

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная
астрофизическая обсерватория Российской академии наук

На правах рукописи
УДК 524.338-31.01

Саркисян Аркадий Норайрович

**Звезды высокой светимости в галактиках Туманность
Андромеды и Млечный Путь**

Специальность 01.03.02 —
«Астрофизика и звездная астрономия»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории физики звезд САО РАН
Шолухова Ольга Николаевна

Нижний Архыз — 2022

Оглавление

Стр.

Введение	4
Глава 1. Наблюдательные данные и их обработка	17
1.1 Спектральные наблюдения на телескопах БТА САО РАН и обсерватории Апачи-Пойнт	18
1.2 Архивные спектральные данные	21
1.3 Фотометрические наблюдения	22
1.3.1 Архивные фотометрические данные	24
1.4 Пакет программ для оптимальной экстракции длиннощелевых спектров SPEXTRA	25
1.4.1 Описание SPEXTRA	27
1.4.2 Начало работы с программой	28
1.4.3 Просмотр 2D-спектра и его пространственных разрезов . .	30
1.4.4 Вычитание фона	31
1.4.5 Пространственный профиль точечного источника	33
1.4.6 Экстракция апертурой	35
1.4.7 Применение SPEXTRA	36
1.5 Выводы	41
Глава 2. Спектроскопия и фотометрия звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112	43
2.1 J004051.59+403303.0	52
2.2 J004350.50+414611.4	52
2.3 J004417.10+411928.0	52
2.4 J004444.52+412804.0	53
2.5 J004526.62+415006.3	54
2.6 Var A-1	56
2.7 AE And	56
2.8 J004341.84+411112.0	56
2.9 J004411.36+413257.2	61
2.10 J004415.00+420156.2	61
2.11 J004507.65+413740.8	61

	Стр.
2.12 J004621.08+421308.2	62
2.13 MN112	62
2.14 Выводы	63
Глава 3. Спектральные распределения энергии, фундаментальные параметры и классификация звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112	64
3.1 Спектральные распределения энергии, фундаментальные параметры	64
3.1.1 Определение фундаментальных звёздных параметров	65
3.1.2 Метод оценки фундаментальных параметров для LBV звёзд	66
3.2 Классификация звезд	90
3.3 Выводы	96
Глава 4. Спектральный атлас сверхгигантов и гипергигантов O9.5–A1 в галактике Млечный Путь	98
4.1 Составление атласа и отождествление линий и полос	100
4.2 Интенсивности линий и спектральная классификация	105
4.3 Лучевые скорости и «кинематические разрезы» атмосфер	111
4.4 Выводы	116
Заключение	117
Список литературы	119
Приложение А. Графическое и табличное представление спектрального атласа сверхгигантов и гипергигантов O9.5–A1 в галактике Млечный Путь	132

Введение

Звёзды высокой светимости представляют собой весьма редкие массивные звёзды в галактиках: всего лишь около 10 звёзд с массой $20M_{\odot}$ и только одна с массой $100M_{\odot}$ приходится на миллион звёзд солнечного типа [1]. Малочисленность звёзд высокой светимости с лихвой компенсируется их огромной ролью в эволюции родительских галактик. Благодаря действию их сильных звёздных ветров и вспышек в виде сверхновых они обеспечивают большую долю механической энергии, поступающей в межзвёздную среду. Они также генерируют основную часть ультрафиолетового ионизирующего излучения в галактиках и возбуждают излучение пыли в дальнем инфракрасном диапазоне за счет её прогрева. Кроме того, массивные звёзды служат основным источником обогащения межзвёздной среды углеродом, азотом и кислородом и тем самым существенно влияют на химическую эволюцию галактик.

Классификация звёзд высокой светимости, располагающихся в самой верхней части диаграммы Гершпрунга-Рессела, существенно развилась и продвинулась вперёд за последние годы, в том числе благодаря работам Р. Хамфрис и её коллег [2–6], которые изучают такие звёзды в ближайших галактиках M31 и M33. На основании спектральных и фотометрических особенностей Р. Хамфрис и др. [3] разделили звёзды высокой светимости на:

- яркие голубые переменные звёзды,
- В[e]-сверхгиганты,
- Fe II-эмиссионные звёзды,
- тёплые гипергиганты,
- горячие и промежуточные (желтые) сверхгиганты,
- звёзды класса Of/late-WN.

Ниже дана краткая характеристика этих типов звёзд и указаны их отличительные особенности.

LBV звёзды и LBV кандидаты Яркие голубые переменные звёзды (Luminous Blue Variables, LBV) — это проэволюционировавшие нестабильные звёзды высокой светимости. В максимуме оптического блеска звезда LBV представляет собой A–F гипергигант, в минимуме — она же может показывать спектр звезды Вольфа-Райе WNLh типа, в промежуточном состоянии — имитировать

V[e]-сверхгигант. Наблюдательные проявления LBV очень разнообразны из-за наличия у них сильного звёздного ветра. На этой стадии эволюции истощаются запасы водорода в ядре звезды. При этом изменение степени ионизации наиболее обильных элементов приводит к изменению непрозрачности газа и темпа потери массы звездой. Наиболее важной и определяющей характеристикой (а также условием перевода из кандидата в подтверждённые LBV) является переменность S Dor-типа: звезда показывает непериодические изменения блеска больше 0.2^m [7] на временной шкале от нескольких лет до десятилетий с явным изменением цвета. Хотя нет общепринятой парадигмы для объяснения причины такого поведения, она должна состоять в изменении радиуса звёзды, а не зависеть от изменения поглощения за счёт пыли. В своих спектрах LBV не содержат линий [O I] 6300, 6364 Å. Некоторые из них показывают линии Fe II и [Fe II] в эмиссии. Их спектральные распределения энергии демонстрируют вклад тормозного излучения от ионизованного ветра, но в них не обнаружено инфракрасного избытка, связанного с тёплой пылью. В работе [3] было показано, что подтверждённые LBV звёзды имеют относительно низкую скорость ветра в своей горячей стадии (визуальном минимуме) по сравнению с Of/WN звёздами, которые они спектроскопически напоминают.

В своей статье Хамфрис и др. [8] делят LBV на два класса с разными начальными массами и эволюционными историями. К первому классу авторы относят классические LBV с M_{bol} между -9.7 и -11.5 , явно проэволюционировавшие из очень массивных звёзд с $M_{\text{ZAMS}} \gtrsim 50M_{\odot}$, высокая потеря массы которых не позволяет им стать красными сверхгигантами [9]. Ко второму – менее светимые звёзды с M_{bol} от -8^m до -9.5^m , которые имели начальные массы в диапазоне $\sim 25 - 40M_{\odot}$ и могут стать красными сверхгигантами.

