

А. Т. Каллоглян

ДВУХЦВЕТНАЯ АБСОЛЮТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ NGC 7331

Галактика NGC 7331, типа Sb, подвергалась неоднократно изучению с целью установления истинного расположения плоскости симметрии в пространстве. Трехцветная относительная фотометрия проделана Линдбладом [1]. На основании кривых асимметрии и некоторых других особенностей галактики он пришел к выводу о раскручивании спиральных рукавов, в полном соответствии со своей теорией о происхождении спиральной структуры галактик. При этом предполагалось, что поглощающая материя, хотя и может иметь сильную концентрацию к экваториальной плоскости, в центральных областях спирали имеет сферическое распределение. Однако впоследствии, в случае M 31, Линдблад [2] отказался от такой схемы распределения темной материи, считая, что последняя сконцентрирована в основном во внутренних (вогнутых) сторонах спиральных рукавов и обладает той же z-координатой, что и яркая материя в них. Полученная Эльвиус [3] „отрицательная“ поляризация в яркой половине галактики вблизи ядра объяснялась рассеянием света поглощающими частицами и привела автора опять-таки к выводу о раскручивании спиральных рукавов.

Результаты относительной трехцветной фотометрии NGC 7331 недавно были опубликованы также Янсенем [4].

Вокулёр [5] на основании некоторых структурных особенностей NGC 7331 пришел к выводу о закручивании спиральных рукавов галактики. Однако, по единодушному

мнению ряда исследователей, вопрос о направлении вращения спиральных рукавов до сих пор остается неопределенным. По этой причине необходимо накопление более детальных и многосторонних наблюдательных данных в этом направлении. В частности, данные об асимметрии галактики в далеких от малой оси областях могли бы быть полезными в понимании истинной картины в подобных объектах. В настоящей работе получены эти данные относительно NGC 7331 путем сплошной абсолютной фотометрии в двух цветах.

§ 1. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Наблюдения в основном производились летом 1957 г. на 21—21" телескопе системы Шмидта Бюраканской обсерватории. Наблюдения велись методом двухэтажной кассеты Маркова и Сытинской [6] в фотографических и фотовизуальных лучах. В фотографических лучах снимки получались без фильтра на пластинках „Кодак Оа О“, а в фотовизуальных лучах — на пластинках „Кодак Оа-Е“ в комбинации со светофильтром GG-11. Данные об измеренных негативах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Дата	Фильтр	Экспозиция	Сорт пластинки
27/7 1957	—	45 ^m	Кодак Оа-О
27/7 1957	—	15	„
27/7 1957	—	5	„
6/9 1958	GG—11	120	Кодак Оа-Е
26/7 1957	GG—11	90	„
26/7 1957	GG—11	45	„
27/7 1957	GG—11	15	„

Для определения звездных величин звезд сравнения, находящихся на внефокальных снимках двухэтажной кассеты, в фокусе телескопа были сделаны дополнительные снимки с привязкой к звездам Северного полярного ряда. В обоих цветах было получено по пять пар снимков.

Измерение пластинок производилось на микрофото-метре Цейсса. Средняя квадратическая ошибка одного определения звездных величин звезд сравнения оказалась порядка $\pm 0^m.05$.

Изображение NGC 7331 было измерено сплошным образом так, чтобы соседние площадки располагались вплотную друг к другу по большой и малой осям галактики. Для этой цели были применены квадратные диафрагмы, вырезавшие на пластинках области со сторонами 11.4 и 17.1 соответственно.

При измерениях были предприняты все меры предосторожности для одинаковой и точной установки всех пластинок галактики на столике микрофотометра. Результаты измерений одних и тех же областей в одних и тех же цветах, но на разных пластинках показали хорошее согласие. Средняя квадратическая ошибка одного определения поверхностных яркостей оказалась порядка $\pm 0^m.06$, а показателей цвета—порядка $\pm 0^m.08$.

Связь нашей цветовой системы с международной была установлена с помощью звезд Северного полярного ряда. Переход от показателей цвета в нашей системе к международной можно осуществить с помощью следующего уравнения:

$$C_{int} = 0.826(CI + 0.017).$$

§ 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На картах 1 и 2 приведено распределение поверхностной яркости и цвета в NGC 7331 по измерениям с двумя упомянутыми диафрагмами. В фотографических лучах всего измерено 440 и 190 площадок соответственно. Показатели цвета измерялись в 300 и 70 площадках.

