

SPECTROPHOTOMETRY OF FOUR NON-STABLE STARS

M. V. DOLIDZE

(Summary)

An attempt to reveal the causes of spectral anomalies for certain non-stable stars was made.

Spectral variations with time were examined for *P* Cygni.

Slight irregular variations of spectrophotometric temperature of *P* Cygni accompanied in some cases by variations of the intensities and positions of the spectral line components were revealed. They coincide in time with the light and color variations of the star.

The selective interstellar absorption was taken into account according to the data published in the last years. Nevertheless this does not explain the anomalies mentioned. The author suggests that they are partly due to the peculiarities of the stars.

September, 1957.

ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ СПЕКТРОГРАММ ЗВЕЗД
 ТИПОВ *Ve* и *P* ЛЕБЕДЯ

M. V. ДОЛИДЗЕ

Спектроскопические измерения нестационарных звезд, в отличие от измерений обычных звезд, усложнены наличием особенностей спектральных линий. Эти особенности вызывают действие различных эффектов, которые искажают результаты измерения спектрограмм. Точный учет влияния этих эффектов является трудной задачей. Хорошо известно, что линии в спектрах нестационарных звезд широки, размыты, часто состоят из нескольких компонентов с разными относительными интенсивностями, имеют фиолетовые спутники и асимметричные контуры. Следовательно, при измерениях спектрограмм должны быть учтены как фотографические эффекты, так и субъективные ошибки измерений. Учет влияния этих двух источников ошибок необходим при теоретической интерпретации контуров и выводе различных заключений о строении атмосфер и оболочек нестационарных звезд. Изучение влияния различных фотографических явлений производилось и производится часто также лабораторным способом и, не только для спектральных линий, но и для других объектов (двойные звезды [1], спутники планет [2], кометы [3]).

В 1954 г. мы измеряли лучевые скорости звезды типа *Ve*— γ Кассиопеи. Спектрограммы были взяты из архива Пулковской обсерватории и относились, в основном, к наблюдениям 1930 г. Наличие особенностей спектральных линий этой звезды, также как и у вышеуказанных объектов должно вызывать искажение результатов измерений. Для выявления фотографических эффектов лучшей проверкой было бы сравнение микрофотограмм с фотоэлектрограммами этой звезды, но мы не располагали такой возможностью. Мы также не могли учесть влияния указанных эффектов по имеющимся спектрограммам. Они оказались недостаточными для этой цели. Поэтому мы ограничились лабораторным исследованием, которое состояло в изучении фотографических эффектов в лабораторных сложных спектрах, аналогичных спектрам *Ve*-звезд (случай звезд типа *P* Лебедя мы рассматривали как частный случай *Ve*-звезд). По совету проф. О. А. Мельникова мы одновременно рассмотрели также вопрос о возможном влиянии некоторых свойств и оптических недостатков глаза на результаты измерения положения линий в спектрах нестационарных звезд (субъективная ошибка). Исследование мы производили путем сравнения результатов измерений положения линий при помощи обычного визуального и микрофотометрического метода. Использовались щелевые спектрограммы γ Кассиопеи, *P* Лебедя и лабораторные снимки.

* Настоящая и предыдущая (стр. 69) работы составляют часть кандидатской диссертации автора.

Лабораторные спектры были получены в Пулкове на спектрографе КС-55 с кварцевой оптикой. Дисперсия была равна $11.5 \text{ \AA}/\text{мм}$ около $\lambda 4000 \text{ \AA}$ и почти точно совпадала с дисперсией спектрограмм γ Кассиопеи. Ширина щели спектрографа равнялась 0.01 мм . Калибровка спектрограмм сделана на спектрографе ИСП-22 (со ступенчатой щелью). На рис. 1 приводится характеристическая кривая фотопластинок Агфа