Существуют три подхода, объясняющие эволюционный статус LBV звёзд. Первый предполагает, что это короткая промежуточная стадия в жизни звезды – переход от главной последовательности к звёздам Вольфа-Райе (WR) [10; 11]. Второй – что это конечная стадия в эволюции звезды перед взрывом сверхновой [12]. Третий – что LBV являются результатом эволюции массивных звёзд в двойных системах [13–15]. В пользу этой теории также высказываются эксперты в эволюции двойных звёзд А.В. Тутуков и А.М. Черепашук в работе [16; 17]: они считают, что обнаружение космическим телескопом им. Хаббла коллимированных джетов от LBV звезды η Car, а также открытие периодических

рентгеновских затмений у этого объекта свидетельствуют в пользу модели LBV объектов как тесных двойных систем.

В 1994 г. Хамфрис и Давидсон [10] составили список LBV звёзд: 5 – в галактике Млечный Путь и 15 – в других галактиках Местной группы, из них по четыре в галактиках М31 и М33. После этого было найдено 38 LBV звёзд и LBV кандидатов в нашей Галактике [21], 24 – в М31 и 37 – М33 [22]. Всего же к 2018 г. были обнаружены 41 LBV звезда и 108 LBV кандидатов в галактиках Местной группы [23].

В[e]-сверхгиганты Основное отличие спектров В[e]-сверхгигантов от LBV состоит в том, что они имеют эмиссионные линии [O I] 6300, 6364. Другой важной особенностью их спектров является наличие большого количества линий [Fe II], которые наблюдаются у LBV не всегда (не во всех состояниях). В недавней работе по спектроскопическому обзору эмиссионных звёзд [24] авторы обозначили излучение в линиях [O I] 6300, 6364 Å как одну из определяющих характеристик класса В[e]-сверхгигантов. Они также отметили, что дублет [Ca II] 7291, 7324 Å, являясь индикатором околзвёздного газа, также характерен для В[e]-сверхгигантов, хотя и присутствует не во всех звёздах этого класса, и чаще встречается у звёзд с большой массой. Кроме этого, спектральными признаками этих звёзд являются линии CO, наблюдаемые в инфракрасной части спектра [25].

У большинства В[e]-сверхгигантов есть значительное избыточное инфракрасное излучение из-за тёплой пыли сверх того, что можно было бы ожидать от тормозного излучения их звёздных ветров, что также служит отличительным критерием этих объектов от большинства других звёзд высокой светимости [4; 25]. При этом пыль с температурой в диапазоне 1000 – 1500 К предположительно формируется в виде кольцевой или дискообразной области (околзвёздного диска) на достаточно удалённом расстоянии от звёзды [26]. Эти отличительные особенности спектрального распределения энергии В[e]-сверхгигантов в инфракрасном диапазоне позволили разделить LBV звёзды и В[e]-сверхгиганты на диаграмме $(H - K) - (J - H)$: у В[e]-сверхгигантов величина $H - K > 0.7^m$, у звёзд LBV $H - K < 0.4^m$ [25; 27].

Связь между LBV звёздами и В[e]-сверхгигантами до сих пор неясна [25; 28], хотя эти подклассы имеют близкую светимость и схожие спектры, когда LBV находятся в горячем состоянии. Тем не менее звёзды LBV и

В[e]-сверхгиганты могут заметно различаться по своим характеристикам [29]: если LBV звёзды могут расширяться до 10 раз по размерам фотосферы и изменять блеск до трех звёздных величин, то В[e]-сверхгиганты – только до 0.2 звёздной величины. По результатам исследования звёзды высокой светимости В416 в М33, демонстрирующей признаки В[e]-сверхгиганта, С. Фабрика [29] предположил, что В[e]-сверхгиганты – это двойные звёзды, которые почти заполняют полость Роша, а LBV звёзды представляют собой одиночные или находящиеся в широких парах объекты. Позже двойственность некоторых В[e]-сверхгигантов была подтверждена в работе [30], в которой ряд таких объектов был отождествлен с двойными системами с коротким орбитальным периодом. Что касается эволюционного статуса В[e]-сверхгигантов, то большинство исследователей [3; 27; 30] склоняются к мнению, что эти проэволюционировавшие звёзды, уже сошедшие с главной последовательности, являются предшественниками красных сверхгигантов.

Fe II-эмиссионные звёзды Эту группу звёзд определяют как звёзды с голубым континуумом и спектром с сильными эмиссионными линиями водорода и наличием характерных эмиссий Fe II. Важно отметить, что у Fe II-эмиссионных звёзд отсутствуют линии поглощения и, в отличие от В[e]-сверхгигантов, нет эмиссионных линий [O I] и, как правило, линий [Fe II]. Как и В[e]-сверхгиганты, эти звёзды не показывают заметных спектральных изменений или фотометрической переменности. В большинстве случаев Fe II-звёзды имеют инфракрасный избыток в спектральном распределении энергии, который обусловлен тормозным излучением ветра и тепловым излучением пыли [3]. Учитывая наличие инфракрасного избытка и спектроскопических признаков выбросов вещества у многих из этих звёзд, Хамфрис и др. [3] предположили, что они могут представлять собой звёзды, которые прошли стадию LBV или красного сверхгиганта.

Тёплые гипергиганты В работе Массея и др. [22] предполагалось, что тёплые гипергиганты представляют собой LBV звёзды в максимуме визуального блеска. Действительно, спектрально тёплые гипергиганты напоминают LBV в яркой стадии. Однако в отличие от LBV, как было показано в работе [2], звёздный ветер у тёплых гипергигантов не является оптически толстым. Отличаясь от сверхгигантов большей светимостью, они показывают спектры с

сильной эмиссией Бальмера с широкими крыльями и профилями P Cyg, а также с эмиссионными линиями Ca II 8498, 8542, 8662 Å и [Ca II] 7291, 7324 Å. Гипергиганты окружены пылью и в результате демонстрируют сильный инфракрасный избыток излучения. Некоторые из них имеют линии [O I] и [Fe II], как у V[e]-сверхгигантов, но отличаются от них спектрами поглощения A и F-типа [2]. Гипергиганты не показывают спектральной переменности, а переменность их блеска не превышает 0.2^m (переменность типа α Cyg [31]). В работах [2; 3] предполагается, что тёплые гипергиганты — это массивные звёзды, прошедшие стадию красного сверхгиганта.

