

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ
СИСТЕМ И СТАНДАРТОВ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН
И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦВЕТА*

А. С. ШАРОВ

Введение. Последний большой обзор шкал и каталогов звездных величин был составлен П. П. Паренаго в 1948 г. [1]. То время характеризовалось широким применением фотографической фотометрии. Основой всех фотометрических работ того времени являлась фотометрическая система Северного полярного ряда (*NPS*), закрепление роли которой нашло свое выражение в решениях Международного астрономического съезда в Риме в 1922 г. [2]. До пятидесятых годов фотоэлектрическая фотометрия использовалась сравнительно мало, в особенности для работ каталогного характера. Из крупных каталогов, сохранивших свое большое значение до настоящего времени, следует в первую очередь назвать лишь каталоги Стеббинса, Хаффера и Уитфорда [3], В. Б. Никонова [4] и шестицветную фотометрию Стеббинса и Уитфорда [5]. Появление обширных каталогов показателей цвета предшествовало появлению каталогов звездных величин, которые определяются с большими трудностями.

Огромным преимуществом фотоэлектрической фотометрии является ее исключительная точность, реализуемая при тщательном учете атмосферной прозрачности. В современных точных каталогах звездных величин и показателей цвета средняя квадратическая ошибка в системе *U, B, V* составляет около $\pm 0''.01$. В меньшей степени возросла точность фотографической фотометрии, однако при измерении нескольких пластинок с хорошим фотоэлектрическим стандартом на ирисовом фотометре ее точность может приближаться к фотоэлектрической.

Широкое развитие электрофотометрии сопровождалось применением разнообразных светофильтров. В связи с этим особенно актуальной стала проблема стандартизации фотоэлектрических систем—физически обоснованный выбор некоторых определенных стандартных систем и проведение

* В настоящей статье излагается содержание доклада, представленного объединенному совещанию фотометрических рабочих групп комиссий по звездной астрономии и переменным звездам Астрономического совета АН СССР (июнь 1961 г., Крымская обсерватория). Ее цель—рассмотреть основные вопросы, связанные с фотометрическими системами и их редукциями, и дать некоторые рекомендации к дальнейшим фотометрическим работам в нашей стране.

измерений в инструментальных системах, как можно меньше отличающихся от стандартных. Оказалось, что пренебрежение этими требованиями весьма затрудняет сопоставление ценных рядов наблюдений, выполненных на разных инструментах, ограничивая тем самым возможности объединения большого материала, необходимого, например, для звездно-astrономических исследований. Развитие точной фотометрии заставило по-новому взглянуть на всю проблему фотометрических систем и их редукций, выявило недостатки Северного полярного ряда как стандарта и привело к созданию новых, более обоснованных фотометрических систем. Звездная фотометрия вступила на новый этап своего развития.

Редукция фотометрических систем. Рассмотрим вопрос о редукциях различных фотометрических систем. Назовем идеальной фотометрической систему, удовлетворяющую следующим требованиям:

1. Нульпункт системы строго фиксирован;
2. Все измерения произведены в строго определенной области спектра;
3. Шаг шкалы звездных величин и показателей цвета составляет точно 0.4 в логарифмической шкале (правило Погсона).

Любая система, осуществляемая на практике, удовлетворяет этим требованиям лишь частично. Однако, среди них можно выделить системы, наилучшим образом приближающиеся к идеальной. Такие общепринятые системы можно назвать стандартными. Примером стандартных систем являются международные фотографическая и фотовизуальная системы, закрепленные в измерениях звезд Северного полярного ряда.

При сопоставлении звездных величин в двух фотометрических системах, одна из которых может быть стандартной, обычно обнаруживаются систематические различия. В простейшем случае связь двух систем выражается формулой, служащей для приведения величин системы 2 в систему 1:

$$m_1 = a + b m_2 + c C \quad (1)$$

Здесь a —означает сдвиг нульпунктов шкал, b —различие шага шкал (при совпадении шага $b=1$) и c —так называемое цветовое уравнение. Член C указывает цветовую характеристику звезды, выраженную обычно в виде показателя цвета.

Для показателей цвета аналогичной простейшей формулой является выражение:

$$C_1 = a + b C_2 \quad (2)$$

Однако в действительности связь двух систем часто оказывается значительно сложнее.

Формулы (1) и (2) устанавливают взаимооднозначную связь между измерениями в одной и другой системах. Каждому значению m_2 и C_2 (1) или C_1 (2) ставится в соответствие только одно значение m_1 или C_1 , причем совпадающее с тем, которое можно было бы получить, произведя наблюдения непосредственно в системе 1.

Когда системы близки друг к другу в спектральном отношении, уравнение цвета близко к пулю. При разнице спектральных областей, особенно в коротковолновой части спектра, характер зависимости двух систем значительно усложняется.

Рассмотрим сначала взаимную редукцию двух систем показателей цвета, одна из которых более чем другая, захватывает область бальмеровского скачка в спектрах ряда звезд. Как известно (см. напр. [6]), связь двух таких систем в общем виде представляется двухцветной диаграммой (рис. 1), по оси которой отложены показатели цвета обозначаемые нами как $u-b$ (ультрафиолетовый—синий) и $b-v$ (синий—желтый). Бальмеровский скачок оказывает большое влияние на первый показатель цвета. Наши обозначения показателей цвета условны и мы не обязательно отождествляем их с показателями цвета в рассматриваемой далее системе U, B, V . По линии AB лежат звезды главной последовательности без поглощения света. Её характерный изгиб отражает депрессию ультрафиолетового излучения в области бальмеровского скачка. Линия CD называется линией нарастающего поглощения. Вдоль нее располагаются звезды при наличии дифференциального межзвездного поглощения, вызывающего изменение распределения энергии в их спектрах. Для каждого спектрального класса линии нарастающего поглощения свои, практически параллельные друг другу. На конец, линия EF указывает положение нормальных желтых гигантов. Рис. 1 показывает, что связь двух систем показателей цвета в общем виде является не прямолинейной и многозначной. Особенности, указанные на рис. 1 проявляются при редукциях всех систем, в разной мере захватывающих область бальмеровского скачка. Они становятся более четкими, когда спектральные области u и v значительно различаются между собой. При сближении этих областей изгиб линии звезд главной последовательности уменьшается и все линии сливаются в одну. Следует, однако, заметить, что рассмотренные сложности возникают в редукциях даже при сравнительно малых отличиях областей u и v . На рис. 2 показана связь системы показателей цвета $B-V$ Джонсона и Моргана и $[V-G]$ шестицветной фотометрии Стеббинса и Уитфорда [6]. В этом случае различие коротковолновых границ B и $[V]$ составляет всего лишь около 200 Å. Таким образом, чтобы избежать многозначности редукции, следует измерять показатели цвета в областях спектра, свободных от влияния бальмеровского скачка, если, конечно, наблюдение в области скачка не требуется для специальных научных задач.

Мы рассмотрели лишь влияние бальмеровского скачка; другие особенности распределения энергии в спектрах также вносят свои трудности в редукцию показателей цвета, создавая нелинейность и многозначность. Однако, многозначность связи показателей цвета, полученных в существенно разных участках спектра, играет в звездной астрономии и другую положительную роль, способствуя колориметрическому выделению звезд разных типов.