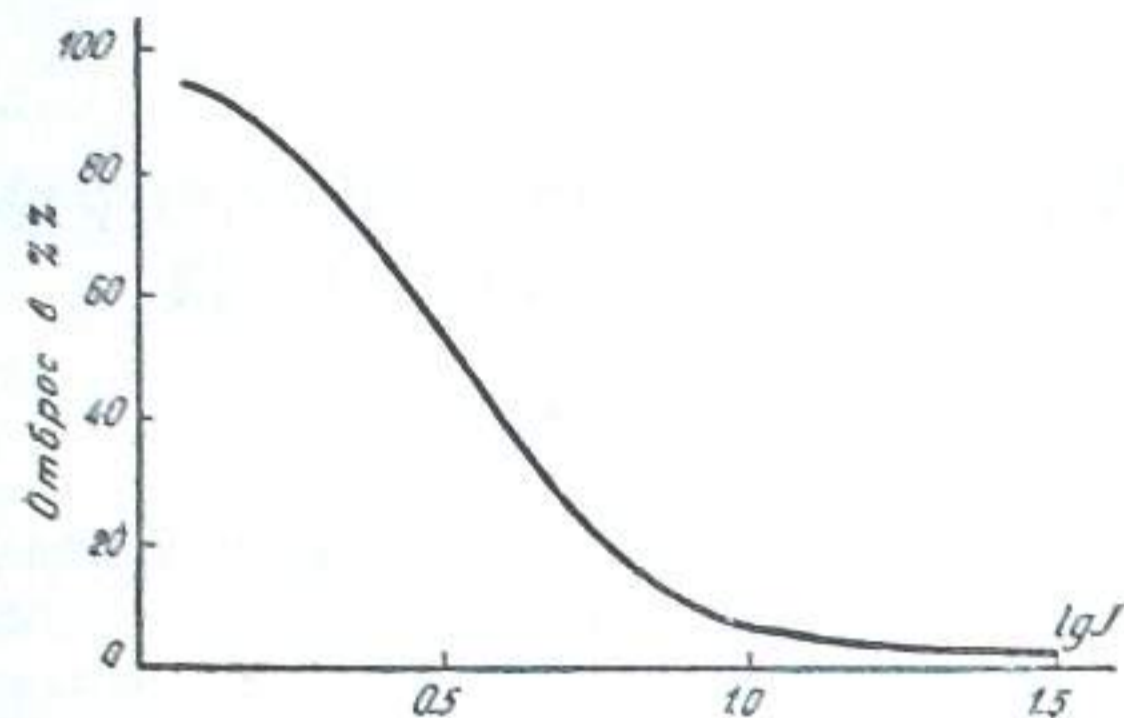


Рис. 1

Астро для выбранного участка спектра. Употреблялись пластинки Агфа Астро, а также Ильфорд-Зенит и проявители: стандартный № 1 и метоло-гидрохиноновый фирмы Агфа. Воспроизведение спектров звезд типов *Ve* и *P* Лебеда достигалось путем фотографирования солнечного спектра и наложения на него спектра железной дуги (рис. 2). Интенсивность ярких линий железа, а также их смещение относительно соответствующих линий в спектре Солнца задавались различными. Величина смещения ярких линий выбиралась таким образом, чтобы она была приблизительно равна ширине выбранных солнечных линий. Выбранное значение смещения соответствует ширине линии излучения в спектрах звезд типа *Ve* (*P* Лебеда) и одновременно имеет значение, при котором начинают сказываться смещение и деформации фотографических изображений.

Очевидно, что при наличии смещений и деформаций положение солнечной линии должно измениться, т. е. должно измениться расстояние от какой-нибудь линии спектра сравнения до соответствующей солнечной под влиянием соседних ярких линий, в зависимости от их интенсивности и положения. Поэтому производились измерения последовательности спектрограмм, состоящей из солнечного спектра и сложных спектров (рис. 2). Измерения производились микрофотометрическим методом, а также, для контроля, на измерительном микроскопе. Для каждой последовательности спектров на саморегистрирующем микрофотометре были получены серии микрофотограмм (с увеличением 50) (рис. 3). На микрофотограммах воспроизводились основной спектр и спектр сравнения. Особое внимание было уделено тому, чтобы на микрофотограммах относительное расположение основного спектра и спектра сравнения оставалось таким же, как и на пластинке.

Микрофотометрический способ обработки позволил одновременно с определением положения исследовать изменение контура и эквивалентных ширин компонентов спектральных линий. Так как нас интересовал также желатиновый эффект [4] (явление Росса [Росс, 1924]), мы произвели сравнение микрофотограмм сложных спектральных линий, полученных до и после сушки экспонированных пластинок. Измерение положения

солнечных линий и их фотометрия выявили наличие смещений и деформации компонентов спектральных линий. Явления, вызывающие эти искажения, в нашем случае выражаются как фотографическое расширение изображений, влияние эмиссионного компонента на положение и контур соседней линии поглощения, а также сжатие эмульсии.