Горячие и промежуточные (жёлтые) сверхгиганты Горячие сверхгиганты представляют собой O и B звёзды, имеющие абсорбционные спектры с некоторыми эмиссионными линиями, главным образом водорода и иногда железа Fe II. Промежуточные (или жёлтые) сверхгиганты — это более холодные сверхгиганты с абсорбционными спектрами A–F, но имеющие эмиссионные линии водорода, часто с профилями P Cyg, а в некоторых случаях также эмиссию He I. Такие спектральные особенности указывают на значительные истечения вещества у этих объектов в виде звёздного ветра. При этом в работе [3] было отмечено, что скорости истечения у подтвержденных LBV звёзд были значительно ниже, чем у горячих сверхгигантов. В отличие от тёплых гипергигантов и V[e]-сверхгигантов жёлтые сверхгиганты не показывают признаков наличия пылевой оболочки — инфракрасного избытка излучения и линий Ca II и [Ca II]. Звёзды промежуточного типа или жёлтые сверхгиганты не демонстрировали спектральной переменности, и ни одна из них не имела эмиссионных линий Fe II или [Fe II]. Фотометрическая переменность жёлтых сверхгигантов также незначительна.

Звёзды класса Of/late-WN Близость классов Of/late-WN звёзд и LBV была установлена при обнаружении перехода одной из звёзд-прототипов спектрального класса Of/late-WN в Большом Магеллановом Облаке, R127 (HDE 269858), в стадию LBV звезды [32–34]. Существует и обратное соответствие: например, галактическая LBV – AG Car – демонстрирует Of/late-WN спектр в минимуме своего блеска [35]. Впоследствии широкая взаимосвязь этих двух классов подтвердилась как значительным числом Of/late-WN звёзд, оказавшихся LBV, так и множеством LBV звёзд (или кандидатов LBV) с Of/late-WN

спектрами. Среди них: He 3-591 – в нашей Галактике; HD 5980 – в Малом Магеллановом Облаке; R127, R71, HDE 269582 – в Большом Магеллановом Облаке; AF And, Var 15 – в галактике M31; Var B, Var 2, MCA-1B, V532 – в галактике M33. Более того, было даже сделано предположение, что Of/late-WN звёзды — это LBV в спокойном состоянии, а все LBV звёзды в горячем состоянии представляют собой Of/late-WN звёзды [36]. Это тем не менее не означает, что все звёзды Of/WN являются кандидатами в LBV. Они могут быть причислены к классу LBV только в случае, если проявят характерную переменность типа S Dor (например, как звезда Романо [37] из M33 [93]). Кратковременные изменения в спектрах, аналогичные обнаруженным у AF And, Var 15 и Var 2, также будут индикаторами того, что звезда Of/late-WN может быть LBV кандидатом. В статье [3] показано, что в целом Of/WN звёзды имеют более высокие скорости ветра (больше 300 км/с) по сравнению с LBV.

Как видно из приведённой характеристики различных типов звёзд высокой светимости, для их надёжной классификации требуются тщательные спектральные и фотометрические исследования в широком диапазоне длин волн, а зачастую — и длительный мониторинг исследуемых объектов. Массивные звёзды имеют тенденцию располагаться вблизи галактической плоскости, вследствие чего их изучение в нашей Галактике затруднено из-за сильного межзвёздного поглощения. Другой проблемой является невысокая точность измерения расстояний до звёзд в Галактике и, соответственно, неопределённость светимостей объектов. Поэтому близкие галактики, расстояния до которых надёжно измерены с достаточно высокой точностью, такие как Туманность Андромеды, являются ценными площадками для изучения и классификации звёзд высокой светимости.

Актуальность исследования

Звёзды высокой светимости — малочисленный, но крайне разнообразный класс объектов. Звёзды, которые начинают свою жизнь спектральными классами O и ранними B, являются прародителями сверхновых, гамма-всплесков, нейтронных звезд и черных дыр. Такие звёзды производят многие элементы тяжелее кислорода. Следовательно, можно говорить об их ключевой роли в химической эволюции межзвёздной среды и галактик: продукты ядерных реакций выносятся на поверхность и впоследствии выбрасываются в околозвёздную среду мощными звёздными ветрами и взрывами сверхновых.

В последние несколько лет произошли изменения в классификации звёзд высокой светимости, занимающих верхнюю часть диаграммы Гершпрунга-Рессела. Определяющий вклад в этой области для таких звёзд в галактиках М31 и М33 внесла Роберта Хамфрис с коллегами [2–6]. В переложенной классификации звёзды высокой светимости по спектральным и фотометрическим особенностям были разделены на: яркие голубые переменные звёзды, В[e]-сверхгиганты, звёзды с эмиссионными линиями железа FeII, тёплые гипергиганты, горячие и промежуточные сверхгиганты, Of/late-WN звёзды. Среди перечисленных классов звёзд высокой светимости особое место занимают яркие голубые переменные звёзды (Luminous Blue Variables, LBV), которые отличаются высоким отношением светимости к массе, а также значительной фотометрической и спектральной переменностью, вследствие которой они способны мимикрировать под другие типы звёзд высокой светимости. Можно сказать, что в определенной степени эти уникальные объекты являются центром, вокруг которого в настоящий момент идет изучение всех звёзд высокой светимости, поскольку неопределённость эволюционного статуса LBV звёзд и их взаимосвязи с другими типами объектов является одной из ключевых проблем теории эволюции массивных звёзд.

В этой связи изучение звёзд высокой светимости, и в особенности LBV звёзд, является актуальной задачей астрофизики. Весьма незначительное количество таких звёзд с одной стороны и широкий спектр их наблюдательных проявлений с другой определяют и важность, и сложность задачи их поиска и классификации, решаемой в данном исследовании на выборке звёзд в галактиках Туманность Андромеды и Млечный Путь.

Целью данной работы является классификация и определение фундаментальных параметров звёзд высокой светимости галактик Туманность Андромеды и Млечный Путь.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Получение фотометрического и спектрального материала кандидатов в LBV звёзды в галактике М31 на телескопе БТА САО РАН и 3.5-метровом телескопе обсерватории Апачи-Пойнт.
2. Обработка и анализ оптических и инфракрасных спектров LBV кандидатов.

3. Изучение фотометрической и спектральной переменности выбранных объектов по архивным данным наземных телескопов.
4. Разработка программного обеспечения для выделения спектров в сгущенных полях звёзд.
5. Моделирование спектральных распределений энергии всех изучаемых объектов в галактике Андромеда с целью оценки фундаментальных параметров: температуры фотосферы и болометрической светимости.
6. Составление детального спектрального атласа звёзд сверхгигантов нашей Галактики.