При рассмотрении карт распределения бросается в глаза весьма красный цвет галактики в целом. Показатель цвета в центральных частях доходит до значения $1^m.3$ в международной цветовой системе. Только в редких случаях показатель цвета в ветвях становится меньше $0^m.5$. Даже цвет

некоторых сгущений, измеренных круглой диафрагмой (табл. 2), является необычайно красным для сгущений в ветвях галактик типа Sb. Самое голубое из них обладает показателем цвета $+0^m.6$ в международной системе. Все сгущения находятся на западной части галактики. Знак „плюс“ в табл. 2 означает к северу от ядра, а знак „минус“ — к югу.

Учет поглощения света в нашей галактике может несколько уменьшить полученное значение показателя цвета.

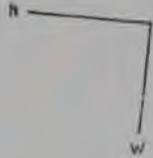
Таблица 2

X	У	m_{pg}	Cl_{int}
-17.1	25.1	16.38	$+0^m.69$
-67.3	17.1	16.43	0.74
+53.6	21.7	16.58	0.87
+28.6	25.1	16.73	0.72

Для оценки этой поправки мы пользовались избытками цвета звезд в списке Стеббинса, Хаффера и Уитфорда [7]. Галактическое поглощение в области, находящейся на расстоянии около $2''$ от NGC 7331, оказалось незначительным. Среднее значение избытков цвета пяти звезд в этой области равняется $+0^m.04$. Звездные подсчеты, сделанные нами на картах Паломарского атласа, в этой области и в области NGC 7331 показали, что поглощение по этим двум направлениям почти одинаково. Таким образом, влияние галактического поглощения на показатель цвета NGC 7331 не превосходит $0^m.1$. Следовательно, большое значение показателя цвета NGC 7331 является особенностью самой галактики.

На рис. 1 и 2 приведено распределение поверхностной яркости и цвета по большой и малой осям галактики. Распределение цвета по обеим осям указывает на „посинение“ галактики при удалении от центра. По большой оси показатель цвета уменьшается медленно и почти симметрично относительно ядра. В центральных частях, на протяжении около одной минуты, цвет остается почти постоянным, одинаковым с цветом ядра. В периферийных частях показатель цвета доходит до значения $+0^m.6$.

Яркость вдоль большой оси падает довольно симметрично по обе стороны от ядра. В противоположность этому



Карта 2. Распределение яркости и цвета по галактике NGC 7331 (с диафрагмой со стороны 17" 1)
 Քարտեզ 2. Պարձառուիլան և գույնի բաշխումը NGC 7331-ում (17" 1 կողմ ունեցող դիաֆրագմայով)

y \ x	+273.6	239.4	205.2	171.0	136.8	102.6	68.4	+34.2	0	-34.2	68.4	102.6	136.8	171.0	-205.2															
+68.4																														
51.3			24.03	23.61	24.03	—	24.2	24.2	23.98	—	23.84	—	—	23.75	24.04	23.60	23.88	23.94	23.80	23.88	24.2									
34.2		23.88	23.20	23.88	23.54	23.82	24.04	23.80	23.48	22.56	22.84	23.85	22.44	22.20	22.38	22.03	22.27	22.40	22.76	23.06	23.42	23.76	23.88	24.0	23.96	24.12				
+17.1	23.72	24.2	23.80	23.06	23.44	23.38	23.42	23.25	23.00	23.02	23.22	22.33	21.95	22.10	—	21.81	21.70	21.97	22.06	21.90	22.18	22.32	22.95	23.18	23.64	24.12	23.74			
0	23.98	23.74	24.2	23.84	23.24	23.42	23.36	23.32	22.88	22.89	23.00	22.40	22.06	21.51	20.76	19.80	19.30	20.20	21.16	21.66	21.87	—	22.48	22.61	23.14	23.58	23.76	23.12		
-17.1	24.00	23.62	23.81	23.70	23.96	23.60	23.52	23.60	23.57	23.14	22.83	22.70	—	21.98	21.63	21.31	21.23	21.43	21.67	22.03	22.35	22.50	22.84	22.94	22.96	23.60	23.71	23.84	24.12	23.74
34.2				24.14	23.50	23.72	23.80	23.72	23.54	23.18	23.04	22.70	22.47	22.20	22.01	22.05	22.15	22.45	22.47	22.63	22.98	23.32	23.32	22.95	23.36	23.94	24.14	24.14	24.2	
-51.3									24.08	23.82	23.75	23.42	23.10	23.04	22.64	22.56	22.69	22.53	22.63	22.69	23.28	23.28	23.06	23.32	23.68	23.80	24.00			

замечается определенная асимметрия в распределении яркости по малой оси. Восточная половина галактики систематически ярче западной почти на одну звездную величину.