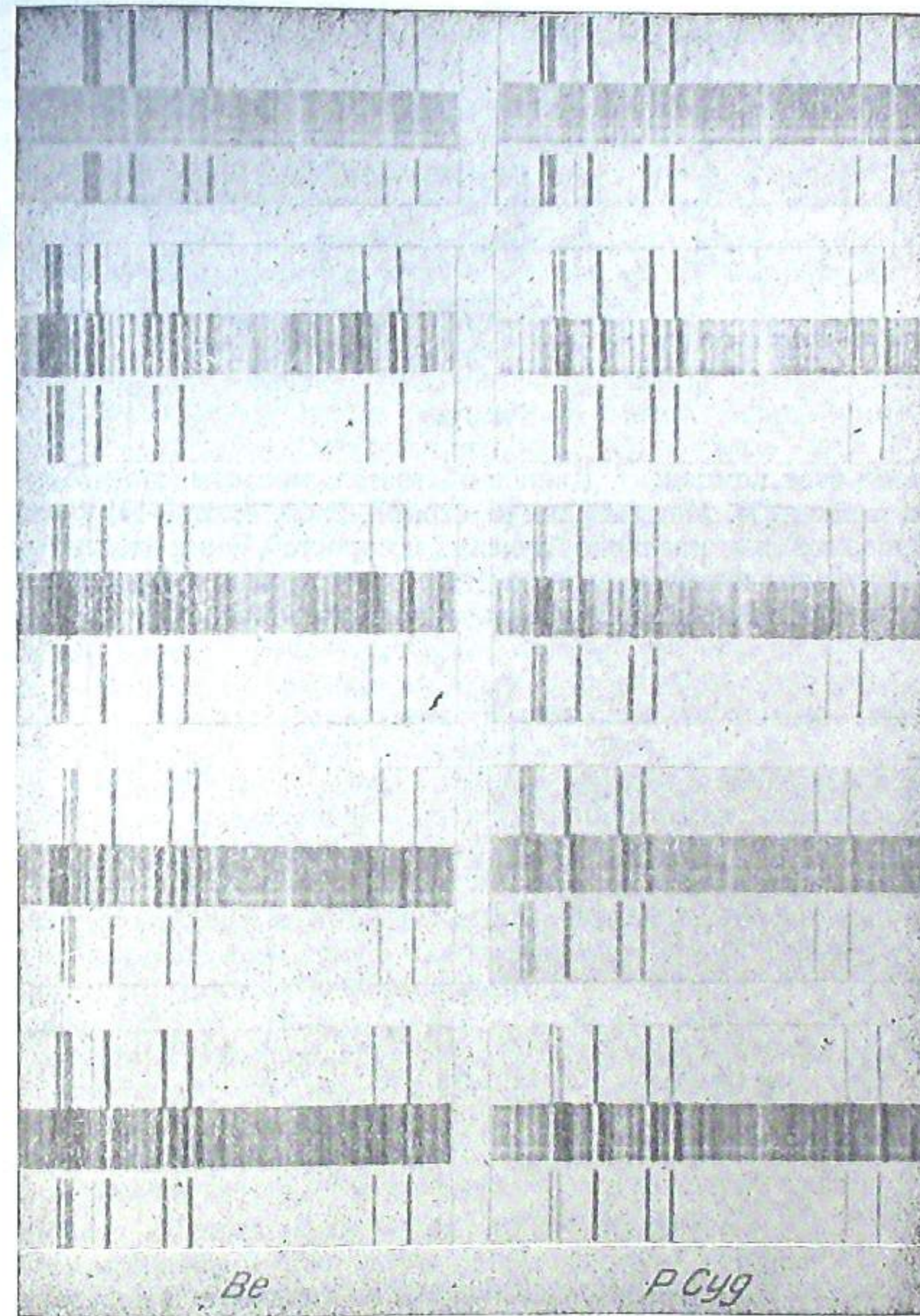


Рис. 2

Рассмотрим каждое из этих явлений отдельно. Полученные микрофотограммы показывают, что в том случае, когда яркая линия накладывается на фон (например, на непрерывный спектр Солнца), то происходит искажение контура—линия расширяется, меняется центральная интенсивность, но смещения яркой линии не происходит, даже если имеется более интенсивный эмиссионный компонент. Влияние подобного явления

рассматривается в работе [5]. При увеличении интенсивности эмиссионного компонента могут произойти следующие искажения измерений: 1) Центр линии излучения в спектрах звезд *Ve*, если его определять как среднее из отсчетов при наведении на внешние края эмиссионных компонентов, когда последние имеют разные относительные интенсивности, смещается к более интенсивному компоненту и тем больше, чем

