C. I. II	Δ	No. NGC	C. I. I	C. I. II	Δ
205	0.85	0.79	+0.06	2633	0.56	0.65	-0.09
224	1.10	1.03	+0.07	2646	0.68	0.57	+0.11
1400	0.79	0.95	-0.16	5485	0.83	0.94	-0.11
1407	1.20	1.06	+0.14	5678	0.78	1.01	-0.23
1415	0.86	0.81	+0.05	5687	0.83	1.02	-0.19
1426	0.86	0.94	-0.08	5866	1.27	1.23	+0.04
1439	1.00	0.89	+0.11	5879	0.85	0.90	-0.05
1440	1.02	0.88	+0.14	5905	0.75	0.62	+0.13
1452	0.85	0.79	+0.06	5907	0.92	0.77	+0.15
2551	0.54	0.69	-0.15	5908	0.61	0.59	+0.02
							+1.08 -1.06

Согласно этой таблице, средняя квадратическая ошибка одного определения колор-индекса получается равной ± 0.010 . Однако, нужно указать, что эта величина для разных типов туманностей различна, при этом можно сказать, что колор-индексы туманностей типа E определяются лучше, чем типа Sa, а типа Sa лучше, чем для типа Sb и т. д. Наконец, нужно указать, что в эту ошибку входят все остальные ошибки, в частности ошибки измерения на микрофотометре, ошибка определения по двум способам (по Полярной Последовательности и трубочным фотометром) и т. д.

Аналогично таблице II составлена и таблица III, в которой приводятся вычисления средней квадратической ошибки одного измерения на микрофотометре.

Несмотря на то, что эта ошибка, как сказано, уже входит в предыдущую ошибку, мы все-таки решили определить ее отдельно.

ТАБЛИЦА III TABLE

No. NGC	C. I. I	C. I. II	Δ	No. NGC	C. I. I	C. I. II	Δ
474	0.87	0.84	+0.03	1087	0.75	0.66	+0.09
488	1.01	1.05	-0.04	1407	1.12	1.14	-0.02
520	0.62	0.65	-0.03	1415	0.86	0.84	+0.02
521	0.73	0.69	+0.04	7743	0.80	0.82	-0.02
533	0.91	0.96	-0.05	7782	0.68	0.68	-0.00
							+0.18 -0.16

Для этой цели мы взяли 10 туманностей на одном негативе и измерили их на микрофотометре по два раза. Соответственно определили колор-индексы, которые даются во втором и третьем столбцах таблицы III. При вторичном измерении мы изменили накал электролампочки настолько, насколько это может случиться при обычных измерениях.

Как показали вычисления, средняя квадратическая ошибка одного измерения равна ± 0.03 .

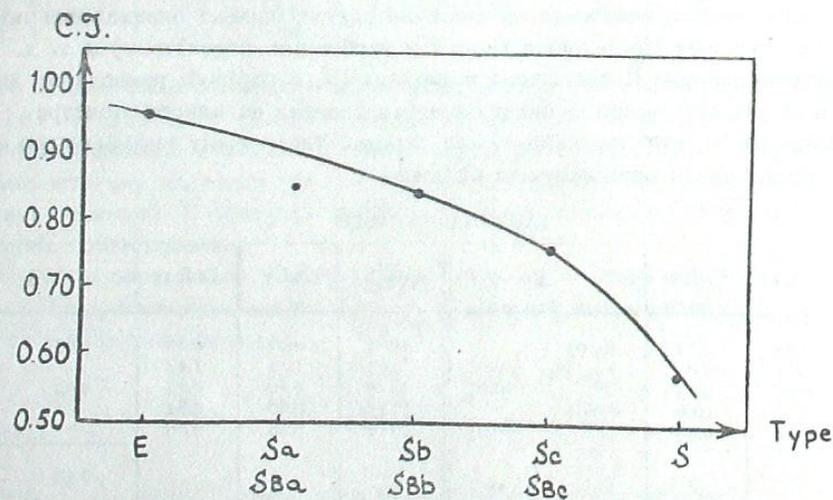
Как указывалось выше, на этот раз мы определяли колор-индексы также и с помощью трубочного фотометра, в связи с чем мы вычислили среднюю квадратическую разность одного определения колор-индекса туманности по Полярной Последовательности и трубочным фотометром. Для этой цели мы взяли 25 туманностей разных типов и вышеуказанным способом нашли ошибку одного определения колор-индекса. В этом случае последняя оказалась равной ± 0.05 .