Обратимся к звездным величинам. Одна из трудностей редукций заключается в следующем. Предположим, что используемый стандарт со-

держит звезды, цвет которых в среднем меняется со звездной величиной, а наблюдения проводятся в системе, отличной в цветовом отношении от стандартной. При сопоставлении таких двух систем может сложиться представление о том, что одна из них обладает значительной ошибкой шага шкалы. На самом деле причиной может быть большое цветовое уравнение, которое из-за цветовых особенностей стандарта невозможно отделить от ошибки шкалы. При этом неизбежны систематические ошибки, если редуцируемые звезды отличаются по цвету от звезд той же величины, содержащихся в стандарте. Примером такого стандарта является Северный полярный ряд.

Рассмотрим влияние нелинейности и многозначности связи показателей цвета на редукции звездных величин, одни из которых измерены в области бальмеровского скачка. Будем изучать связь величин u и b нормальных звезд главной последовательности, считая для простоты, что ошибки нульпункта и шкалы отсутствуют. Она может быть получена как разность показателей цвета $u-b$ и $b-v$:

$$(u-b) - (b-v) = f(b-v) \quad (3)$$

Тогда

$$u = v + f(b-v) \quad (4)$$

Функция f , которую можно рассматривать в качестве цветового члена, будет зависеть от положения звезды на линии главной последовательности, т. е. например, от показателя цвета $(b-v)$, в общем случае при отсутствии линейной связи между показателями цвета функцию f нельзя представить в обычном виде как $f=c(b-v)$. Тогда на графике, где соединены величины u и v , редукционные прямые для звезд разного цвета расположатся при равных интервалах в показателе цвета $b-v$ на разных расстояниях друг от друга, и цветовой член необходимо будет представлять более сложным выражением. Однако и этим выражением нельзя будет представить вместе и звезды главной последовательности без поглощения и звезды линии нарастающего поглощения. Действительно, звезды главной последовательности и звезды линии нарастающего поглощения с одинаковым значением $b-v$ попадут на разные редукционные прямые. Очевидно, что эти трудности отпадут, если сравниваемые

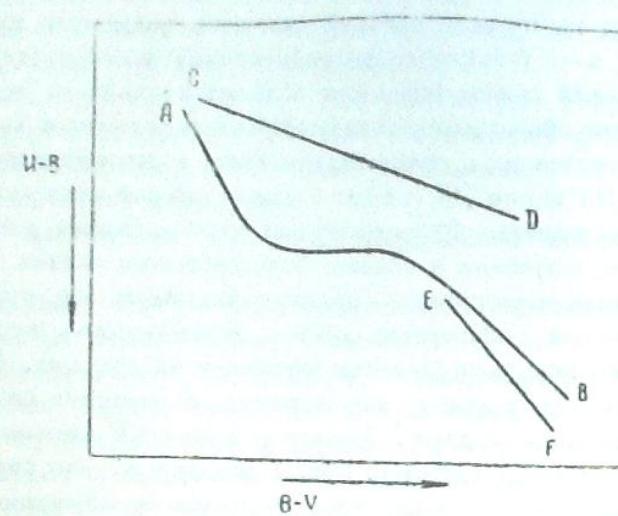


Рис. 1

системы близки и все линии на двухцветной диаграмме сойдутся в одну прямую.

Международная фотографическая и фотовизуальная системы. До последнего времени в звездной фотометрии обычно использовалась международная фотографическая и фотовизуальная системы,

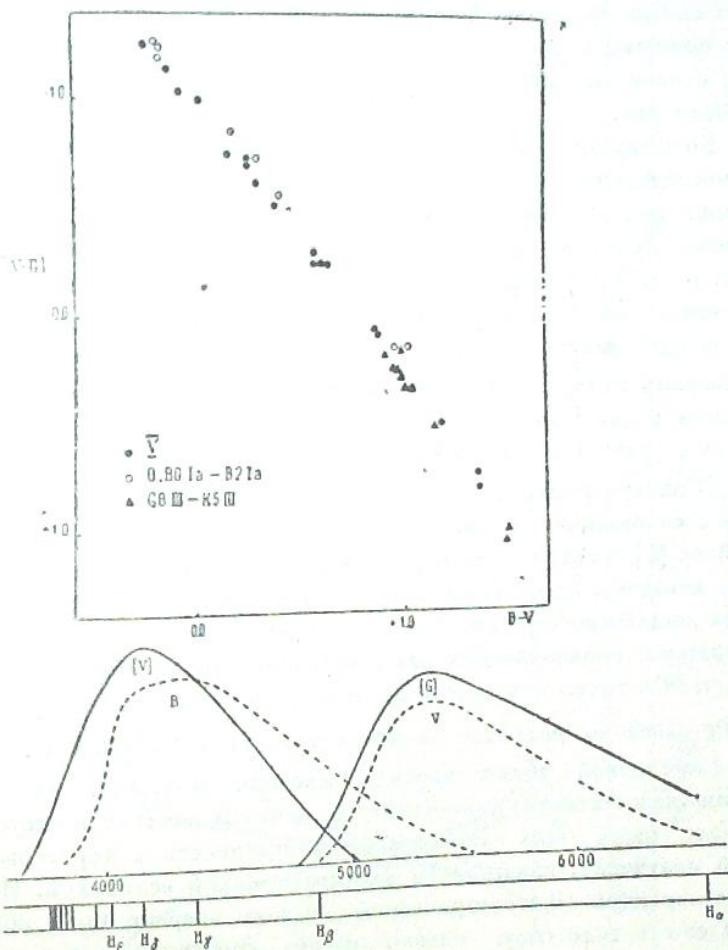


Рис. 2

которые определяются измерениями звезд Северного полярного ряда, принятого в качестве стандарта. Основные характеристики СПР следующие:

- 1) Северный полярный ряд представляет собой совокупность 96 звезд с тщательно измеренными звездными величинами в фотографических и фотовизуальных лучах. Средняя квадратическая ошибка окончательных значений фотографических величин составляет по оценке Сирса $\pm 0^m.024$. Фотовизуальные величины были получены с несколько меньшей точностью.

2) Самая яркая звезда *СПР*—Полярная (1^o) с $IPg=2^m.55$ и $IPv=2^m.08$. Наиболее слабые звёзды: 38₈—в фотографических лучах ($IPg=20^m.10$) и 41—в фотовизуальных ($IPv=17^m.47$). От пятой до десятой фотографической величины в интервале одной величины содержится примерно по три звезды, далее до восемнадцатой величины их число составляет шесть—семь. Звезд, ярче Полярной, в *СПР* не содержится, нет также и слабых звёзд, которые стало возможным наблюдать в последнее время с помощью больших телескопов. Предельной величиной для определения показателей цвета является семнадцатая с половиной фотовизуальная величина.