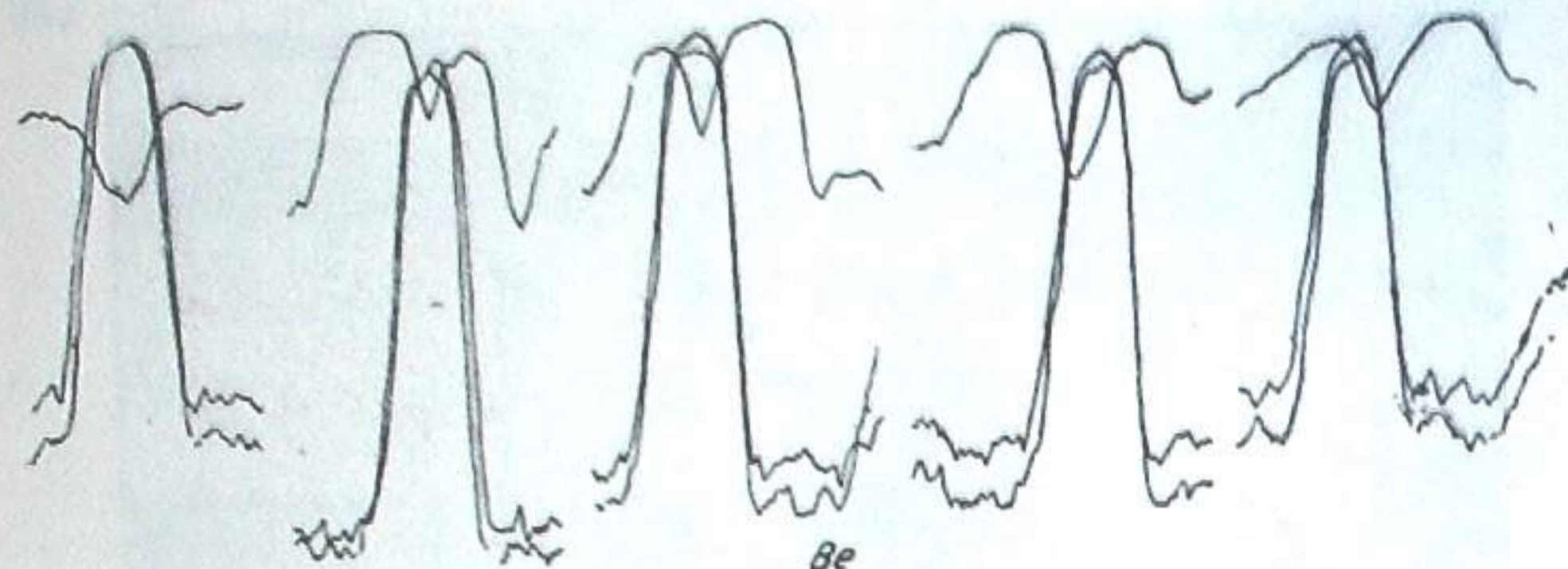


Рис. 3а

интенсивнее этот компонент. Данное обстоятельство отмечали Мак Лафлин [6] и Хайнек [7]. Мак Лафлин [6, стр. 48, табл. 4, стр. 44] указывает, что полученное им различие лучевых скоростей, определенных по линиям излучения и поглощения за 1930 г. для звезды π Водолея можно было бы объяснить действием указанного небольшого эффекта. 2) Изме-