Научная новизна

1. Однородным методом исследовано 12 звёзд высокой светимости в галактике M31 на основе спектроскопии и фотометрии, выполненных на телескопе БТА САО РАН и 3.5-метровом телескопе обсерватории Апачи-Пойнт, и архивных данных.
2. Представлены результаты инфракрасной спектроскопии, впервые выполненной для 10 изучаемых объектов в галактике M31 и галактического LBV кандидата MN112.
3. По результатам спектроскопического и фотометрического анализа проведена классификация объектов в галактике M31 либо ее уточнение. Двум кандидатам J004526.62+415006.3, J004341.84+411112.0 присвоен статус LBV, три звезды J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 классифицированы как B[e]-сверхгиганты. Подтверждена классификация двух звёзд J004507.65+413740.8, J004621.08+421308.2 как теплых гипергигантов. Звезда J004411.36+413257.2 отнесена к типу FeII-эмиссионных звезд.
4. На основе спектроскопии и спектральных распределений энергии получены оценки фундаментальных параметров всех представленных в работе звёзд в галактике M31 и LBV кандидата MN112, в частности температуры фотосферы, болометрической светимости и межзвёздного поглощения.
5. Представлен новый метод оценки фундаментальных параметров LBV звёзд, основанный на изменении их спектрального распределения энергии при приблизительно постоянной болометрической светимости в течение цикла переменности S Dor. С помощью этого метода определены звёздные параметры для двух известных звёзд LBV Var A-1, AE And

- и двух подтвержденных LBV J004526.62+415006, J004341.84+411112.0 в двух и более различных состояниях.
6. Разработано программное обеспечение для оптимальной экстракции длинноцелевых спектров в тесных звёздных полях, объектов с налагающимися туманностями, звёзд, находящихся в условиях сильного фона.
 7. Составлен спектральный атлас девяти сверхгигантов спектральных классов от O9.5 до A1 в галактике Млечный Путь. Выявлены радиальные градиенты скорости в атмосферах изучаемых сверхгигантов. Уточнен класс светимости для двух звёзд в Галактике: звезда HD 13854 классифицирована как сверхгигант Ia, а HD 12953 – как гипергигант Ia-0.

Научная и практическая значимость

Результаты, представленные в данной диссертационной работе, имеют теоретическую и практическую ценность и могут быть использованы при исследовании звёзд высокой светимости, включая LBV звёзды, B[e]-сверхгиганты, тёплые гипергиганты и другие. Подтверждение статуса LBV двух изучаемых объектов и классификация других трёх звёзд как B[e]-сверхгигантов дополняют немногочисленные списки известных звёзд этих типов, что важно для понимания их природы, эволюционного статуса и возможной эволюционной связи между ними. Представленный в диссертации новый метод определения фундаментальных параметров LBV звёзд, основанный на изменении формы спектрального распределения энергии при сохраняющейся болометрической светимости, упрощает оценку параметров и может быть применён для изучения свойств звёзд этого типа в других галактиках. Разработанное автором программное обеспечение для экстракции длинноцелевых спектров в тесных звёздных полях позволяет значительно снизить вклад посторонних источников (туманности, фонового излучения звёзд родительской галактики) в спектр изучаемого объекта. Данная программа успешно применяется в лаборатории физики звёзд САО РАН и в других научных учреждениях для экстракции спектров звёзд высокой светимости в удаленных галактиках. Созданный спектральный атлас сверхгигантов востребован научным сообществом. Детальное описание и сопоставление спектров наглядно показывают эволюцию спектра звезды-сверхгиганта в интервале спектральных классов O9–A1. Атлас оказывает большую помощь при отождествлении спектральных линий и классификации звёзд высокой и наивысшей светимости.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Подтверждён статус LBV для двух кандидатов J004526.62+415006.3, J004341.84+411112.0 в галактике Туманность Андромеды на основе обнаруженной характерной спектральной и фотометрической переменности по данным, полученным на телескопе БТА САО РАН.
2. По результатам спектроскопического и фотометрического анализа для шести звёзд в галактике Туманность Андромеды проведена классификация объектов. Звёзды J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 классифицированы как V[e]-сверхгиганты по наличию в их спектрах характерных линий [FeII], [OI], [CaII], ^{12}CO , а также обнаруженных избытков излучения в ближнем инфракрасном диапазоне, связанных с наличием тёплой пыли. Подтверждена классификация двух звёзд J004507.65+413740.8, J004621.08+421308.2 как теплых гипергигантов. Объект J004411.36+413257.2 отнесен к типу FeII-эмиссионных звёзд.
3. Определение фундаментальных параметров (эффективные температуры, радиусы, светимости) у 8 звёзд в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 в галактике Млечный Путь на основе наблюдаемых спектральных линий и спектральных распределений энергии объектов. Определение параметров двух известных звёзд LBV Var A-1, AE And и двух подтвержденных LBV J004526.62+415006, J004341.84+411112.0 на основе нового метода оценки параметров LBV звёзд в двух и более различных состояниях. Для всех звёзд получены оценки величин межзвёздного поглощения.
4. Спектральный атлас девяти сверхгигантов (O9.5I–AI) в нашей Галактике. У каждого объекта отождествлено от 200 до 1000 линий, а также межзвёздных линий и полос, для большинства из которых измерены центральные остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости. Выявлены радиальные градиенты скорости в атмосферах изучаемых сверхгигантов. Уточнен класс светимости для двух звёзд в Галактике: звезда HD 13854 классифицирована как сверхгигант Ia, а HD 12953 – как гипергигант Ia-0.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на семинарах и конкурсе-конференции САО, российских и международных конференциях:

1. Международная конференция «European Week of Astronomy and Space Science» (EWASS 2014, symposium S7), Женева, Швейцария, 30.06-4.07.2014.
2. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 21–24.12.2015.
3. Международная конференция «Stars: from collapse to collapse», САО РАН, Нижний Архыз, 3–7.10.2016.
4. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 20–23.12.2016.
5. Международная конференция «European Week of Astronomy and Space Science» (EWASS 2017), Прага, Чешская Республика, 26-30.06.2017.
6. Всероссийская астрономическая конференция 2017 (ВАК–2017), Ялта, Крым, 17–22.09.2017.
7. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 18-21.12.2017.
8. Конкурс-конференция научных, научно-технических и научно-популярных работ САО РАН, Нижний Архыз, 7.02.2018.
9. Международная конференция «Physics of Stars and Planets: Atmospheres, Activity, Magnetic fields», Шемаха, Азербайджан, 16–20.09.2019.
10. Всероссийская конференция «Современная звездная астрономия–2019», САО РАН, Нижний Архыз, 7–11.10.2019.
11. Всероссийская конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра», ИКИ РАН, Москва, 17–20.12.2019.
12. Всероссийская конференция «Наземная астрономия в России. XXI век», САО РАН, Нижний Архыз, 21–25.09.2020.