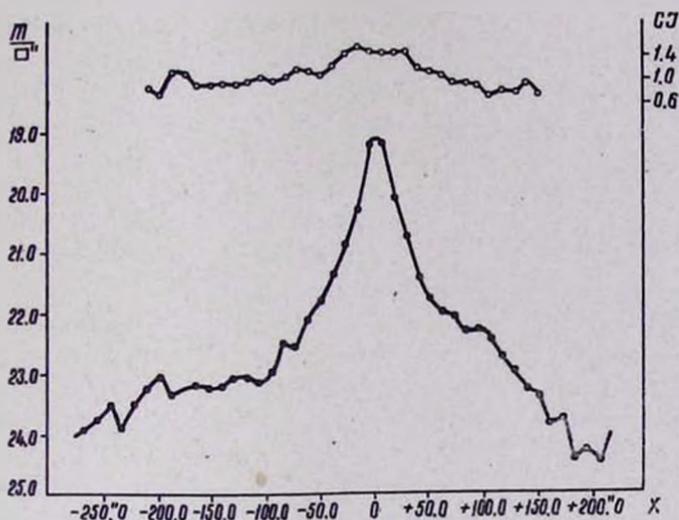


Рис. 1. Распределение яркости и цвета по большой оси NGC 7331.

Գծ. 1. Պայծառությունից և գույնի բաշխումը NGC 7331 գալակտիկայի մեծ առանցքով:

Таблица 3

Автор	m_{pg}	CI_{int}	Размеры
Холмберг [8]	$10^m 27$	$+0^m 71$	$7'.0 \times 13'.5$
Петтит [9]	10.56	0.91	4.1×8.6
	12.58	1.15	0.4
	13.51	1.18	0.2
Каллогян	10.72	—	2.8×8.5
	10.82	0.95	2.5×6.5

В соответствии с этим, показатель цвета восточной части систематически меньше показателя цвета западной.

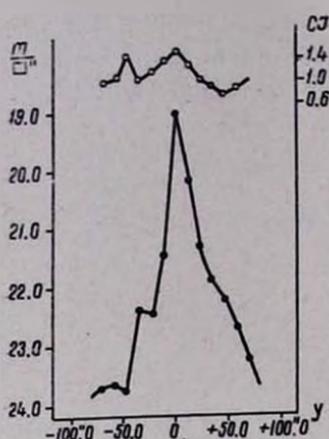


Рис. 2. Распределение яркости и цвета по малой оси NGC 7331.

Գծ. 2. Պայծառության և գույնի բաշխումը NGC 7331 գալակտիկայի փոքր առանցքով:

результат, который был получен при рассмотрении рис. 1.

§ 3. НАПРАВЛЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ СПИРАЛЬНЫХ РУКАВОВ NGC 7331

На основании карты 1 в двух цветах были построены кривые распределения яркости 22 разрезов параллельно малой оси. Главная ось, разделяющая две половины галактики, была проведена по возможности точно по точкам максимальных яркостей в центральном теле. Асимметрия определялась разностью яркостей в темной и яркой половинах данного разреза, выраженной в звездных величинах. Прделанные таким образом вычисления показали, что во многих разрезах асимметрия в фотографических лучах меньше, чем в фотовизуальных. В табл. 4 приводится асимметрия лишь всей галактики в двух цветах.

По данным таблицы, более яркая половина галактики является более красной. Простые соображения показывают, что такой парадоксальный результат является следствием

На основании карты 1, путем фотометрического сложения всех областей, были определены интегральная звездная величина и показатель цвета галактики. Эти данные в международной цветовой системе, вместе с соответствующими данными других авторов, приведены в табл. 3. Данные таблицы подтверждают сделанный выше вывод о „посинении“ галактики при удалении от центра.