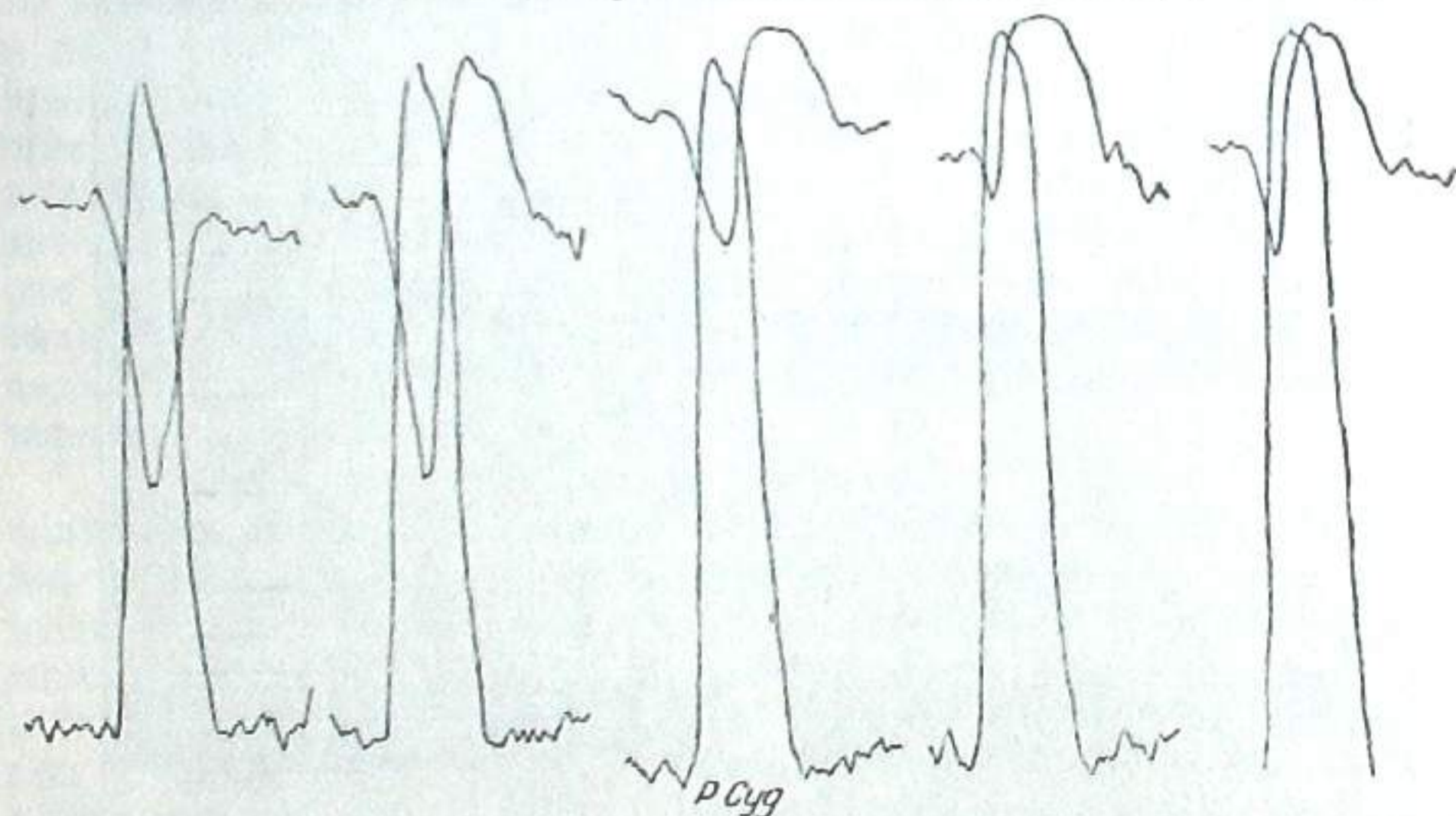


Рис. 3б

няется положение и контур соседней линии поглощения. В спектрах звезд типа *P* Лебеда встречаются случаи, когда расстояние между пиками эмиссионного и фиолетового компонентов меньше, чем сумма полуширин обоих компонентов. В таких случаях в зависимости от типа контура [8, стр. 5] искажается какой-либо из компонентов. Учет действия этого явления может существенно изменить результаты измерения положения, эквивалентных ширин и контуров линий.

Так, например, Е. К. Харадзе исправил значения лучевой скорости *P* Лебеда, полученные по фиолетовым компонентам линий [9]. Билс учел влияние фиолетового компонента на положение и эквивалентную

ширину эмиссионного компонента [8, стр. 176]. Очевидно, что в случае звезд типа *Ve*, когда эмиссионные и фиолетовые компоненты расположены рядом и кроме того составляющие эмиссионной линии имеют разные относительные интенсивности, также должно возникать искажение — например, смещение и деформация центральной линии поглощения. Оказалось, что смещение и искажение контура центральной линии поглощения действительно происходит, но направление смещения не соответствует ожидаемому. Смещение центральной линии поглощения может происходить в сторону более интенсивного компонента эмиссионной линии. Направление смещения и значение расстояний между компонентами (0.1 и 0.2 мм), при котором возникает этот эффект, указывает на наличие деформаций вследствие сжатия желатины при ее высыхании после проявления. Чтобы исследовать влияние яркой компоненты, исключив при этом эффект сжатия, мы сравнили между собой микрофотограммы, полученные до сушки лабораторных снимков.

Можно указать другой путь исследования. Он более сложен, но дает возможность, при желании, восстановить истинный контур линии поглощения. В этом случае также были использованы лабораторные спектры и соответствующие им микрофотограммы звезд типов *Ve* и *P* Лебеда. Но дополнительно строились теоретические микрофотометрические кривые сложных линий, которые затем сравнивались с имеющимися микрофотограммами соответствующих линий. Теоретические кривые строились с помощью характеристической кривой сначала как сумма интенсивности накладывающихся спектров, а затем полученные интенсивности для каждой длины волны с помощью той же характеристической кривой переводились в отбросы гальванометра. Сравнение показало, что смещение возрастает с увеличением интенсивности эмиссионного компонента и уменьшением расстояния между пиками эмиссионного и фиолетового компонентов. Смещение для данного участка спектра и выбранных значений относительных интенсивностей и расстояний имеет значения от 7 до 40 км/сек. Так как интенсивность и полуширина линий, например, водородной серии Бальмера в спектре *P* Лебеда, возрастает с уменьшением значения главного квантового числа n верхнего уровня, то поправка лучевой скорости линии поглощения должна соответственно возрастать, что при учете этого эффекта приводит к выравниванию значений лучевых скоростей для данного элемента, в нашем случае водорода [9].