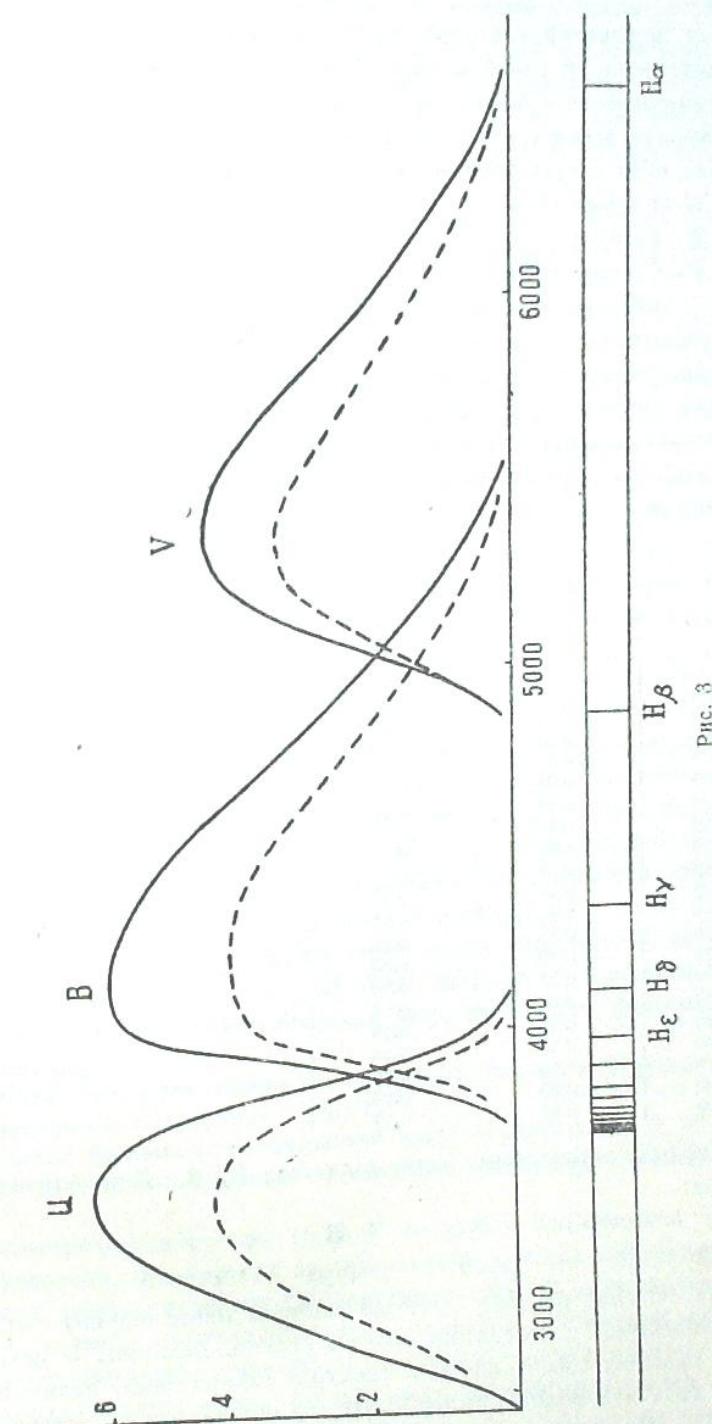
3) Большинство звёзд *СПР*—это звёзды с значительными и большими показателями цвета. Звёзд с отрицательными показателями цвета всего лишь две, а с показателями цвета менее $+0.10$ —пять. Белые звёзды встречаются лишь среди ярких звёзд *СПР*. Таким образом, по мере перехода к слабым звёздам цветовой состав постепенно изменяется. Показатель цвета звёзд *C* в среднем возрастает на $0^m.05$ при уменьшении блеска на одну величину [7].

Северный полярный ряд не имеет в своем составе представителей всех участков диаграммы спектр-светимость. Нет также звёзд одних и тех же типов с различными избытками цвета.

4) В эпоху формирования системы *СПР* вопрос о точном фиксировании спектральных систем, к сожалению, не ставился. В 1943 г. Сирс и Джойнер [8] сделали попытку косвенным путём решить этот вопрос. Однако, методика, которой им пришлось воспользоваться, не может быть признана достаточно строгой. Таким образом, спектральные характеристики аппаратуры, применявшейся для измерения величин IPg и IPv , в сущности остались точно неизвестными. Важно лишь подчеркнуть, что величины IPg заведомо включают в себя излучение с $\lambda < 3800 \text{ \AA}$.

С современной точки зрения Северный полярный ряд обладает большими недостатками, основными из которых являются отсутствие в его составе звёзд всех типов и неопределенность с коротковолновой границей излучения, измеряемого фотографической величиной. Недостатки международной фотометрической системы впервые были подмечены Бекером еще в 1946 году, однако на его соображения в то время не было обращено достаточное внимание и они были забыты [9]. Небольшая точность фотографической фотометрии практически не позволяла выявить эти недостатки в полной мере. Вопрос о замене международной системы новой системой вновь возник лет десять назад, когда широко развернулись высокоточные фотоэлектрические работы. Попытки сохранения системы *СПР* в несколько модифицированном виде в настоящее время почти оставлены.

Фотометрическая система *U, B, V* Джонсона и Моргана. В 1953 г. Джонсон и Морган опубликовали большой каталог звёзд, величины и показатели цвета которых были определены в новой фотометрической системе *U, B, V* [10].



Основные особенности этой системы таковы:
1) Система *U, B, V* является трехцветной, дающей звёздные величины в трёх цветах. Величина *U*—является новым видом величин, изме-

ряемым в ультрафиолетовой части спектра. Величины B и V относятся соответственно к синей и желтой частям спектра. Кривые спектральной чувствительности применявшейся аппаратуры показаны на рис. 3. Сплошные кривые характеризуют приемник радиации без телескопа—фотоумножитель $1P21$ с сурьмяноцезиевым фотокатодом и фильтры [11]:

U —Corning 9863;

B —Corning 5030 + Schott GG13;

V —Corning 3384.

Наблюдения в системе U, B, V производились с алюминированным рефлектором с двумя отражающими поверхностями. Отражательная способность одного ρ и двух ρ^2 зеркал, выведенная как средняя из измерений Петтига [12] и В. Б. Никонова [4], а также кривые спектральной чувствительности аппаратуры Джонсона и Моргана, исправленные за этот эффект, приведены в таблице 1. На рис. 3 эти кривые нанесены пунктиром.

Таблица 1

λ	ρ	ρ^2	U	B	V
2983	0.83	0.68	0.35	0.00	
3190	0.84	0.70	2.45		
3410	0.84	0.71	3.89		
3630	0.84	0.72	4.22	0.01	
3780	0.86	0.73	3.38	0.35	
3864	0.86	0.73	1.88	1.43	
3959	0.86	0.74	0.59	3.50	
4058	0.86	0.74	0.08		
4157	0.86	0.75	0.00		
4257	0.86	0.75			
4459	0.87	0.76		4.07	
4872	0.88	0.78		3.75	0.00
4977	0.88	0.78			0.19
5082	0.88	0.78		1.64	0.99
5187	0.88	0.78			2.19
5292	0.88	0.78			3.02
5500	0.89	0.79			3.34
6015	0.89	0.79			3.12
6500	0.88	0.78			1.30
7020	0.88	0.77			0.17
					0.04

Эффективные длины волн в системе U, B, V приблизительно следующие:

U	B	V
3500	4350	5550 Å

Каждая из спектральных областей системы имеет ширину выше 1000 Å и перекрывается с соседними своими краями. Величина U целиком охватывает бальмеровский скачок в спектрах ранних звезд. Величина B включает в себя водородные линии с H_β до предела серии Бальмера, однако, начиная с H_α , более далекие члены оказываются на падающей части кривой чувствительности аппарата. Величина V измеряет непрерывный спектр между линиями H_α и H_β , которые как бы ограничивают эту спектральную область.