Как в предыдущей работе, так и здесь мы произвели определение зависимости колор-индекса от типа туманности. Эта зависимость дается в таблице IV, где в первом столбце указан тип туманности, во втором и третьем — колор-индексы и число

ТАБЛИЦА IV TABLE

Тип Type	$\overline{C. I.}$	n	Примечания Notes	
E	0.95	24	Не включены E:	Without E
Sa, SBa	0.86	14		
Sb, SBb	0.84	22		
Sc, SBc	0.76	29	Без подкласса	Without subtype
S	0.58	29	Включены туманности, не имеющие классификации	Including typeless nebulae
I	0.72	39		

туманностей, соответственно. Для наглядности зависимость колор-индекса от типа туманности представлена на черт. 1.



Черт. 1 Fig.

Таблица IV еще раз подтверждает то обстоятельство, что колор-индексы для типа E больше, чем для Sa, а для Sa — больше, чем для Sb и т. д., т. е. — имеется такой ход колор-индекса: C. I. E > Sa > Sb > Sc > S. Для туманностей иррегулярного SBa SBb SBc

типа этот вопрос не ясен, поскольку они встречаются вообще очень редко. Несмотря на это, в таблицу IV включены туманности I, но, как указывается в примечании, к ним мы присоединили еще туманности, которые не имеют классификации, но преобладают. В большинстве случаев туманности I имеют большие колор-индексы. Повидимому, они близки к типам E или Sa. Иррегулярные туманности скорее можно отнести к более ранним типам, чем к поздним. Можно сделать и другое предположение, а именно: вместо принятых вообще двух ветвей после развития туманности типа E₇ (по Hubble'у: Sa, Sb, Sc и SBa, SBb, SBc), можно считать вероятным существование третьей ветви развития, к которой и относятся туманности иррегулярного типа.

Колор-индексы в таблице IV можно сопоставить с гипотезой J. Jeans'a о том, что начальной стадией туманности является стадия E, когда туманность находится в газовом состоянии с низкой температурой, а после превращения в спиральную туманность, температура постепенно повышается и в последней стадии туманности, т. е. в спиральном виде Sc, колор-индексы все уменьшаются и, повидимому, температура достигает максимума. Другими словами, можно сказать, что спиральная туманность в стадии S содержит звезды ранних спектральных классов O, B и A. Этому предположению приходит на помощь тот факт, что в спиральных туманностях поздних типов Sc наблюдается резкая разница в колор-индексе ядра и ветви, как впервые на это указали Seares и Carpenter.

На это же указывают и некоторые из новых работ. Этот факт еще говорит в пользу того, что ядро туманности, которое еще не распалось на звезды, имеет очень низкую температуру. Такого рода исследование интересно провести не только для туманностей Sc, но также и для E и для I.

Кроме вышеуказанного анализа, мы исследовали зависимость колор-индекса от интегральной величины туманности; эта зависимость приводится в таблице V, где в первом столбце даются интервалы фотографических величин, а в следующих столбцах — колор-индексы для соответствующих величин и типов туманностей E, S, I и для туманностей, не отнесенных к какому-либо типу.

ТАБЛИЦА V TABLE

Harv. Magn.	E	n	S	n	I и без типа I and typeless	n
—11.0	1.10	11	1.00	16	1.03	3
11.0—11.4	1.17	3	0.89	14	1.00	2
11.5—11.9	0.90	10	0.86	36	—	—
12.0—12.4	0.89	5	0.76	47	0.61	8
12.5—	0.81	33	0.67	70	0.66	37

Из таблицы V видно, что для ярких туманностей колор-индексы для всех типов больше, чем для слабых. Из нее же видно, что в зависимости от величин колор-индексы меняются как будто меньше для типа E, чем для S.

Это объясняется тем, что спиральные туманности обычно имеют большие угловые диаметры, а эллиптические туманности мало меняются в диаметрах с изменением величины. Так как определение колор-индекса производится, главным образом, по ядру (особенно при применении нашего микрофотометра), то, чем ярче туманность и чем больше выделяется ядро, тем большее значение получается для колор-индекса. А в спиральных туманностях ядро значительно краснее ветвей, как это показали

Seares, Carpenter и Seyfert³. В определении color-индексов слабых туманностей участвуют и спирали, почему и значения color-индексов получаются малые, осредненные, что усматривается из таблицы V. Аналогичные результаты получили Shapley и Ames, определившие color-индексы по Гарвардским фотографическим величинам туманностей и по визуальным величинам Holchek'a, но они отличаются от наших тем, что там, начиная от ярких туманностей, color-индексы все время падают до туманностей 12-ой величины, а потом опять возрастают. Возрастание color-индекса для слабых туманностей сомнительно тем более, что пространство между галактиками почти совсем прозрачно; поэтому, такой ход следует приписать плохому определению color-индексов.