Сопоставление данных, полученных Петтитом с разными диафрагмами, показывает, что „посинение“ галактики в близких к ядру частях происходит довольно медленно; это тот же

влияния спиральных рукавов. Действительно, при распределении поглощающей материи в тонком слое вокруг плоскости симметрии галактики относительное влияние яркостей участков спиральных рукавов, находящихся вне темной материи, должно быть сильным на яркости более слабой части галактики, чем на более яркой. По причине голубого цвета спиральных рукавов эта разница будет намного больше в фотографических, чем в фотовизуальных лучах.

Таблица 4

Часть галактики	m_{pg}	m_{pv}	CI_{int}
Восточная	11 ^m 53	10 ^m 68	+ 0 ^m 85
Западная	12.13	11.38	0.75

Таким образом, для точного определения асимметрии галактики необходимо исключить яркости спиральных рукавов. Это было произведено с помощью кривых распределения яркости вышеупомянутых разрезов. Возрастание яркости к краю галактики в каждом разрезе приписывалось наличию спиральных рукавов. После вычитания яркости последних были получены плавные кривые, напоминающие кривые нормальных ошибок. Такое распределение в первом приближении кажется близким к истине.

Однако проведение этих кривых, особенно во внешних областях галактики, связано с большими трудностями и в некоторых разрезах становится даже невозможным. Неточное вычитание яркости спиральных рукавов может исказить действительную картину. Дело в том, что из-за убывания яркости вдоль спиральных рукавов более яркие их части на одной стороне от малой оси будут преобладать в яркой половине галактики, а на другой стороне — в темной ее половине. Вне центрального тела, где начинается разветвление спиральных рукавов, неполное вычитание яркости последних приведет к значительным различиям между асимметриями соответствующих разрезов по обе стороны от малой оси. Поэтому, для составления более точной картины, необходимо брать среднее значение асимметрии в двух

симметрично расположенных относительно малой оси разрезах.

Вычисленные таким образом значения асимметрии приведены в табл. 5.

В первом столбце таблицы дается расстояние от центра в минутах дуги; второй и третий столбцы содержат значения асимметрии в фотографических и фотовизуальных лучах, выраженные в звездных величинах; в последних

Таблица 5

r	A_{pg}	A_{pv}	$A_{pg}(в \%)$	$A_{pv}(в \%)$
0.1	1 ^m 38	1 ^m 12	35	29
0.3	1.16	1.02	35	28
0.48	1.08	0.90	30	26
0.67	0.80	0.62	27	24
0.85	0.76	0.54	20	16
1.05	0.33	0.40	23	19
1.2	0.50	0.40	16	14
1.4	0.33	0.42	16	17
1.6	0.41	0.31	16	14
1.8	0.38	0.56	16	14
2.0	0.32	0.50	18	18

двух столбцах приведены те же величины, выраженные в процентах от удвоенной яркости яркой половины данного разреза.

Данные табл. 5 приводят к следующим выводам:

1. Во многих разрезах асимметрия в фотографических лучах больше, чем в фотовизуальных. В некоторых разрезах наблюдается обратная картина, что может быть только следствием неточного вычитания яркости спиральных рукавов.

2. Во всех разрезах существует значительное поглощение света. Среднее значение для всех разрезов составляет около 23% в фотографических лучах или, выражая в звездных величинах, 0^m85. Это на 0^m25 больше, чем значение той же величины в табл. 4. Такое высокое значение асимметрии может объяснить весьма красный цвет NGC 7331.

3. Асимметрия около ядра превосходит асимметрию на больших расстояниях от него. Но, начиная с расстояния около 0.8 от центра, асимметрия остается постоянной, оставаясь все же большой.

Относительно большое значение асимметрии в центральном теле, по-видимому, объясняется полным сглаживанием влияния спиральных рукавов около ядра в темной

части галактики. Это, в частности, подтверждается измерениями Линдблада [1]. Однако схему распределения темной материи по Линдбладу трудно совместить с полученными выше результатами. По его предположению, как было отмечено выше, темная материя имеет сферическое распределение в центральной части галактики и асимметрия обусловлена только наличием спиральных рукавов. При такой схеме совершенно непонятно возрастание асимметрии при вычитании яркости спиральных рукавов и большое значение асимметрии на далеких от малой оси расстояниях. Между тем, оба наблюдаемых факта легко объясняются в рамках схемы распределения темной материи в тонком слое вокруг плоскости симметрии галактики. К такому же выводу пришел Холмберг [10] из полученных им аналогичных результатов относительно NGC 3623. Асимметрия этой галактики от значения 7% при наличии спиральных рукавов возрастает до 14% при исключении их яркости и сохраняет высокое значение на больших расстояниях от малой оси.