Личный вклад. В работе [1] — обработка спектральных данных, отождествление спектральных линий сверхгигантов, обсуждение результатов наравне с соавтором. Подготовка программы наблюдений, получение наблюдательного материала на 6-м телескопе БТА САО РАН с прибором SCORPIO, его обработка и анализ, обсуждение результатов в работах [2], [3], [6], [7]. В работе [4] — написание основной части текста статьи, разработка идеи и реализация

метода экстракции спектров. В работах [2], [3] — анализ данных, разработка метода, обсуждение результатов. В работах [2], [6] — подготовка программы наблюдений, обработка и анализ спектрального материала, полученного на инфракрасном спектрографе обсерватории Апачи-Пойнт.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 9 печатных изданиях, 6 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

Публикации автора по теме диссертации

1. *Chentsov E. L., Sarkisyan A. N.* Spectral atlas of O9.5-A1-Type supergiants // *Astrophysical Bulletin*. — 2007. — Sep. — Vol. 62, no. 3. — Pp. 257–284.
2. *Sholukhova O., Bizyaev D., Fabrika S., Sarkisyan A., Malanushenko V., Valeev A.* New luminous blue variables in the Andromeda galaxy // *MNRAS*. — 2015. — Mar. — Vol. 447, no. 3. — Pp. 2459–2467.
3. *Sholukhova O., Bizyaev D., Fabrika S., Sarkisian A., Malanushenko V., Valeev A.* New Luminous Blue Variables in M31 // *Mem. Soc. Astron. Italiana*. — 2015. — Jan. — Vol. 86. — P. 354.
4. *Sarkisyan A. N., Vinokurov A. S., Solovieva Yu. N., Sholukhova O. N., Kostenkov A. E., Fabrika S. N.* SPECTRA: Optimal extraction code for long-slit spectra in crowded fields // *Astrophysical Bulletin*. — 2017. — Oct. — Vol. 72, no. 4. — Pp. 486–501.
5. *Sholukhova O. N., Fabrika S. N., Valeev A. F., Sarkisian A. N.* LBV Candidates in M31 and M33. Overview of 20 Years of the 6-m Telescope: Observations and Results // *Astrophysical Bulletin*. — 2018. — Oct. — Vol. 73, no. 4. — Pp. 413–424.
6. *Sarkisyan A., Sholukhova O., Fabrika S., Bizyaev D., Valeev A., Vinokurov A., Solovyeva Y., Kostenkov A., Malanushenko V., Nedialkov P.* Luminous blue variable candidates in M31 // *MNRAS*. — 2020. — Sep. — Vol. 497, no. 1. — Pp. 687–697.
7. *Sarkisyan A., Sholukhova O., Fabrika S., Valeev A., Valcheva A., Nedialkov P., Tatarnikov A.* Photometric and Spectroscopic Analysis of

- LBV Candidate J004341.84+411112.0 in M31 // *Research in Astronomy and Astrophysics*. — 2022. — Jan. — Vol. 22, no. 1. — P. 015022.
8. **Sarkisyan A.**, *Sholukhova O.*, *Fabrika S.*, *Valeev A.* Spectral Monitoring of the LBV Candidate J004526.62+415006.3 with the BTA // *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century* / Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, D. O. Kudryavtsev. — 2020. — Dec. — Pp. 106–107.
 9. *Sholukhova O. N.*, *Solovyeva Y. N.*, **Sarkisyan A. N.**, *Fabrika S. N.* Search for LBV Stars in the Local Volume Galaxies // *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century* / Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, D. O. Kudryavtsev. — 2020. — Dec. — Pp. 85–89.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 1 приложения. Полный объем диссертации составляет 196 страниц, включая 51 рисунок и 22 таблицы. Список литературы содержит 127 наименований.

Глава 1. Наблюдательные данные и их обработка

В данной работе исследованы 12 звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды. Эти объекты были выбраны для изучения из списка LBV подобных звезд Массея и др. [22], в котором авторы на основе данных узко- и широкополосной фотометрии и спектроскопии выделили в галактике M31 четыре LBV звезды, два объекта класса Ofpe/WN9 и 18 LBV кандидатов. За спектральную близость к одной из самых известных LBV звёзд, P Cyg, к изучаемым объектам также был добавлен LBV кандидат из Млечного Пути — MN112 [38]. Информация об объектах исследования приведена в таблице 1, в которой указаны идентификаторы (имена) объектов, их звёздные величины в фильтре V и предварительная классификация в соответствии с данными из работ, указанных в колонке «Источник». Далее в тексте работы исследуемые в работе звёзды из галактики M31, не имеющие краткого имени, будут обозначаться первой частью их идентификатора в каталоге Local Group Galaxies Survey (LGGS) [39] — JXXXXXX.XX.

Таблица 1 — Список объектов исследования в галактике Туманность Андромеды. В список также добавлена звезда нашей Галактики MN112.

Объект	V (m)	Тип объекта	Источник
J004051.59+403303.0	16.99	P Cyg LBV кандидат	[22]
AE And	17.43	LBV звезда	[22]
J004341.84+411112.0	17.55	P Cyg LBV кандидат	[22]
J004350.50+414611.4	17.70	Холодный LBV кандидат	[22]
J004411.36+413257.2	18.07	Горячий LBV кандидат	[22]
J004415.00+420156.2	18.29	Горячий LBV кандидат	[22]
J004417.10+411928.0	17.11	Горячий LBV кандидат	[22]
J004444.52+412804.0	18.07	P Cyg LBV кандидат	[22]
Var A-1	17.14	LBV звезда	[22]
J004507.65+413740.8	16.15	Холодный LBV кандидат	[22]
J004526.62+415006.3	17.16	Горячий LBV кандидат	[22]
J004621.08+421308.2	18.16	LBV кандидат	[22]
MN112	14.46	LBV кандидат	[38]

1.1 Спектральные наблюдения на телескопах БТА САО РАН и обсерватории Апачи-Пойнт

Спектры в оптическом диапазоне для всех объектов в галактике Туманность Андромеды (M31) и звезды MN112 были получены на 6-м телескопе САО РАН (Большой телескоп азимутальный, БТА) при помощи редуктора светосилы SCORPIO [40]. Наблюдения проводились в рамках программ «Массивные звёзды в близких галактиках» (заявитель – Фабрика С. Н.). В качестве приемника на SCORPIO используется ПЗС-матрица EEV CCD42-40 размером 2048×2048 пикселей. Наблюдения проводились в спектральной моде с длинной щелью шириной 1'' с помощью гризм VPHG550G, VPHG1200B, VPHG1200G, VPHG1200R. В комбинации с прибором и использовавшейся щелью эти гризмы обеспечивают покрытие следующих спектральных диапазонов с соответствующим спектральным разрешением: VPHG550G – 3500–7200 Å с разрешением 11 Å; VPHG1200G – 4000–5700 Å с разрешением 5.3 Å; VPHG1200R – 5700–7500 Å с разрешением 5.3 Å; SCO/VPHG1200B – 3600–5400 Å с разрешением 5.5 Å. Журнал наблюдений приведен в таблице 2, в которой указаны даты наблюдений, качество изображений (видимость), используемый прибор (либо комбинация прибора и гризмы).