Мы изучили зависимость color-индекса от диаметра туманностей — вопрос, близкий к предыдущему. Эта зависимость дается в таблице VI. За диаметры внегалактических туманностей мы брали большие полу-оси, значения которых даны в каталоге Shapley and Ames.

ТАБЛИЦА VI TABLE

d	log d	$\frac{E_s - E_t}{C. I.}$	n	$\frac{S_a, S_b, S_{Ba}, S_{Bb}}{C. I.}$	n	$\frac{S_c, S_{Bc}, S, S_t}{C. I.}$	n
от 0,3 до 1,0	-0,523 до 0,000	0,86	26	0,68	4	—	—
" 1,1 " 2,4	+0,041 " +0,380	0,91	23	0,72	24	0,68	40
" 2,5 " 4,0	+0,398 " +0,602	1,01	12	0,90	29	0,71	38
" 4,1 " 5,4	+0,613 " +0,732	1,07	1	1,00	3	0,68	14
" 5,5 " 7,0	+0,740 " +0,851	—	—	0,94	4	0,71	7
d > 7,1	log d > 0,851	—	—	1,02	9	0,81	5

Как видно из этой таблицы, color-индексы увеличиваются с увеличением диаметра туманностей. Это явление нужно объяснить аналогично вышесказанному о ярких туманностях. Можно сказать, что одно подтверждается другим. Опять-таки зависимость color-индекса от диаметров больше заметна у спиральных туманностей. Аналогичная таблица была получена Shapley и Ames и она обнаруживает такую же зависимость, как в нашем случае. Нужно отметить, что в таблице IV средний color-индекс для спиральных туманностей получился равным 0^m78 , но в таблице VI спиральные туманности с большим диаметром имеют средний color-индекс, равный 1^m00 и 1^m06 . Это еще раз доказывает, что у спиральных туманностей ядро очень красное, ибо, как мы указывали, при больших туманностях color-индекс определяется главным образом по ядрам туманностей.

По уже определенным color-индексам для внегалактических туманностей, мы попытались вывести изменение color-индекса по галактической широте. Ниже даются таблицы VII и VIII, в которых приводятся средние color-индексы, соответствующие разным широтам для северного и южного полушарий Галактики, соответственно.

ТАБЛИЦА VII TABLE

ТАБЛИЦА VIII TABLE

Центр Center	b	C. I.	n	Центр Center	b	C. I.	n
b = +30°	от +26° до +35°	0^m93	9	b = -20°	от -16° до -25°	0^m76	2
+40	" +36 " +45	0,91	10	-30	" -26 " -35	0,76	5
+50	" +46 " +55	0,85	21	-40	" -36 " -45	0,76	2
+60	" +56 " +65	0,85	54	-50	" -46 " -55	0,74	18
+70	" +66 " +75	0,86	107	-60	" -56 " -65	0,74	17
+80	" +76 " +85	0,84	33	-70	" -66 " -75	0,65	6

Прежде чем составить таблицу VII, в которую включены все туманности, имеющие северную галактическую широту, мы редуцировали значения color-индексов, придавая им поправки за величину по данным таблицы V, а также и поправки за тип. Последние придавались следующим порядком: сгруппировав предварительно все туманности по типам, помещая в одну группу Sa, SBa, Sb, SBb, в другую — E, в третью — Sc, SBc, S, S: и, наконец, в четвертую — I и туманности, не имеющие классификации, мы вывели средние color-индексы для этих групп, а этим значениям придали поправку за тип по кривой черт. 1, приведя все к типу E, и взяв потом по ним средние арифметические значения.

Для южного полушария мы пользовались поправками лишь за величину, ввиду малочисленности туманностей.

Если, пользуясь данными таблицы VII, сравнить зону b = +30° с зоной b = +80°, то получим, что C. I. = 0^m09 .