Предложенная Линдбладом схема распределения темной материи в работе [2], по основательным исследованиям де Вокулёра [5], не в состоянии объяснить наблюдательные факты, касающиеся NGC 7331. Особого внимания заслуживает исчезновение круговых изофот центрального тела в темной половине галактики. Эта особенность объяснима только при предположении, что темная половина NGC 7331 находится ближе к нам. Помимо этого, на крупномасштабных снимках явно замечается накопление поглощающей материи во внешних, выпуклых частях спиральных рукавов. Это опять-таки приводит к сделанному выводу о расположении плоскости симметрии NGC 7331 в пространстве.

Что касается „отрицательной“ поляризации света, обнаруженной Эльвиус [3] в яркой половине NGC 7331 и интерпретируемой ею рассеянием света на пылинках поглощающей материи в спиральных рукавах, то дело здесь обстоит довольно неопределенно: во-первых, наблюдениями охвачена очень небольшая область вокруг ядра галактики, во-вторых, средняя степень поляризации в этой области

составляет не более 2 %, т. е. находится в пределах ошибок фотографического метода.

С другой стороны, нетрудно убедиться, что рассеянием света трудно объяснить асимметрию в далеких от малой оси областях галактики. Действительно, интенсивность ядра, являющегося источником рассеянного света, убывает быстрее, чем $1/r^2$ с удалением от центра. Помимо этого, индикатриса рассеяния, в далеких от малой оси областях, даже в близкой к нам стороне галактики не направлена прямо к наблюдателю. Эти два фактора должны привести к быстрому убыванию интенсивности рассеянного света, а вместе с тем, к быстрому убыванию асимметрии галактики. Однако это противоречит вышеполученным наблюдательным данным.

Допускать, что в центральной части галактики распределение яркости определяется рассеянием света, а в далеких от малой оси областях каким-то другим механизмом (например, поглощением), значит искусственно осложнять объяснение наблюдаемой картины.

Наконец, остановимся на следующем обстоятельстве. Согласно Эльвиус [11], в тех галактиках, угол наклона которых к лучу зрения является малым, асимметрия объясняется поглощением света и темная половина таких галактик должна располагаться ближе к нам. С увеличением угла наклона интенсивность рассеянного света превосходит поглощение и темная половина таких галактик должна находиться дальше от наблюдателя. Таким образом, разные причины, действующие в противоположном направлении, приводят к одному и тому же явлению — асимметрии галактик. Если с увеличением угла наклона интенсивность рассеянного света начинает играть все большую и большую роль и, наконец, превосходит поглощение, то само собой напрашивается мысль, что при некотором промежуточном значении угла наклона эффекты, производимые поглощением и рассеянием, должны равняться друг другу и асимметрия галактики в центральных ее частях должна исчезнуть. Однако, насколько нам известно, ни одна такая спиральная галактика до сих пор не наблюдалась. С другой.

стороны, согласно Эльвиус, причиной асимметрии цвета галактик, видимых под определенным углом, является голубой цвет рассеянного света. В таких условиях мы должны были наблюдать следующую картину: при малых углах наклона асимметрия цвета обуславливается поглощением, т. е. покраснением света в близкой стороне галактики, что должно привести к увеличению показателя цвета по сравнению с показателем цвета галактик, видимых в анфас. С увеличением угла наклона, когда усиливается эффект рассеяния, мы должны были наблюдать „посинение“ галактик по сравнению с галактиками, видимыми в анфас. Однако в действительности такое явление не наблюдается. Наоборот, данные Холмберга [8] указывают на постепенное покраснение галактик с уменьшением угла наклона. Об этом говорит также весьма красный цвет NGC 7331.