В спектрах *Ve*-звезд, кроме центральной линии поглощения, которая меняет положение, ширину и глубину, могут искажаться края широкой линии поглощения. А именно, составляющие яркой линии должны, по видимому, вызвать смещение краев широкой линии поглощения. Однако, размытые края и другие «звездные» причины (вращение звезды, межзвездный эффект Штарка, пульсация вращающейся звезды (φ *Per*), вызывающие расширение линии поглощения, не дают возможности оценить величину этого искажения. При интерпретации контуров следует иметь в виду влияние рассматриваемого явления, что могло бы изменить вывод. Опыт построения теоретической микрофотометрической кривой, а также возможность исправления значения лучевой скорости компоненты сложной линии можно использовать для построения истинного контура линии. А именно, исправленное значение лучевой скорости дает положение пика, а микрофотометрический метод — возможность восстановить контур этой линии по наблюдательному сложному и неискаженному контуру другого компонента. Построение истинного контура в случае яркой линии дает возможность исправить значения бальмеровского декремента, а также температур, вычисленных по ярким линиям. При-

мером такого сравнения наблюдаемых и вычисленных по восстановленным контурам эквивалентных ширин линий может служить рассматриваемый выше случай из работы Билса [8].

Явление сжатия, как уже указывалось, мы исследовали путем сравнения микрофотограмм, полученных до и после сушки экспонированных пластинок. Лабораторные снимки воспроизводили спектры звезд типа *Ve* и *P* Лебеда. Оказалось, что смещение линии поглощения происходит в сторону интенсивной линии излучения и в случае звезд типа *Ve* достигает величины, соответствующей лучевой скорости 20 км/сек (λ 4352—4072 Å). Очевидно, что при наличии очень близко расположенных компонентов яркой линии, компоненты могут сблизиться между собой. А в том случае, когда на центральную линию поглощения дополнительно еще наложена узкая линия излучения, последняя может сместиться в сторону более интенсивной составляющей яркой линии. В реальных спектрах звезд типа *P* Лебеда явление сжатия несущественно, так как при обычно употребляемой дисперсии 11—30 Å/мм около $H\gamma$ эмиссионные и фиолетовые компоненты расположены на расстоянии ≤ 0.1 мм для тех линий балмеровской серии, для которых относительная интенсивность эмиссионного компонента очень мала и уже недостаточна для того, чтобы вызвать эффект сжатия. Влияние сжатия эмульсии, также как и влияние явления Костинского-Эберхарда, можно ослабить соответствующим подбором проявителя. Таким образом, измерение положения спектральных линий микрофотометрическим и обычными методами, а также фотометрия линий, дали возможность выяснить причины и следствия смещений и деформаций компонентов сложных линий. Оказалось, что искажения зависят от интенсивности и расстояния между компонентами спектральных линий.

Субъективную ошибку для звезды *P* Лебеда исследовал Билс [8]. На основе своих измерений щелевых спектрограмм *P* Лебеда он пришел к выводу, что измерения лучевых скоростей визуальным и микрофотометрическими методами удовлетворительно совпадают при условии одинаковой интерпретации строения спектральных линий.

В случае звезд типа *Ve* измерения могут искажаться из-за наличия в линии нескольких компонентов с разными относительными интенсивностями. Вследствие этого при наведении нити измерительного прибора на сложные линии одни составляющие могут явиться искажающим фоном для других (эффект иррадиации). Как известно, причиной такого кажущегося изменения размеров, при определенном соотношении яркости объекта и фона, являются оптические недостатки глаза (абберации), дифракционные явления в глазу и несовершенная установка глаза на рассматриваемые объекты.

Но линии в спектрах этих звезд могут иметь не только сложные, но и составные контуры, т. е. ярко выраженные ядра, наложенные на широкую линию поглощения, вторичные максимумы и минимумы интенсивностей, асимметричный вид и размытые края. Лучевые скорости асимметричных линий η Орла и δ Цефея были исправлены в работе О. А. Мельникова [11]. Измерение асимметричных линий неизбежно вносит дополнительную отрицательную скорость в измеренные лучевые скорости. Как указывается в работе [11] наблюдатель наводит нить микрометра на середину линии, а не на вершину. Полученное таким образом смещение $\Delta\lambda$ не исключается поворотом спектрограммы на 180° и яв-

ляется верхней границей ошибки, так как при слабом фиолетовом крае, нить микрометра наводят левее, т. е. ближе к красному концу.