На основании этих данных мы можем вывести оптическую толщину селективного поглощения в направлении северного полюса Галактики, которая получается равной: $\tau = 0^m09$.

Это значение почти точно совпадает со значением, полученным М. С. Эйгенсоном⁶.

По южному полушарию (таблица VIII, куда также включены туманности всех типов) сравнение b = -30° и b = -70° дает для оптической толщины в направлении южного полюса Галактики $\tau \approx 0^m11$.

И это последнее значение довольно хорошо совпадает с данными Stebbins'a, Vyssotsky'-го и Williams'a⁷, которые по шаровым скоплениям получили

$$\tau \approx +0^m09 \pm 0^m01$$

Для южного полушария оптическая толщина в этом случае вообще получается больше, чем для северного полушария.

Когда мы будем располагать более полным материалом, мы попытаемся вычислить оптическую толщину по данным нескольких широт.

Color-индексы некоторых внегалактических туманностей, опубликованные в данной статье, будут в будущем уточнены путем еще одного определения. Исправленные color-индексы для этих туманностей будут даны в каталоге color-индексов внегалактических туманностей, который мы предполагаем выпустить.

В наблюдениях мне ассистировал М. И. Зарандиа, в вычислениях оказала помощь Эвелина Долидзе, за что приношу им благодарность.

Июль, 1941.

აბასთუმანის ასტროლოგიის ინსტიტუტი, ბოქლო, № 6.

АНТЕПАТУРА: LITERATURE:

1. Poulk. Obs. Circ. № 26—27, p. 24, 1939.
2. E. P. Hubble, The Realm of the Nebulae, p. 64, 1937.
3. Бюлл. Абаст. Обс. № 5, p. 1, 1940.
4. Н. А. 88, No. 2, 1932.
5. Aph. J. 91, p. 528, 1940.
6. Op. cit.
7. Mt. Wils. Comm. No. 111, 1933; Publ. Mc. Corm. Obs. V, 1933.

COLOR-INDICES OF 155 EXTRAGALACTIC NEBULAE*

M. A. VASHAKIDSE

(Summary)

The determination of color-indices of extragalactic nebulae is a very important problem of astrophysics. Using the color-indices of extragalactic nebulae we are able to define the selective absorption for the whole space of our Galaxy as the nebular rays penetrate through the whole Galaxy. Until now the selective absorption within our Galaxy has been determined, mostly, by means of color-indices of the stars. Therefore the color-excesses have been derived at best for distances of about 3000 parsecs and the results, then, extrapolated on the whole thickness of the Galaxy. Though we can derive color-excesses at greater distances by using the globular clusters of the stars and the planetary nebulae,—they are not characteristic enough for the absorption in the vicinity of the galactic plane, because these globular clusters are to be found in high galactic latitudes and their color-excesses are, to a certain extent, unreliable. In spite of that, it should be noted that the color-excesses obtained by means of the globular clusters of the stars and by extragalactic nebulae coincide almost fully, as it has been stated by M. S. Eigenson in his work¹. But the above mentioned defect holds on for the extragalactic nebulae. As it is known, the zone of avoidance of extragalactic nebulae lies near the galactic plane ($b = \pm 15^\circ$), and owing to their scarcity in the vicinity of the galactic equator it is rather difficult to deduce the law of diminution of color-excesses with the extension of galactic latitude. In order to get a reliable picture of variation of color-excesses the color-indices of extragalactic nebulae near the galactic plane should be determined with the utmost care. Such determination secures more accurate data on the nebulae of low galactic latitudes than those derived from numerous nebulae lying near the galactic poles. As to the so-called «galactic windows», i. e. such places in the zone of avoidance, where extragalactic nebulae can be found, we have to assume that there the interstellar medium is comparatively transparent, and, therefore, both selective and general absorption are small.

To characterize these regions it would be of interest to determine the color-indices of these extragalactic nebulae, or of the stars.

General absorption derived by E. P. Hubble² on counting the nebulae, is better characterized by the data on extragalactic nebulae.

* Communication II. See: M. A. Vashakidse, «Color-indices of 140 extragalactic nebulae», Bull. Abast. Obs. No. 5, p. 11, 1940.

While offering in this work the color-indices of 155 extragalactic nebulae we, at the same time, make an attempt to discuss the data obtained by us. For this purpose we have also used the color-indices of 140 extragalactic nebulae, given in the preceding issue of our Bulletin³. It should be noted that these data are not sufficient enough for this purpose, but we intend to determine the color-indices of all extragalactic nebulae, (or the majority of them), given in the Catalogue by Shapley and Ames⁴; after that the interpretation will be more reliable.