Обработка оптических спектров проводилась в среде Interactive Data Language (IDL) по стандартным методикам обработки ПЗС-изображений и длиннощелевых спектров и включала:

- вычитание шума считывания (bias),
- удаление следов космических частиц,
- сложение отдельных экспозиций,
- исправление дисторсии вдоль пространственной координаты,
- деление на нормированное плоское поле (flat field),
- переход из пиксельных координат к длинам волн (линеаризация) с использованием спектра калибровочной лампы (He-Ne-Ar),
- переход от инструментальных единиц плотности потока к энергетическим (калибровка) с использованием спектра звезды-стандарта.

Дальнейшая экстракция спектров из предобработанных 2D-данных проводилась с помощью программы SPECTRA, специально разработанной для звезд в скученных полях (см. раздел 1.4).

Спектроскопия объектов в галактике M31 и звезды MN112 в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне была проведена на 3.5-м телескопе Astrophysical Research Consortium Telescope обсерватории Апачи-Пойнт с помощью ИК-спектрографа TripleSpec [41]. TripleSpec обеспечивает покрытие спектрального диапазона 0.95–2.46 мкм. Спектрограф оснащен ПЗС-приемником 2048×1024 пикселей с пространственным масштабом 0.39" на пиксель. Наблюдения проводились с длинной щелью шириной 1.1", в комбинации с которой спектрограф обеспечивает спектральное разрешение 3500 (около 5 Å). Информация об инфракрасных спектральных и об оптических наблюдениях, включающая даты наблюдений и видимость, приведена в таблице 2.

Обработка инфракрасных спектров проводилась в специализированном пакете программ SPEXTOOL, разработанном для редукции данных инфракрасных спектрографов и специально адаптированном для TripleSpec [42]. Учет атмосферного поглощения в ближнем ИК диапазоне при обработке спектров проводился при помощи программы XTELLCOR, использующей методику, описанную в работе [43].

Таблица 2 — Журнал спектральных наблюдений. Для каждого объекта в колонках приведены даты наблюдений, качество изображений, используемый прибор (либо комбинация прибора и гризмы). Аббревиатура «SCO» используется для обозначения редуктора светосилы SCORPIO.

Объект	Дата	Видимость (угл. сек.)	Инструмент/ Гризма
J004051.59	10.10.2012	1.0	TripleSpec
	18.09.2012	1.3	SCO/VPHG550G
	26.10.2011	1.5	SCO/VPHG1200G
	03.11.2011	1.3	SCO/VPHG1200R
J004350.50	17.10.2012	1.1	TripleSpec
	16.09.2012	1.0	SCO/VPHG550G
	04.11.2011	1.4	SCO/VPHG1200G
J004417.10	04.11.2011	1.2	SCO/VPHG1200R
	24.09.2011	1.3	TripleSpec
	16.09.2012	1.0	SCO/VPHG550G
J004444.52	26.10.2011	1.5	SCO/VPHG1200G
	03.11.2011	1.3	SCO/VPHG1200R
	28.09.2011	1.1	TripleSpec
J004444.52	19.07.2012	2.6	SCO/VPHG550G
	04.11.2011	1.3	SCO/VPHG1200G

Продолжение на следующей странице

Таблица 2 — Журнал спектральных наблюдений (*продолжение*)

Объект	Дата	Видимость (угл. сек.)	Инструмент/ Гризма
	26.01.2012	1.5	SCO/VPHG1200R
J004526.62	24.09.2011	0.9	TripleSpec
	19.07.2012	2.1	SCO/VPHG550G
	26.10.2011	1.3	SCO/VPHG1200G
	04.11.2011	1.3	SCO/VPHG1200R
Var A-1	24.09.2011	1.0	TripleSpec
	16.09.2012	1.0	SCO/VPHG550G
	26.10.2011	1.3	SCO/VPHG1200G
	04.11.2011	1.3	SCO/VPHG1200R
AE And	28.09.2011	1.2	TripleSpec
	16.09.2012	1.0	SCO/VPHG550G
	27.01.2012	2.0	SCO/VPHG1200G
	26.01.2012	1.5	SCO/VPHG1200R
J004341.84	17.10.2012	1.0	TripleSpec
	15.10.2012	1.4	SCO/VPHG550G
	16.10.2012	1.1	SCO/VPHG1200G
	25.10.2019	1.5	SCO/VPHG1200B
	25.10.2019	1.5	SCO/VPHG1200R
	28.09.2020	1.1	SCO/VPHG550G
	28.09.2020	1.1	SCO/VPHG1200G
	02.10.2021	2.2	SCO/VPHG1200B
	02.10.2021	2.2	SCO/VPHG1200R
J004411.36	07.11.2012	1.1	TripleSpec
	17.10.2012	1.2	SCO/VPHG550G
	21.10.2012	1.1	SCO/VPHG1200G
J004415.00	13.11.2012	1.1	TripleSpec
	18.10.2012	2.4	SCO/VPHG550G
	04.09.2015	1.3	SCO/VPHG550G
	22.10.2012	1.3	SCO/VPHG1200G
J004507.65	17.10.2012	1.0	TripleSpec
	14.10.2012	2.0	SCO/VPHG550G
	17.10.2012	1.3	SCO/VPHG1200G
J004621.08	13.11.2012	1.2	TripleSpec
	20.10.2012	0.9	SCO/VPHG550G
	04.09.2015	1.3	SCO/VPHG1200G
MN112	13.11.2012	1.2	TripleSpec
	16.08.2015	4.0	SCO/VPHG550G
	20.06.2009	1.4	SCO/VPHG1200G
	20.06.2009	1.4	SCO/VPHG1200R

1.2 Архивные спектральные данные

Включенные в спектральный атлас сверхгигантов в нашей Галактике (глава 4) спектры отобраны из архивов кудэ-эшелле-спектрометров 1-м телескопа САО РАН [44] и 2-м телескопа обсерватории Терскол [45]. Приборы почти идентичны по конструкции, они обеспечивают одновременную регистрацию участка спектра от 3400 до 10100 Å с разрешениями 40000 и 45000 соответственно. В период получения использованных нами спектров светоприемником служила одна и та же ПЗС-матрица 1242×1152 элемента размером 22.5×22.5 мкм каждый. Отношение сигнал-шум для отобранных спектров достигает 100, что в сочетании с указанным разрешением позволяет с удовлетворительной точностью измерять интенсивности и положения линий, описывать форму профилей и выявлять ее аномалии.