Спектральная область для величин B выбрана с таким расчетом, чтобы исключить излучение с $\lambda < 3800\text{ Å}$. В этом смысле величины B и IPg по существу являются различными. Интересно отметить, что весьма близкой к международной системе IPg была бы система с кривой спектральной чувствительности, составленной из кривой B и уменьшенной вдвое по ординате кривой U [13].

Система U, B, V в основном учитывает особенности звезд ранних спектральных классов. Возможно, что для ряда поздних классов более эффективными были бы другие спектральные области.

2) Система U, B, V имеет строго фиксированный нульpunkt показателей цвета. Принято, что показатели цвета $B-V$ и $U-B$ шести звезд класса AOV (α Lyr, γ UMa, 109 Vir, α CrB, γ Ori, HR 3314) в среднем равны. Колебания около этого среднего значения не превышают $0^m.01 - 0^m.02$. Выбор небольшого числа звезд одинаковых физических характеристик и практически не подверженных влиянию межзвездного поглощения света точно фиксирует распределение энергии, которому соответствует показатель цвета, равный нулю. При таком выборе нульпункта показатель цвета $B-V$ звезд Ко III оказывается равным $+1^m.01$, что почти не отличается от обычного значения интернационального показателя цвета звезд-гигантов класса Ko.

3) Как уже указывалось, Северный полярный ряд не содержит в своем составе звезд со всевозможным распределением энергии в спектрах—звезд всех последовательностей диаграммы цвет-спектримость с различным влиянием межзвездного поглощения света. Новая система устраняет этот недостаток, в числе ее стандартных звезд имеются все виды звезд. Источником данных о стандартных звездах могут служить первый каталог 290 звезд Джонсона и Моргана [10] и специально составленный для этой цели каталог Джонсона, содержащий 400 объектов [14].

Разумеется, ни в одной области неба нельзя надеяться обнаружить все типы звезд. Поэтому стандарты U, B, V расположены на всем небе, что однако не вносит особенно больших затруднений для фотоэлектрической фотометрии.

В качестве стандартов можно пользоваться также и другими звездами, наблюдавшимися в системе U, B, V .

4) Звездные величины и показатели цвета в системе U, B, V —внешатмосферные, т. е. освобожденные от влияния атмосферного ослабления света.

5) Фотометрическая система U, B, V создана с применением одного приемника радиации. Физические характеристики прибора зафиксированы в наблюдениях звезд, служащих стандартами системы. В этом смысле система U, B, V является инструментальной, свойственной именно данному прибору. Любой фотометр, копирующий устройство оригинального фотоприбора Джонсона-Моргана, всегда может иметь некоторые отличия в цветметре Джонсона-Моргана, поэтому тщательные наблюдения для выявления отклонений системы от стандартной являются необходимыми.

Новая система U, B, V представляет собой логическое развитие предыдущих этапов звездной фотометрии. Она отличается от междуна-

родной системы своей определенностью, обеспечена достаточным числом стандартных звезд. Вместе с тем, она не порывает полностью с привычными фотографическими и, в особенности, фотовизуальными величинами. Система величин V совпадает с системой IPV , определяемой девятью звездами Северного полярного ряда, измерявшимися Стеббинсом, Уитфордом и Джонсоном [15]. Связь этих систем выражается формулой:

$$\begin{aligned} V = & IPV + 0.000 + 0.002 \\ & \pm 0.006 \pm 0.005 \end{aligned}$$

(ошибки вероятные).

Система U, B, V прочно вошла в практику звездной фотометрии. К настоящему времени в этой системе измерено несколько тысяч звезд поля, звезды десятков рассеянных и шаровых скоплений и другие объекты. Международный астрономический союз рекомендовал в фотометрических работах придерживаться новой системы U, B, V [16].

Аппаратура, рекомендуемая для осуществления системы U, B, V . Фильтры и фотоумножитель, использовавшиеся для установления системы U, B, V , приводились выше. Согласно рекомендации комиссии 25 Международного астрономического союза вместо указанных фильтров могут применяться следующие более широко распространенные фильтры [16]:

- U — 2 мм фильтр Schott UG₂ или UG₁
- B — 1 мм фильтр Schott BG₁₂ + 2 (или 4) мм GG₁₃
- V — 2 мм фильтр Schott GG₁₁ или 1 мм Schott OG₄
или Otag 302.

Чтобы получить наблюдения в системе U , следует пользоваться рефлекторами и алюминиевым покрытием, отражающим в ультрафиолетовом свете. Для работы в системе B и V пригодны и рефлекторы и рефракторы. Следует заметить, однако, что объективы рефракторов и мениски камер типа Шмидта все же пропускают некоторое количество ультрафиолетового излучения. Так например, 12" линкский рефрактор с объективом ахромат пропускает 60% света в $\lambda 3800^\circ$ [17]. Это открывает возможность получения некоторых отличных от U ультрафиолетовых систем, подобных капрской системе U_c [18] и крымской системе [19]. Как при работе с рефлекторами, так и с рефракторами, необходимо обращать серьезное внимание на коротковолновую границу фильтра при получении величин B . Система U, B, V осуществляется с сурьмяноцециевыми фотоумножителями, однако различные их виды и индивидуальные экземпляры не имеют строго одинаковой кривой спектральной чувствительности, что может вносить некоторые искажения в систему. Отмечалось, например, что умножители EMJ по сравнению с IP21 обладают меньшей чувствительностью в ультрафиолетовых лучах [14].

Фотографическая фотометрия в системе U, B, V может быть выполнена при использовании следующих фильтров и пластинок:

- U — Corning 9863 или 2 мм Schott UG₂ и пластиинки чувствительные к синим лучам, например Kodak 103—O;

B — 2 мм Schott GG₁₃ с теми же пластиинками;

V — 2 мм Schott GG₁₁ и пластиинки типа Kodak 103—D.

Далеко не все обсерватории нашей страны располагают указанными фильтрами, особенно больших размеров, необходимых для фотографической фотометрии. Значительно шире распространены фильтры отечественного производства. Строго говоря, ни один из них по спектральной прозрачности не совпадает точно с перечисленными выше фильтрами. Отечественные фильтры, наиболее сходные по характеристикам с фильтрами фирмы Schott, приводятся ниже*. Их кривые спектральной прозрачности, заимствованные из каталогов, прилагаемых к наборам цветного стекла, показаны на рис. 4.

Фотоэлектрическая фотометрия:

U — фильтр УФС₃ (2 мм) по каталогам 1958 г. Сейчас выпускается под номером УФС-6. Весьма сходен с фильтром VG_2 ;

B — фильтр СС₅ (3 мм), некоторым его недостатком является не очень большая максимальная пропускаемость (около 70%);

V — фильтры ЖС₁₇ (2—4 мм) и ЖС₁₈ (2 мм).