Thus, the present work is the continuation of the preceding one. The difference between them lies in the color-indices having been determined in the present work for nebulae scattered all over the sky, from $\delta = -20^\circ$ to $\delta = +90^\circ$, while the nebulae, mentioned in the preceding work, are, for the most part, in the constellation of Virgo.

In order to obtain more precise determinations of the nebular color-indices, we decided to apply, in addition to the polar sequence, the tube photometer, as a scale of comparison.

The correction for the zenith distance was reckoned in the same way as it had been done in the preceding work, therefore, we shall not dwell upon it now.

We photographed by means of the Schmidt Coma-free camera 45 areas distributed according to the plan described in the preceding work. The isopanchromatic film—400 HD—was used again, though now we have also used the film «ЧЧ» 550 HD.

We shall not describe the photometric method now, as it had been done in the preceding work; but we shall elucidate the application of the tube photometer.

We printed the tube photometer on the film taken from the same packet which had served for photographing the extragalactic nebulae. The calibration has been accomplished separately through the light-filters BG₃ and GG11 (Schott) which have been used for photographing the nebulae as well.

The characteristic curves, based on the data of measurement of the calibrated films, have been drawn: a photographic curve ($E_{ph}, \log I$) and a visual one ($E_{vis}, \log I$). Using these curves, we have obtained for the nebula: $\log I_1$ and $\log I_2$, respectively; and then—calculated the difference of stellar magnitudes: $\Delta m = -2.5 \log \frac{I_1}{I_2}$

In order to transfer this difference into color-indices a correction for the «zero-point» should be added; thus the final formula for the color-index is:

$$C. I. = -2.5 \log \frac{I_1}{I_2} + a$$

In order to establish the value of the constant, we have used the stars of the polar sequence. The polar sequence has been photographed extrafocally for every night, therefore, we found the value of the zero-point for every area separately. We have generally used 5 or 8 red stars of polar sequence and from them derived the arithmetical mean.

Thus, the color-indices of nebulae were obtained by two methods: directly from the polar sequence and by means of the tube photometer. The arithmetical means from these two series of values of color-indices are given in Table I.

This Table contains the values of color-indices of 155 extragalactic nebulae. Their numbers are given after the Catalogue NGC. In the second column are given the integral

photographic magnitudes after Shapley and Ames⁴. The visual magnitudes obtained on the basis of our determinations of color-indices are given in the third column. Thus, these visual magnitudes are given in the same system of integral magnitudes, as the photographic ones. The color-index and the type of nebulae are given in the fourth and fifth columns, respectively.

Having in view the determination of the precision of color-indices obtained by us we calculated the mean quadratic error of one determination of the color-index for the nebulae using Peters formula (1).

Table II gives two determinations of color-indices obtained according to the images taken in different nights on various or on the same films and the difference of values of these color-indices. These differences represent the true error of the determination of color-indices of nebulae.

According to this Table the mean quadratic error of one determination of the color-index appears to be equal to $\pm 0^m10$. However, it should be noted that this magnitude varies for different types of nebulae; it may be said that the color-indices for the nebulae of E type are determined better than for Sa type; and for Sa type-better than for Sb type, etc.

It should also be mentioned that this error contains all other errors, such as the error of measurement by the microphotometer, the error of determinations made by two methods (by polar sequence and by tube photometer) etc.

In Table III the calculations of mean quadratic error of one measurement by microphotometer are given.

In spite of the fact that, as we have said, this error is included into the preceding one, we decided to determine it independently.

For this purpose we have measured 10 nebulae (each nebula twice), developed on the same negative, and have determined the color-indices given in the second and third columns of Table III. For the second measurement we altered the incandescence of the electric lamp so, as it may occur in the conditions of routine measurements.

According to our calculations, the mean quadratic error of one measurement is $\pm 0^m03$.

As it had been previously stated, in this case we determined color-indices by the tube photometer as well, and calculated the mean quadratic difference of one measurement of a color-index of nebula both from the polar sequence and by the tube photometer. For this purpose we used 25 nebulae of different types and by that method found the error of one determination of the color-index. In this case the latter equalled $\pm 0^m05$.