Первичная редукция ПЗС-изображений, проведенная в контексте ESHELLE системы MIDAS, включает:

- удаление следов космических частиц усреднением двух одинаковых спектров, полученных один за другим,
- вычитание фона,
- экстракцию из двумерных изображений одномерных фрагментов, соответствующих отдельным порядкам,
- построение дисперсионных кривых по спектрам лампы с полым катодом (Th+Ar) или звезды-стандарта лучевой скорости.

Окончательная обработка выполнена с помощью специализированной программы DECH [46], которая, в частности, обеспечивает:

- переход в шкалу длин волн, т.е. приведение исходных данных $I(x)$ к виду $I(\lambda)$,
- проведение континуума и редукцию массивов $I(\lambda)$ в $r(\lambda)$, т.е. переход к остаточным интенсивностям (при построении кривой $I_{cont}(\lambda)$ в некотором порядке можно опираться на близкие по форме кривые соседних порядков),
- измерение лучевых скоростей для отдельных линий путем взаимного сдвига по горизонтали прямых и зеркальных изображений их профилей до наилучшего совмещения.

Для построения и моделирования спектрального распределения энергии объекта J004415.00 в галактике M31 использовался оптический спектр, полученный 7 октября 2018 как побочный продукт программы поиска квазаров на 3.5-м телескопе обсерватории Апачи-Пойнт. Спектральные наблюдения звезды проводились при помощи спектрографа Dual Imaging Spectrograph (DIS) с решеткой 300 штрихов на мм, которая обеспечивает покрытие спектрального диапазона 5190–9850 Å со спектральным разрешением порядка 5 Å.

1.3 Фотометрические наблюдения

Оптическая фотометрия объектов в галактике M31 и звезды MN112 также проводилась при помощи редуктора светосилы SCORPIO [40] на 6-м телескопе БТА САО РАН. Масштаб изображения для SCORPIO в фотометрической моде составляет 0.36'' на пиксел при бинировании 2×2 , а поле зрения матрицы – $6' \times 6'$.

Первичная редукция фотометрических данных БТА, включающая вычитание шума считывания и деление на кадры плоского поля, полученные по сумеречному небу, проводилась при помощи соответствующих процедур в среде IRAF [47; 48]. Дальнейшие фотометрические измерения также выполнялись в IRAF методом апертурной фотометрии. Оптимальные радиусы апертур для измерения потока от объектов и кольцевых областей для определения уровня фона выбирались исходя из размера изображений звезд на кадрах (из видимости). Абсолютная калибровка результатов фотометрии для объектов производилась путем их сравнения с опорными звёздами в поле, величины которых брались из каталога Local Group Galaxies Survey (LGGS) [39; 49].

В октябре и ноябре 2016 года нам также удалось провести квази-одновременные фотометрические наблюдения объектов в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. Объекты были сняты в фотометрически ясную ночь 26 октября 2016 г. на камере NICFPS, установленной на 3.5-м телескопе обсерватории Апачи-Пойнт и оснащенной набором фильтров J , H , K_s системы МКО [50–52]. Для каждого из объектов было получено несколько экспозиций с пространственным сдвигом: 3 экспозиции по 60 с в фильтре J и 6 экспозиций по 20 с в фильтрах H и K_s . Для каждого фильтра все изображения с предварительно вычтенным темновым кадром использовались для получения

кадра плоского поля в этом фильтре путем их медианного усреднения в среде IRAF. После деления на плоское поле величины наблюдаемых звезд были оценены путем сравнения с ближайшими звездами на кадре с использованием каталога Two Micron All Sky Survey (2MASS) [53]. Спустя две недели с момента наблюдений в ближнем ИК диапазоне нам также удалось провести дополнительную оптическую фотометрию объектов на 0.5-м телескопе обсерватории Апачи-Пойнт. Наблюдения проводились в течение двух фотометрически ясных ночей 8 и 14 ноября 2016 г. при помощи широкоугольной (32 угловые минуты) камеры ARCSAT, оснащенной стандартным набором фильтров системы Джонсона-Казинса *BVRI*. Времена экспозиций составляли 3×300 с в фильтре *B* и 3×240 с в фильтрах *V*, *R* и *I*. Экспозиции получались с пространственным сдвигом. Для калибровки каждую ночь снимались стандарты Ландольта в полях SA92 и PH0220 [54], а также кадры плоского поля (flat field), темновые кадры (dark) и кадры шума считывания (bias). Вычитание шума считывания, темнового тока и деление на плоское поле выполнялись с помощью стандартных процедур IRAF [47; 48].

Кроме этого, гидрирующее устройство спектрографа TripleSpec на 3.5-м телескопе обсерватории Апачи-Пойнт позволило для ряда объектов провести фотометрию в фильтре *K* одновременно с получением их инфракрасных спектров. Звездные величины в фильтре *K* для объектов были оценены путем сравнения с пятью неизменными опорными звездами в пятиминутном поле гига с использованием данных из каталога 2MASS [53].

Более подробная информация об описанных выше фотометрических наблюдениях в оптическом и инфракрасном диапазонах (даты наблюдений, набор фильтров) для каждого из исследовавшихся объектов будет приведена в главе 2 в таблице с результатами фотометрии (таблица 3).

Для объекта J004341.84 дополнительно были проведены фотометрические наблюдения на 50/70-см телескопе Шмидта Национальной астрономической обсерватории Рожен (Болгария) (NAO Rozhen), оснащённом ПЗС камерой FLI размером 4096×4096 пикселей с пространственным масштабом $1.07''$ на пиксель. Наблюдения охватывают период 3 лет с 09 июля 2016 г. по 08 июля 2019 г. Фотометрия проводилась преимущественно в фильтрах *R* и *B* (данные в фильтре *V* получены только для семи ночей). Качество изображений варьировалось от $2''$ до $4''$ с типичным значением $2.5''$. Вычитание темновых кадров из исходных изображений и последующее их деление на кадры плоского поля производились

при помощи стандартных процедур IRAF [47;48]. Затем экспозиции за одну ночь (обычно 3×300 или 5×300 с) в каждом фильтре складывались с учетом сдвижек между кадрами. Далее выполнялась аппретурная фотометрия интересующего объекта при помощи пакета IRAF/DAOPHOT [55;56]. Для калибровки звёздных величин использовался каталог LGGS [49].