Если измерять снимки, полученные с разными выдержками, то сложная структура линий может стать причиной неопределенного положения центра линии. Если сравнивать результаты измерения положений линий, полученные разными методами, то они совпадут только при одинаковом учете структуры линий. Причиной этого является свойство глаза запоминать впечатления, в нашем случае—очертание линии, вследствие чего в различных методах для измерений будут выбраны одни и те же детали. Очевидно, что искажения измерений должны возрасти при увеличении неопределенностей в структуре линий, а также при больших различиях в относительных интенсивностях составляющих сложных линий. Для комет подобное явление было изучено С. К. Костинским [3].

Сравнение результатов измерений лучевых скоростей звезды типа *Ve*— γ Кассиопеи визуальным и микрофотометрическими методами показало, что разница сравниваемых величин достигает 10—15 км/сек. Расстояние между фиолетовой и красной составляющими линии излучения при измерениях микрофотометрическим методом получилось меньше, чем при аналогичных измерениях визуальным методом. Здесь следует указать, что точность отсчета в микрофотометрическом методе (0.002 мм) в два раза превышала точность наведения нити измерительного прибора на спектральную линию (± 0.007 мм). Поэтому, чтобы уравнивать точность измерений, исключив при этом влияние искажений, вносимых неоднородной структурой и размытыми краями линий, мы повторили измерения по лабораторным спектрам звезд типов *Ve* и *P* Лебеда. В этом случае определялись расстояния от линии спектра сравнения до пиков интенсивности сложных линий, а также, для определения точности измерений—расстояния между линиями спектра сравнения. При наличии влияния вышеуказанного эффекта, расстояния, измеренные визуальным и микрофотометрическими методами, должны различаться, а также должна существовать зависимость между интенсивностью одного из компонентов и положением (или лучевой скоростью) другого компонента яркой линии. После сравнения результатов, полученных двумя методами, выяснилось, что в пределах ошибок измерения разные методы дают одинаковые результаты и если эффект иррадиации существует при таком отношении интенсивностей, то он должен быть по величине порядка микрона и меньше.

Для *P* Лебеда мы имели возможность сравнить между собой наши результаты определений длин волн микрофотометрическим методом с результатами визуального измерения, полученными А. А. Белопольским [12].

Спектрограммы *P* Лебеда [12] были взяты из архива А. А. Белопольского. Наблюдения этих спектрограмм производились в Пулковской обсерватории 21.IX—1.X.1899 г., на 30-ти дюймовом рефракторе с двухпризменным спектрографом. Длины волн в спектре сравнения при наших измерениях микрофотометрическим методом взяты в системе, выбранной А. А. Белопольским.

В результате сравнения мы получили лишь незначительное расхождение для эмиссионных компонентов спектральных линий. Это подтверждает вывод Билса [8]. В таблице мы приводим результаты определения лучевых скоростей фиолетового и красного компонентов эмиссионных линий γ Кассиопеи (линии $H\gamma$ и $H\beta$). Лучевые скорости вычислены в системе длин волн [Гаррисон, 1939] и определены микрофотометрическим

методом. Спектрограммы γ Кассиопеи, взятые нами, как указывалось выше, из архива Пулковской обсерватории, получены на 30-ти дюймовом рефракторе с трехпризменным спектрографом. Дисперсия равна $21.2 \text{ \AA}/\text{мм}$ около $H\beta$ и 11.2 \AA около $H\gamma$. В спектре γ Кассиопеи № 1—13 видны линии водорода $H\beta$ и $H\gamma$, имеющие сложное строение (компоненты эмиссионных линий имеют разные относительные интенсивности и разную ширину). Каждый компонент имеет несколько пиков интенсивностей. На центральную линию поглощения иногда накладывается линия излучения малой интенсивности. В спектре γ Кассиопеи № 14, кроме одиночных линий $H\beta$, $H\gamma$, $He I (\lambda 4471.48 \text{ \AA})$, присутствуют слабые раздвоенные линии излучения ионизованных металлов Si, Fe, Ti и др.