Here, as well as in the preceding work, we investigated the dependence of color-index on the type of nebula. This dependence is shown in Table IV where, in its first column, the types of nebulae are given, and in the second and third the color-indices and the number of nebulae, respectively. The dependence of the color-index on the type of nebula is illustrated in Fig. 1.

Table IV once more confirms the fact that the color-indices for the type E are greater than for Sa and for Sa—greater than for Sb and so on.

As regards the nebulae of irregular type, this question is not elucidated on account of their very rare occurrence. In spite of that Table IV contains the nebulae I, but, as it is stated in the note, it also contains the nebulae which are not included into the classification, but are predominating. The nebulae I have, for the most part, great color-

indices. Apparently, they approach the types E or Sa. The irregular nebulae can be referred to the earlier types rather than to the later ones. Another assumption can also be made, viz: instead of generally accepted two arms after the development of the nebula of the type E (after E. P. Hubble: Sa, Sb, Sc and SBa, SBB, SBC), it is possible to assume the existence of a third arm of development, to which the nebulae of the irregular type can be referred.

The color-indices in Table IV may be compared with the hypothesis of Jeans that the original stage of a nebula is the stage E, when it is in gaseous condition with a low temperature, and that after its conversion into the spiral nebula, the temperature is gradually raised, and at the last stage of nebula, i. e. in the spiral form Sc, the color-indices are gradually being reduced, while the temperature, apparently, reaches its maximum. In other words it may be said that a spiral nebula, at the stage Sc, contains the stars of earlier spectral classes O, B and A. It is also confirmed by the fact that in spiral nebulae of later types Sc a sharp distinction between the color-index of nucleus and that of the arm is observed, as it had been first pointed out by Seares and Carpenter, as well as by some other recent works⁵. This fact also suggests that the temperature of the nebular nucleus not yet disintegrated into stars is very low. It would be interesting to carry out such investigation not only for the nebula Sc but for E and I as well.

Apart from the above analysis we have also studied the dependence of the color-index upon the integral magnitude of nebula. This dependence is shown in Table V, where in the first column the intervals of photographic magnitudes are given, and in the other—the color-indices for the corresponding magnitudes and types of nebulae E, S, I and typeless nebulae.

From Table V it is evident that the color-indices of bright nebulae for all types are greater than of faint nebulae. It seems also evident that the color-indices if they depend upon the magnitudes vary for the type E less than for S.

This phenomenon can be explained by the fact that angular diameters of the spiral nebulae are, usually, great, and the diameters of elliptical nebulae change little with the variation of magnitudes. As the determination of the color-index is made, chiefly, from the nucleus (especially, when applying our microphotometer),—the brighter is the nebula and the more distinct the nucleus, the greater value is obtained for the color-index. The nucleus in spiral nebulae is much redder than the arms, as it was suggested by Seares, Carpenter and Seyfert⁵. In determinations of color-indices of faint nebulae spirals are also taken into consideration; therefore, as Table V shows, the values of such color-indices are smaller.

Shapley and Ames obtained similar results; they determined color-indices from Harvard photographic magnitudes of nebulae and from visual magnitudes by Holchek, but they differ from ours: their color-indices, beginning from bright nebulae always fall to the nebulae of the twelfth magnitude and then increase again. The increase of color-indices for faint nebulae is doubtful, so much the more that the space between galaxies is almost quite transparent; therefore such results should be attributed to unsatisfactory determination of color-indices.

We have studied the dependence of color-indices upon diameters of nebulae,—the question closely connected with the preceding one. This dependence is shown in Table VI. For diameters of extragalactic nebulae we have taken the great semi-axes, the values of which are given in the Catalogue of Shapley and Ames.

The intervals of diameters and their logarithms are given in the first and second columns of the Table. In other columns the mean color-indices are given for the classes E₀—E₇, Sa, Sb, SBa, SBb and for Sc, SBc, and S. As it is evident from this Table, the color-indices increase with the increase of the nebular diameter. This phenomenon should be explained in the same way, as it was done when speaking of bright nebulae. It may be said that both statements confirm one another. Again, the dependence of color-indices on diameters is more evident in spiral nebulae. The similar table was obtained by Shapley and Ames; it shows the same dependence as in our case. It should be noted that in Table IV the mean color-index for spiral nebulae equals 0^m78 but in Table VI the spiral nebulae with long diameters have a mean color-index 1^m00 and 1^m06. This proves once more that the nucleus of spiral nebulae is red.