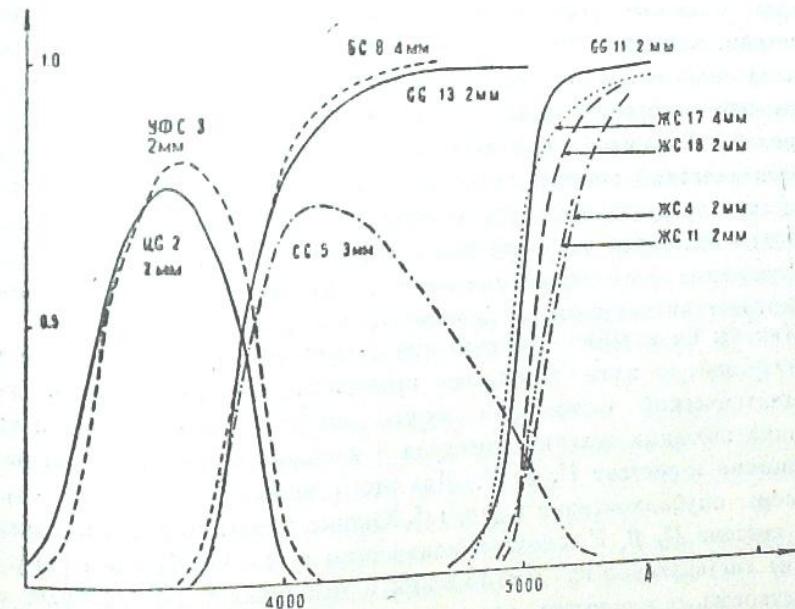


Рис. 4

Фотографическая фотометрия:

U — тот же фильтр УФС₃ и пластиинки типа 103—O.

B — для фотометрии с рефрактором, в особенности многолинзовым, пригоден фильтр БС₈ толщиной 2—4 мм и пластиинки типа 103—O. С рефлектором можно использовать фильтры СС₅ 103—O. С рефрактором можно использовать фильтры СС₅ 103—O.

* Подбор фильтров производился П. Н. Холоповым и автором настоящей статьи.

(2 мм), BC8 (4 мм), менее рекомендуемые фильтры ЖС4 и ЖС11 (1—2 мм).

V — фильтры ЖС17 (2—4 мм) и ЖС18 (2 мм) и пластиинки типа 103а—D.

При выборе фильтров следует обращать внимание на их различные физико-химические свойства (изменяемость спектральной прозрачности под действием ультрафиолетового излучения, стойкость к воздействию влаги и т. д.). Спектральные характеристики фильтров зависят также от того, из блока какой толщины они изготовлены. Рекомендуемые фильтры не гарантируют заведомо полного тождества конкретной фотометрической системы и системы *U, B, V*, так как реально приходится пользоваться различными видами фотоумножителей и разными сортами фотоматериалов. Тщательная проверка своей системы, особенно для величин *U* и *B*, является совершенно необходимой.

Рекомендуемая техника наблюдений. Специальный комитет под руководством Уокера, созданный во время симпозиума № 7 МАС, разработал ряд рекомендаций для проведения фотометрических работ на уровне современных требований [20].

Прежде всего следует отказаться от переноса фотометрического стандарта с одного участка неба в другой методами фотографической фотометрии, дающими значительные ошибки. Эта процедура может быть допущена лишь в том случае, когда звездные величины в исследуемой области неба необходимо знать с очень малой точностью для статистических целей. В каждой исследуемой области неба необходимо создавать фотоэлектрический стандарт, к которому может быть осуществлена фотографическая привязка исследуемых звезд. Когда и стандарт, и исследуемые звезды находятся на одной пластиинке и в одном месте, можно избежать различных фотометрических ошибок. Таким образом, фотографическая фотометрия превращается в интерполяционный метод.

Как бы ни казалась близкой конкретная инструментальная система к стандартной, её надо тщательно проверить. Для этой цели в случае фотоэлектрической фотометрии нужно выбрать около двадцати звезд различных звездных величин, спектров и классов светимости с хорошими измерениями в системе *U, B, V*. Для этого можно использовать списки Джонсона, опубликованные в [10, 14]. Южные звезды-стандарты, измеренные в системе *U, B, V*, скопленионированы в списке Кузинса [21]. Отсутствие систематических расхождений в величинах и цветах будет свидетельствовать о тождестве инструментальной и стандартной систем. Некоторые затруднения вызываются тем, что стандарты *U, B, V* являются яркими звездами, а исследуемые — часто весьма слабые. Чтобы устранить эти трудности, можно прибегнуть либо к диафрагмированию объектива либо к уменьшению напряжения на фотоумножителе. Однако, оба эти способа следует использовать с осторожностью, поскольку они могут привести к некоторому изменению цветовой системы. Нельзя изменять световой пучок, поступающий на фотоумножитель, так, чтобы при этом работали различные участки фотоаппарата, имеющие разную спектральную и общую чувствительность.

При фотографической фотометрии редукционные уравнения, связанные инструментальную и стандартную системы, определяются по наблюдениям звезд, находящихся в стандартных площадках. Чтобы разделить уравнение звездной величины и цвета, необходимо использовать стандарты, содержащие достаточное число звезд в большом интервале величин и показателей цвета. Перечень региональных стандартов в системе *U, B, V* приводится в следующем разделе.

Наконец, и при фотографической и при фотометрической фотометрии следует контролировать цветовую систему, которая может меняться в зависимости от сезона, изменения оптических поверхностей телескопа, эмульсии и других причин.

Региональные стандарты системы *U, B, V*. В настоящее время на небе имеется достаточно большое число областей, содержащих звезды с точными фотоэлектрическими измерениями звездных величин и показателей цвета. Они с успехом могут использоваться в качестве региональных стандартов.

В таблице 2 приводится практически полный перечень таких стандартов в системах *U, B, V* или *B, V*, расположенных севернее $\delta = -45^\circ$. Области, охватывающие значительные участки неба, в таблицу не включаются. В таблице указываются лишь числа звезд с фотоэлектрическими измерениями. Однако во многих стандартах есть большое количество звезд с достаточно точными фотографическими измерениями, основанными на фотоэлектрических измерениях ряда звезд в стандарте. Перечисляемые стандарты в основном являются звездными скоплениями и весьма неравномерно расположены по прямому восхождению. Сведения о новых стандартах, создающихся или планируемых в настоящее время, можно почерпнуть из отчета президента комиссии 25 к II Съезду МАС [21].

В качестве цветовых стандартов можно рекомендовать следующие: NGC 129, NGC 752, NGC 869 и 884 = μ Per NGC 2287 = M41, NCG 2682 = M67, NGC 5272 = M3, NGC 6205 = M13, NGC 6633, NGC 6664, NGC 6705 = M11, NGC 6940, NGC 7789, IC 4665, SA 19, поля 7, 10, 11, 12 и J. Основными недостатками всех этих стандартов являются сравнительно малое число красных звезд и порой небольшой интервал величин. Наилучшими в этом отношении являются стандарты NGC 6633, NGC 2287. Небольшой интервал величин ($\sim 3''$) в стандартах: SA 19, полях 7, 10, 11, 12 и J и скоплении NGC 6940. Представление о звездном составе нескольких стандартов дают диаграммы цвет-светимость, приведенные на рис. 5. При работе по изучению цветового уравнения имеет смысл заранее подробно познакомиться с выбранным стандартом, построив его диаграмму.

В ГАИШ под руководством П. Н. Холопова составлен непрерывно пополняемый каталог стандартов во всех существующих фотометрических системах *.