Таким образом, в рамках теории рассеяния света трудно объяснить некоторые наблюдаемые особенности асимметрии в спиральных галактиках вообще и в NGC 7331 в частности. Причина, приводящая к асимметрии галактик, должна быть, по всей вероятности, единой, независимо от угла наклона. Так как для малых углов поглощение бесспорно является причиной асимметрии, то мы вправе заключить, что и для больших углов асимметрия вызвана поглощением света темной материей. Если так, то наиболее близкой к истине представляется принятая со стороны ряда исследователей схема распределения поглощающей материи в тонком слое вокруг плоскости симметрии спиральных галактик. В некоторых случаях, как например в случае NGC 7331, замечается накопление поглощающей материи на внешних, выпуклых сторонах спиральных рукавов. При такой схеме, более слабая сторона NGC 7331 располагается ближе к наблюдателю. Это, совместно со спектроскопическими данными Бэбкока [12] о вращении галактики, приводит к выводу о закручивании спиральных рукавов NGC 7331.

NGC 7331 ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՅԻ ԵՐԿԳՈՒՑՆԱՆԻ ԲԱՑԱՐՁԱԿ
ԼՈՒՍԱԶԱՓՈՒԹՅՈՒՆ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Երկհարկանի կասետայի մեթոդով կատարված է NGC 7331 Sb տիպի գալակտիկայի երկգունանի համատարած լուսաչափություն: Որոշվել են գալակտիկայի ինտեգրալ աստղային մեծությունը և գունի ցուցիչը՝ միջազգային սիստեմում ($10^m 82$ և $+0^m 95$ համապատասխանաբար):

Փոքր առանցքին զուգահեռ և միջուկից տարբեր հեռավորությունների վրա տարած հատուկթևերի ասիմետրիայի վերաբերյալ երկու գունում ստացված արդյունքները կարելի է բացատրել, եթե ենթադրենք, որ կլանող նյութը բաշխված է գալակտիկայի սիմետրիայի հարթություն շուրջը նեղ շերտով և առավելագույն կուտակված է սպիրալ թևերի ուղուցիկ մասերում: Այս դեպքում գալակտիկայի կլանված կեսը պետք է գտնվի դիտողի և միջուկի միջև, այսինքն՝ մեզ ավելի մոտ: Բերկոյի [12] սպեկտրոսկոպիկ տվյալների հետ համատեղ այս հետևությունը բերում է NGC 7331 գալակտիկայի սպիրալ թևերի «իաթաթման» տեսակետին:

A. T. KALLOGLIAN

ABSOLUTE TWO-COLOR PHOTOMETRY
OF NGC 7331

Summary

The results of two-color absolute photometry of the spiral galaxy NGC 7331 are given. The measurements are carried out with two different diaphragms. The integral magnitude and color index of galaxy are determined on the international scale ($10^m 82$ and $+0^m 95$, respectively).

W

N



NGC 7331

Масштаб: 16" на *м.м.*

The asymmetry of the galaxy measured for different sections in two colors may be interpreted in the sense that the obscuring matter is spread out in a thin layer around the main plane of the galaxy and accumulated chiefly on the convex sides of spiral arms. In such a case, the obscured part of the galaxy must be located between the observer and nucleus. This result together with the spectroscopic data given by Babcock [12] leads to the conclusion that the spiral arms of NGC 7331 are trailing.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. B. Lindblad, Stock. Obs. Ann., 13, № 8, 1941.
2. B. Lindblad, Stock. Obs. Ann., 18, № 2, 1956.
3. A. Elvius, Stock. Obs. Ann., 19, № 1, 1956.
4. O. Jensen, Stock. Obs. Ann., 21, № 1, 1960.
5. G. de Vaucouleurs, Ap. J., 127, 487, 1958.
6. А. В. Марков и Н. Н. Сытинская, ДАН СССР, 73, 1933.
7. J. Stebbins, C. Huffer and A. Whitford, Ap. J., 91, 20, 1940.
8. E. Holmberg, Medd. Lund. Astr. Obs., ser. II, № 136, 1958.
9. E. Pettit, Ap. J., 120, 413, 1954.
10. E. Holmberg, Medd. Lund. Astr. Obs., ser. II, № 6, 1945.
11. A. Elvius, Stock. Obs. Ann., 18, № 9, 1955.
12. H. Babcock, P. A. S. P., 50, 174, 1938.