From the determined color-indices of extragalactic nebulae, we have attempted to derive the variation of color-excess along the galactic latitudes.

The mean color-indices corresponding to different latitudes for the Northern and Southern hemispheres of the Galaxy are given in Tables VII and VIII. Before constructing the Table VII which includes all the nebulae with the northern galactic latitude, we have reduced the values of color-indices, correcting them for the magnitude according to the data of the Table V, and also for the type. The latter corrections were made in the following way: at first, we grouped all nebulae according to the type, placing into the first group: Sa, SBa, Sb, SBb; into the second—E; into the third—Sc, SBc, S, S; and into the fourth—I and nebulae without classification; then we derived the mean color-indices for these groups. These values were corrected for the type according to the curve in Fig. 1. Thus, we reduced all values to the type E and obtained mean arithmetic values.

For the Southern hemisphere we have used corrections for the magnitude only, owing to the small number of nebulae.

If we compare the zone $b = +30^\circ$ with the zone $b = +80^\circ$, using the data of the Table VII, we shall obtain:

$$C. E. = 0^m 09$$

On the basis of these data we are enabled to derive the optical thickness of selective absorption in the direction of the Northern Pole of the Galaxy, which is equal to

$$\tau = 0^m 09$$

This value coincides, almost exactly, with the value obtained by M. S. Eigenson.

The comparison of $b = -30^\circ$ and $b = -70^\circ$, derived for the Southern hemisphere (Table VIII) gives for the optical thickness of the Southern Pole of the Galaxy:

$$\tau \approx +0^m 11$$

In this case the optical thickness for the Southern hemisphere is greater than for the Northern hemisphere.

Later on when we have more material at our disposal, we shall try to compute optical thickness on the ground of data at several latitudes.

In future we shall make another determination of the color-indices of some extragalactic nebulae, given in the present work, with the purpose of greater accuracy. The color-indices corrected for these nebulae will be listed in the Catalogue of the color-indices of extragalactic nebulae, which is now in preparation.

July, 1941.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВЕЗД ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ КЛАССАМ В ТЕМНЫХ И СВЕТЛЫХ УЧАСТКАХ МЛЕЧНОГО ПУТИ

М. А. ВАШАКИДЗЕ

Астрономы с давних пор пытаются объяснить неоднородности Млечного Пути, выражающиеся в наличии светлых и темных мест в нем.

Раньше считали, что все эти неоднородности вызываются тем, что в нашей Галактике пока еще не установилось стационарное и непрерывное распределение звезд. Это могло бы говорить в пользу того, что наша Галактика представляет спиральную туманность, сходную с внегалактическими. В последнее же время астрофизики, отказываясь от спиральной структуры Галактики, склоняются приписать эту клочковатость только или больше всего лишь поглощающей материи.

Несомненно, что большая часть неоднородности вызвана поглощающей материей, но приписать ее целиком последнему фактору было бы тоже неправильно, так как это не находилось бы в согласии с весьма вероятной спиральной структурой нашей Галактики.

Ясно, что, в случае спиральности нашей Галактики, звезд ранних спектральных классов в светлых местах должно быть больше, аналогично тому, как это обнаружил Hubble¹ для внегалактических туманностей типа Sc. Но, с другой стороны, если Галактика не является спиральной туманностью и неоднородности в ней вызваны поглощающей материей, то и в этом случае мы должны наблюдать звезды ранних спектральных классов в светлых местах больше, чем в темных, благодаря поглощению темной материей. Весьма интересно проверить и количественно оценить это явление для разных областей Галактики.

В связи с этим мы поставили перед собою задачу изучить распределение звезд ранних спектральных классов в темных и светлых местах нашей Галактики, используя с этой целью каталоги Bergedorfer Spektral-Durchmusterung (BSD) т. т. I, II, Henry Draper Catalogue (HD) и, частично, Henry Draper Extension (HDE).

Такого рода работами много занимались также шведские астрономы на обсерватории Uppsala, например, Wallenquist², Vanäs³ и др. Шведские астрономы пользовались в большинстве случаев собственными спектральными классификациями звезд и многосторонне исследовали темные и светлые области в созвездиях Cygnus и Serpens.

Наше исследование надо признать сравнительно менее точным, поскольку мы не пользовались изохродами поглощающей материи северной части Млечного Пути, данными Раннекоек'ом⁴. Vanäs пользовался для разделения исследуемой пло-