* В самое последнее время Хог, Джонсон, Иринарте, Митчелл, Халлам и Шарплесс опубликовали результаты трехцветной фотоэлектрической и фотографической фотометрии звезд 70 рассеянных скоплений (Publ. US Naval Obs., Washington, Second Reg. XVII, part VII, 1961). В дополнение к нашему перечню стандартов следует рекомендовать использовать также и эту работу.
10. звезды, звезды, звезды, № 27

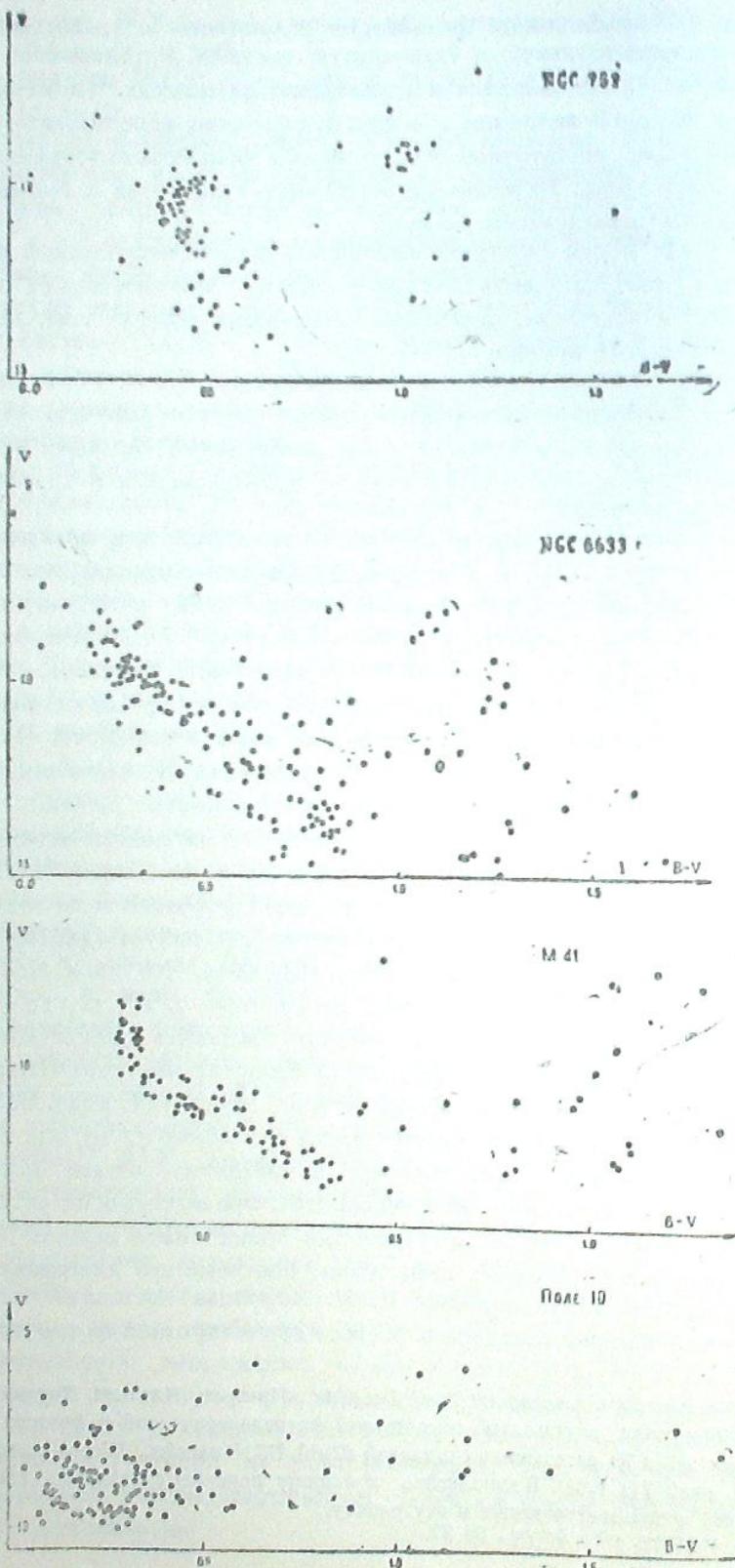


Рис. 5

Таблица 2

Объект	α	δ	Число звёзд	Пределы v	Источник
	1	2	3	4	5
NGC 103	0 ^h 19 ^m .8	+60°47'	40	8 ^m .5—17 ^m .3	22
NGC 129	0 24. 3	+59 40	45	8. 2—16. 4	23
M 31	0 37. 2	+41 43	55	11, 7—19. 6	24
RX And	0 59. 0	+40 46	13	10, 6—14. 4	25
SA 141	1 05.	-29 33	31	8, 1—14. 5	27
NGC 457	1 12. 8	+57 48	90	7, 0—14. 4	28
NGC 654	1 37. 2	+61 23	49	7, 3—15. 7	29
Поле J	1 43—1.59	+59.5—+62.9	88	6, 0—10. 6	30
NGC 752	1 51.8	+37 11	94	7, 1—13. 9	31
Поле 10	1 54—2.10	+56.2—+59.7	116	5, 7—10. 0	30
Область h	2 03—3.10	+54—+61	8	9, 2—11. 0	32
и χ Per	2 15	-56 40	123	5, 7—15. 8	33
M 34	2 35.6	+42 21	57	7, 3—12. 2	34
Гиады	2 50—5.50	-2—+31	191	3, 4—11. 1	35
и Рег	3 13—3.40	+47—+51	187	1, 8—11. 8	36
			36	1, 7—10. 6	37
Per II (ξ Per)	3 20—3.58	+31—+37	134	5, 1—11. 3	38
			16	2, 8—7. 5	37
IC 348	3 38. 1	+31 50	12	8, 5—13. 4	39
Плеяды	3 41. 5	+23 48	64	2, 8—10. 5	40
			302	2, 9—15. 6	40
Поле 11	3 40—3.56	+51.2—+54.1	53	6, 7—10. 4	30
T Tau	4 16. 1	+19 18	6	8, 4—12. 6	41
Поле 12	4 45—4.59	+41.5—+44.9	85	3, 0—10. 3	30
Ori	5 00—5.48	+6—-8	190	2, 1—10. 7	42
RW Aur	5 1.4	+30 16	2	9, 6—10. 7	41
I Ori	5 28.5—5.31.5	-5—-6	49	5, 0—14. 6	43
RR Tau	5 33. 3	+26 19	2	9, 4—10. 5	41
M 36	5 29. 5	+34 4	50	9, 0—12. 4	10
I Gem	6 02	+23	58	10, 6—16. 0	26
SS Aur	6 5. 8	+47 46	13	11, 1—18. 0	45
CV Mon	6 31. 8	+3 9	40	4, 6—17. 1	46
NGC 2264	6 35. 0	+9 45	239	8, 0—9. 1	41
RU Cam	7 10. 9	+69 51	4	4, 4—14. 8	10
NGC 2362	7 14. 6	-24 46	58	11, 4—13. 8	26
U Gem	7 49. 2	+22 16	6	7, 8—8. 6	47
Z Cam	8 14. 0	+73 26	8	10, 2—13. 7	26
Ясли	8 34. 3	+20 20	150	6, 3—14. 7	48
M 67	8 45. 8	+12 11	59	9, 7—16. 2	49
	9 56. 4	+23 14	4	12, —14. 9	50
NGC 4147	12 050	+19 06	23	15, 9—17. 9	51
Волосы Вероники	12 20	+26 40	41	4, 8—10. 8	35
M 3	13 37. 5	+28 53	46	14, 5—17. 2	52
			35	9, 8—21. 9	53
M 5	15 13. 5	+2 27	4	11, 1—14. 4	54
II Sco	15 31. 16.45	-17—-30	80	2, 3—10. 1	55
NGC 6124	16 18. 8	-40 26	46	9, 0—12. 0	56
M 13	16 38. 1	+36 39	26	10, 7—17. 2	57
			26	17, 5—22. 0	58
	16 51. 9	-3 57	4	9, 9—14. 8	59
	17 25—17.55	-27—-34	40	6, 7—11. 6	60
NGC 6356	17 17.8	-17 43	37	6, 4—19. 4	61
NGC 6405	17 33.5	-32 9	132	6, 1—11. 6	63
JC 4665	17 41.4	+5 45	49	7, 4—13. 3	64
V 723 Sco	17 43.4	-35 22	12	6, 8—11. 3	65
JC 4665	17 39—17.44	+5 7—+6.3	40	5, 5—11. 5	66
NGC 6475	17 43.3	-34 47	50	5, 3—15. 7	67
M 8	17 56—17.59	-24.1—-24.5	118	8, 2—16. 6	67
NGC 6611	18 13.2	-13 49	55		