№ п. п.	№ пластинки	Дата наблюдения	Лучевая скорость (км/сек)			
			$H\gamma$		$H\beta$	
			Φ	K	Φ	K
1	1	1930 17 февраля	-61.606	+ 88.123	—	—
2	7	" 19 "	-48.346	+ 63.955	-52.107	- 3.268
3	12	" 3 марта	-33.566	+ 60.087	-44.276	-12.395
4	18	" 16 "	-53.802	+ 94.413	—	—
5	22	" 24 "	-53.042	+102.977	- 7.832	+37.123
6	23	" 24 "	-99.869	+ 79.563	-29.291	+53.402
7	25	" 28 "	-64.783	+ 62.435	- 6.537	+59.877
8	27	" 6 апреля	-62.435	+ 92.824	-50.751	- 0.678
9	33	" 14 "	-38.193	+ 63.195	-66.414	+24.728
10	35	" 24 "	-78.044	+ 58.498	-78.130	+ 2.590
11	36	" 24 "	-58.498	+104.569	-37.123	+24.718
12	38	" 29 "	-75.696	+ 88.128	-61.172	- 3.268
13	—	1931 18 мая	-131.846	+101.388	—	—
14	91	1938 8 августа	—	30.950	—	—

Как уже указывалось, за неимением целевых спектрограмм звезд типов *Be* и *P* Лебеда (рассмотренные в данной работе спектрограммы недостаточны для этой цели) мы не могли дать пример учета выявленных лабораторным способом искажений для реальных спектров. Но методика учета исследованных явлений может быть непосредственно применена к целевым спектрограммам звезд типов *Be* и *P* Лебеда. Результаты лабораторного исследования показывают, что интерпретацию контуров и выявление закономерности между лучевыми скоростями и интенсивностями спектральных линий следует проводить только после учета влияния всех эффектов. Что касается выбора наиболее удобного метода измерения положений спектральных линий, то на основе проделанной работы мы должны заключить, что в случае нестационарных звезд для этой цели гораздо удобнее пользоваться микрофотометрическим методом измерений.

В заключение выражаю глубокую благодарность проф. О. А. Мельникову за руководство работой и кандидату физ.-мат. наук И. И. Брейдо за ценные советы.

Август, 1957.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костинский С. К., Ueber die Einwirkung zweier Bilder auf einander bei astrographischen Aufnahmen. Изв. Гл. астрон. обс. АН СССР. 1907, 2, № 14, 17—28.
2. Костинский С. К., Тимофеева Л., Observations photographiques du satellite de Neptune en 1902—1903 et quelques remarques sur erreurs systématiques. Изв. Гл. астрон. обс. АН СССР. 1906, 1, № 11, 139—150.
3. Костинский С. К., Photographische Beobachtungen des Kometen 1911 c (1911 v) in Pulkowo und ihre Vergleichung mit gleichzeitigen visuellen Beobachtungen. Изв. Гл. астрон. обс. АН СССР 1934, 13, № 117, 1—9.
4. Миз К., Теория фотографического процесса. Перевод с английского под редакцией Ю. Н. Гороховского. Москва-Ленинград. Гос. техн.—теор. лит.—ры, 1949.
5. Фесенков В. Г., К вопросу об атмосферной составляющей зодиакального света. Астрон. Журн. 1956, 33, 708—766.
6. McLaughlin D. B., The spectral variations of 25 Orionis und 52 (π) Aquarii, Publ. Obs. Michigan, 1931, 4, № 3, 37—51.
7. Нунек J. A., A study of the spectroscopic variable φ Persei. Contr. Perkins Obs 1940, 2, № 14, 1—47.
8. Beals C. S., The spectra of the P Cygni stars. Publ. Domin. Astr. Obs. Victoria, 1951, 9, № 1. 1—137.
9. Харалдзе Е. К., An investigation of displacements of absorption lines in the spectrum of P Cygni in connection with their intensities and ionization potentials. Zs f Aph, 1936, 11, 304—319.
10. Копылов И. М., Спектр γ Кассиопеи в октябре 1953 г. Изв. Крым. астрофиз. Обсерв. 1954, 12, 162—168.
11. Мельников О. А., Спектрофотометрия звезд δ Цефея и η Орла и К—эффект для Цефеид. Труды Гл. астрон. обс. АН СССР, 1950, 64, 5—144.
12. Белополюский А. А., Ueber das Spectrum von P Cygni. Astr. Nachr. (1899) 1900. 151, 37. Note on the spectrum of P Cygni. Aph. J. 1899, 10, 319—320.

REMARKS CONCERNING THE SPECTRAL MEASUREMENTS OF THE *Be* AND *P* CYGNI TYPE STARS

M. V. DOLIDZE

(Summary)

It was established that a peculiar character of the spectral lines of *Be* and *P* Cygni type stars may involve some misrepresentations in measurements of spectrograms on account of photographic effects, optical imperfections and certain properties of human eye.

Photographic effects and personal measurement error were studied by means of a microphotometric method applied to the laboratory spectra which presented the imitation of the spectra of non-stable stars.

August, 1957.