Система C_0 . В. Б. Никонова. В системе C_0 измерены показатели цвета свыше тысячи звёзд спектральных классов $B8-B9$ [4]. При использовавшейся аппаратуре и учёте распределения энергии в спектрах звёзд поздних подклассов B эффективные длины волн составляют около 3900 и 5300 Å. Измерения в синей области целиком охватывают бальмеровский скачок, поэтому при сопоставлении показателей цвета C_0 и $B-V$ получается резко выраженная двухцветная диаграмма. Сжатая двухцветная диаграмма имеет место при сравнении с системой C_1 . Полное использование точного каталога В. Б. Никонова станет возможным, когда будет произведена двухцветная спектральная классификация всех звёзд.

Шестицветная фотометрия Стеббинаса и Уитфорда [104, 5] по своему характеру приближается к спектрофотометрии. Измерения звёзд производились в интервале от 3000 до 11000 Å в шести участках спектра. Эффективные длины волн аппаратурой составляют в Å:

<i>U</i>	<i>V</i>	<i>B</i>	<i>G</i>	<i>R</i>	<i>J</i>
3530	4220	4880	5700	7190	10300

При выборе фильтров приняты во внимание следующие принципы: бальмеровский скачок уединяется в одном из фильтров и разность между обратными значениями эффективных длин волн практически сохраняется постоянной. Из измерений в системе шестицветной фотометрии можно образовать 15 показателей цвета и использовать их для построения различных двухцветных диаграмм. В шестицветной фотометрии измерены 409 звёзд, Солнце и другие объекты. Полный список звёзд содержится в [105].

В самое последнее время в астрономическую практику стала входить узкополосная многоцветная электрофотометрия, позволяющая решать прежде всего различные астрофизические вопросы. Примером являются работы Уилструпа [106] и Боргмана [107]. Обзор узкополосной фотометрии имеет смысл сделать после того, как она получит более широкое распространение.

Сентябрь, 1961.

Гос. астрономический институт
им. П. К. Штернберга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паренаго П. П. Усп. астрон. н., 1948, 4, 257.
2. Transactions IAU, 1922, 1, 67.
3. J. Stebbins, C. Huffer, A. Whitford, Ap. J., 1940, 91, 20.
4. Никонов В. Б. Бюлл. Абст. астроф. обс., 1953, 14.
5. J. Stebbins, A. Whitford, Aph. J., 1945, 102, 318.
6. W. W. Morgan, D. L. Harris, H. L. Johnson, Ap. J., 1953, 118, 92.
7. F. H. Seares, Ap. J., 1925, 61, 114.
8. F. H. Seares, M. C. Joyner, Ap. J., 1943, 98, 302.
9. W. Becher. Veröff. Göttingen, 1946, № 79—82.
10. H. L. Johnson, W. W. Morgan, Ap. J., 1953, 117, 313.
11. H. L. Johnson, W. W. Morgan, Ap. J., 1951, 114, 522.
12. E. Pettit, PASP, 1934, 46, № 269, 28.
13. H. L. Johnson, Ap. J., 1952, 116, 272.

14. H. L. Johnson, Ann. Aph., 1955, 18, № 4, 292.
15. J. Stebbins, A. E. Whitford, H. L. Johnson, Ap. J., 1950, 112, 469.
16. Transactions IAU, 1958, 10, 371.
17. G. R. Miczaika, PASP, 1954, 66, 87.
18. A. W. J. Consins, O. J. Eggen, R. H. Stooy, Roy. obs. bulletins, 1961, № 25.
19. Никонов В. Б., Искрасова С. В., Полосухина Н. С., Рачковский Д. Н., Чувалев К. К. Изв. Крым. астроф. обс., 1957, 17, 42.
20. Second Conference on Co-ordination of Galactic Research (Symposium № 7 IAU) 1959, Cambridge.
21. Agenda and Draft Reports, 11 General Assembly IAU, 1961, 241.
22. J. Oszvath, Brdg. Abh., 1960, 5, № 6.
23. J. Hardorp, Brdg. Abh., 1960, № 7, 5.
24. H. Arp, A. Sandage, C. Stephens, Ap. J., 1959, 130, 80.
25. H. Arp, AJ, 1956, 61, 15.
26. F. Lenouvel, J. Dagnysson, JO, 1956, 39, № 1, 9.
27. B. J. Bok, P. F. Bok, MN 1960, 121, 531.
28. P. Pesch, Ap. J., 1959, 130, 764.
29. P. Pesch, Ap. J., 1960, 132, 696.
30. R. Bouquie, Tel. Ann., 1959, 27, 47.
31. H. L. Johnson, Ap. J., 1953, 117, 336.
32. S. Sharpless, PASP, 1958, 70, № 415, 392.
33. H. L. Johnson, W. W. Morgan, Ap. J., 1955, 122, 429.
34. H. L. Johnson, Ap. J., 1954, 119, 185.
35. H. L. Johnson, C. F. Knuckles, Ap. J., 1955, 122, 209.
36. R. I. Mitchell, Ap. J., 1960, 132, 68.
37. D. L. Harris, Ap. J., 1956, 123, 571.
38. C. K. Seyfert, R. H. Hardie, R. T. Grenchik, Ap. J., 1960, 132, 58.
39. D. L. Harris, W. W. Morgan, R. G. Roman, Ap. J., 1954, 119, 622.
40. H. L. Johnson, R. I. Mitchell, Ap. J., 1958, 128, 31.
41. F. Lenouvel, JO, 1957, 40, 37.
42. S. Sharpless, Ap. J., 1952, 116, 251; 1954, 119, 200.
43. H. L. Johnson, Ap. J., 1957, 126, 134.
44. R. H. Hardie, C. K. Seyfert, I. S. Gulledge, Ap. J., 1960, 132, 361.
45. H. Arp, Ap. J., 1960, 131, 322.
46. M. Walker, Ap. J., Suppl., 1956, II, № 23, 365.
47. G. Wallerstein, PASP, 1959, 71, № 421, 316.
48. H. L. Johnson, Ap. J., 1952, 116, 640.
49. H. L. Johnson, A. R. Sandage, Ap. J., 1955, 121, 616.
50. M. F. Walker, R. Hardie, PASP, 1954, 67, № 397, 281.
51. A. R. Sandage, M. F. Walker, Ap. J., 1955, 60, № 6, 230.
52. R. H. Baker, H. V. Baker, Ap. J., 1956, 61, № 7, 283.
53. H. L. Johnson, A. R. Sandage, Ap. J., 1956, 124, 379.
54. H. C. Arp, A. J., 1957, 62, № 4, 129.
55. R. H. Hardie, D. L. Crawford, Ap. J., 1961, 133, 843.
56. D. Koelbloed, BAN, 1959, 14, № 489, 265.
57. H. C. Arp, H. L. Johnson, Ap. J., 1955, 122, 171.
58. W. A. Baum, W. A. Hiltner, H. L. Johnson, A. Sandage, Ap. J., 1959, 130, 749.
59. H. C. Arp, AJ, 1957, 62, № 4, 129.
60. W. A. Hiltner, Ap. J., 1954, 120, 41.
61. A. Sandage, G. Wallerstein, Ap. J., 1960, 131, 598.
62. K. Rohlf, K. W. Strick, J. Stock, Zs f Ap. 1959, 47, 15.
63. A. R. Hogg, G. Kron, AJ, 1955, 60, № 10, 365.
64. G. Vaucouleurs de, Ap. J., 1960, 132, 681.
65. H. L. Johnson, Ap. J., 1954, 119, 181.

66. M. F. Walker, Ap. J., 1957, **125**, 636.
 67. M. F. Walker, Ap. J., 1961, **133**, 438.
 68. W. A. Hiltner, B. Iriarte, H. L. Johnson, Ap. J., 1958, **127**, 539.
 69. A. Sandage, Ap. J., 1960, **131**, 610.
 70. J. Wampler, P. Pesch, W. A. Hiltner, R. P. Kraft, Ap. J., 1961, **133**, 895.
 71. H. L. Johnson, Ap. J., 1960, **131**, 620.
 72. H. C. Arp, W. G. Melbourne, Ap. J., 1959, **64**, 28.
 73. H. C. Arp, Ap. J., 1958, **128**, 166.
 74. H. L. Johnson, A. R. Sandage, H. D. Wahlquist, Ap. J., 1956, **124**, 81.
 75. H. L. Johnson, W. W. Morgan, Ap. J., 1954, **119**, 344.
 76. D. H. Schulte, Ap. J., 1956, **124**, 530.
 77. D. H. Schulte, Ap. J., 1958, **128**, 41.
 78. M. F. Walker, Ap. J., 1958, **128**, 562.
 79. G. Larsson-Leander, Stock. Ann., 1960, **20**, № 9.
 80. M. F. Walker, Ap. J., 1959, **130**, 57.
 81. D. L. Harris, Ap. J., 1955, **121**, 554.
 82. P. Mianes, J. Dagoullon, Haute-Rov. Publ., 1956, **3**, № 57.
 83. H. Arp, Ap. J., 1961, **133**, 883.
 84. R. H. Hardie, C. K. Seyfert, Ap. J., 1959, **129**, 601.
 85. A. Blaauw, W. A. Hiltner, Ap. J., 1959, **130**, 69.
 86. V. Blanco, J. J. Nassau, J. Stock, W. Wehlau, Ap. J., 1955, **121**, 637.
 87. P. Pesch, Ap. J., 1960, **132**, 689.
 88. V. M. Blanco, A. D. Williams, Ap. J., 1959, **130**, 482.
 89. E. M. Burbidge, A. Sandage, Ap. J., 1958, **128**, 174.
 90. A. Sandage, Ap. J., 1958, **128**, 150.
 91. H. L. Johnson, Ap. J., 1950, **112**, 240.
 92. Stebbins, A. E. Whitford, Ap. J., 1948, **108**, 413.
 93. G. E. Kron, J. Linn Smith, Ap. J., 1951, **113**, 324.
 94. A. N. Cox, Ap. J., 1953, **117**, 83.
 95. O. J. Eggen, Ap. J., 1951, **114**, 141.
 96. G. E. Kron, N. U. Mayall, Ap. J., 1960, **65**, 581.
 97. O. J. Eggen, Ap. J., 1955, **60**, 65.
 98. G. E. Kron, H. S. White, Ap. J., 1953, **118**, 503.
 99. G. E. Kron, H. S. White, Gascoigne S. C. B., Ap. J., 1953, **118**, 502.
 100. G. E. Kron, S. C. Gascoigne, Ap. J., 1953, **118**, 511.
 101. G. E. B. Kron, S. C. B. Gascoigne, H. S. White, AJ, 1957, **60**, 205.
 102. J. Stebbins, C. M. Huffer, Publ. Washburn obs., 1934, **15**, part. 5.
 103. W. W. Morgan, A. D. Code, A. E. Whitford, Ap. J., Suppl., 1955, **2**, № 14, 41.
 104. J. Stebbins, A. E. Whitford, Ap. J., 1943, **98**, 20.
 105. J. Stebbins, G. E. Kron, Ap. J., 1956, **123**, 440.
 106. R. V. Willstrop, MN, 1960, **121**, 17.
 107. I. Borgman, BAN, 1960, **15**, 255.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
I заседание (3 октября)	5
Е. К. Херадзе. Вступительное слово	5
1. П. Н. Холонов. Обзор работ по звездной астрономии, ведущихся в обсерваториях СССР	7
2. Е. К. Херадзе и Р. А. Бартая. О двухмерной спектральной классификации и о спектральном обозрении в трех участках Млечного пути	22
3. Б. А. Драгомирецкая. Об Одесском фотометрическом каталоге	23
4. М. В. Долидзе. Применение метода спектральных обозрений к изучению Галактики	24
5. И. И. Проник. О структуре внутреннего ближнего к Солнцу рукава Галактики	27
6. Я. Я. Икаукикес. Различие в пространственном распределении титановых гигантов постоянного и переменного блеска	27
Обсуждение докладов и выступления	28
7. Б. В. Кукаркин. Система шаровых звездных скоплений и некоторые вопросы развития звезд	30
8. П. Н. Холонов и Н. М. Артюхина. Распределение звездной плотности в скоплении M67	35
9. К. А. Бархатова. Движение рассеянных звездных скоплений	35
10. В. В. Лавровский. Пухковский каталог собственных движений звезд в области 12 рассеянных звездных скоплений	36
11. Л. В. Мирзоян. К вопросу о расширении звездных ассоциаций	36
12. Р. И. Киладзе. Лучевые скорости звезд в ассоциации Персей II	40
Обсуждение докладов и выступления	47
II заседание (4 октября, утро)	49
13. А. Н. Дейч. Каталог «слабых звезд» и задачи звездной астрономии	49
14. И. М. Копылов и Э. С. Бродская. О некоторых современных проблемах в звездной астрономии	50
15. В. Б. Никонов. Проблемы получения однородных систем фотометрических каталогов и создания сети фотоэлектрических стандартов звездных величин	52
16. О. А. Мельников. Об инструментальных средствах современной звездной астрономии и внедрении автоматики в процессы обработки наблюдений звезд	53
17. Ш. Г. Горделадзе и Г. А. Любченко. О быстродействующей машине для измерений блеска и координат звезд по астронегативам	62
18. Ю. С. Ефимов. Фотометрическое определение абсолютных величин звезд ранних спектральных типов	62
Обсуждение докладов и выступления	62
19. Дж. Ш. Хавтаси. Об учете погрешностей в звездной фотографической фотометрии	64