Кроме этого, для объекта J004341.84 были проведены фотометрические наблюдения в ближнем инфракрасном диапазоне с использованием камеры ASTRONIRCAM [57], установленной на 2.5-м телескопе Кавказской Горной Обсерватории (КГО) ГАИШ МГУ [58]. При наблюдениях использовался метод пространственного дизеринга со смещением телескопа на $5''$ между экспозициями. Для всех кадров был учтён темновой ток, нелинейность цифровых отсчетов и попиксельная неоднородность чувствительности. Эффективное время экспозиций в фильтрах *JHK* составило 780, 840 и 930 сек соответственно. Объекты 2MASS J00433931+4111319 и J00433889+4111202 использовались как звёзды сравнения при калибровке. Для этого их звёздные величины из каталога 2MASS [53] переводились в фотометрическую систему МКО [50–52] с использованием преобразований из работы [59].

1.3.1 Архивные фотометрические данные

Архивные фотометрические данные в работе использовались в основном для обнаружения переменности объектов и построения их спектральных распределений энергии.

Результаты оптической фотометрии сравнивались в первую очередь с данными фотометрического обзора галактик местной группы Local Group Galaxies Survey (LGGS) [39], полученными в период с октября 2000 г. по октябрь 2001 г. Для ряда звёзд были привлечены дополнительно результаты фотометрии из работ [60–64].

Данные фотометрического обзора LGGS также использовались при построении спектральных распределений энергии всех объектов в галактике M31. Для некоторых звёзд на спектральных распределениях энергии приведены результаты фотометрии, выполненной на системе телескопов Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System (Pan-STARRS) [65]. Для ряда объектов

дополнительно использовались фотометрические данные, ранее полученные другими авторами: для звёзд Var A-1 и AE And – данные *UBVRI* фотометрии за сентябрь 1976 г. из работы [66], для звезды MN112 – данные *BVI* фотометрии за апрель 2009 г. из работы [38].

Фотометрия в фильтрах *JHK* для исследуемых объектов в галактике M31 и звезды MN112 доступна по данным обзора неба в ближнем инфракрасном диапазоне Two Micron All-Sky Survey (2MASS) [67]. Для построения спектральных распределений энергии использовались данные из двух каталогов – основного (обозначенного далее как 2MASS) [68] и расширенного, в котором приведены результаты фотометрии с большей выдержкой, (2MASS-6X) [53]. Для звезды Var A-1 также использовались результаты *JHK* фотометрии, проведенной в ноябре 1980 г. [66].

Для построения кривой блеска объекта J004341.84 в дополнение к данным БТА и обсерватории NAO Rozhen были использованы данные фотометрического каталога Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System (Pan-STARRS) [65] и фотометрия из работы Мартина и Хамфрис [69]. При этом для перевода звёздных величин каталога Pan-STARRS в систему Джонсона-Казинса были использованы формулы перехода из работы [70].

1.4 Пакет программ для оптимальной экстракции длиннощелевых спектров SPEXTRA

Спектроскопия — один из ключевых методов при изучении астрофизических объектов. Однако во многих случаях редукция спектральных данных является непростой задачей. Представляющие для нас особый интерес объекты, такие как звёзды LBV, B[e]-сверхгиганты и другие звёзды высокой светимости в близких галактиках, как правило, находятся в скученных полях. В таких наблюдениях на щели спектрографа может оказаться несколько звёзд на расстоянии нескольких угловых секунд одна от другой, а величины исследуемых объектов чаще всего не превосходят 18^m . В тесных звёздных полях, особенно в галактиках с повышенным звездообразованием, почти всегда имеются H II области. Звёзды часто окружены туманностями и наблюдаются на фоне галактики, при этом фон может составлять около 20 звёздной величины на квадратную

секунду дуги (background dominated). Важно, что ранняя массивная звезда и сама может сформировать туманность. LBV звёзды, WR звёзды, OB звёзды в молодых звёздных скоплениях почти всегда формируют окружающие туманности. Такие туманности могут иметь асимметричную форму или, в зависимости от степени ионизации окружающего газа, их линии (например, линии водорода, [O III] 4959, 5007 Å, He II 4686 Å, многочисленные линии He I, [N II] 6548, 6583 Å, [S II] 6716, 6730 Å) могут быть разной интенсивности в разных направлениях. Для наиболее полного и достоверного анализа наблюдательных данных во всех этих случаях необходима соответствующая процедура редукции.

Методика оптимальной экстракции спектров одиночных объектов, которая обеспечивает максимальное отношение сигнал–шум, была предложена К. Хорном в 1986 г. [71]. В основе методики лежит идея использования вместо простого суммирования сигнала при апертурной экстракции взвешенное суммирование с учетом доли полезного (принадлежащего объекту) сигнала. Это можно сделать, зная пространственный профиль объекта. При этом, как показано в упомянутой статье, процедура взвешенного суммирования с учетом профиля эквивалентна его вписыванию в двухмерный спектр (2D-спектр). Вариации методики [71] в основном состоят в способе определения пространственного профиля объекта. Существуют два основных подхода: определение профиля по пространственным разрезам самого спектра либо использование аналитического профиля. Первый способ хорош тем, что позволяет получать профиль, не делая априорных предположений о его форме. Однако, очевидно, он не применим в случае наложения сигналов объектов в тесных группах.

Экстракция спектров была также описана в статье Буйе и Гранди [72], где предполагалась экстракция спектров одиночных звёзд по данным космического телескопа им. Хаббла (HST). Однако этот метод не пригоден для редукции наземных наблюдений (ground-based), при которых размер изображений звезд может заметно меняться. Проблема экстракции спектров в тесных звёздных полях была рассмотрена Хайнсом [73]. В основе предложенной методики лежит идея оптимальной экстракции спектра одиночной звезды Хорна [71], расширенная на случай налагающихся объектов.

С использованием принципов оптимальной экстракции, изложенных в работах [71; 73], была разработана программа с графическим интерфейсом, в которой могут быть осуществлены все основные процедуры экстракции спек-

тров в длинноцелевой спектроскопии, в том числе в случае тесных звёздных полей. Код также применим для учета вклада линий окружающих туманностей.

Описание пакета программ SPEXTRA и его основных возможностей дано ниже, где детально рассмотрены все ключевые параметры и этапы экстракции спектров. Также представлены результаты использования пакета для редукции спектра LBV кандидата J004056.10+410308.7, окружённого туманностью.

1.4.1 Описание SPEXTRA

Программный пакет с графическим интерфейсом SPEXTRA (сокращение от SPectrum EXTRAction) написан на языке Interactive Data Language (IDL) и позволяет проводить экстракцию одномерных спектров из 2D-спектров в тесных звёздных полях. Предполагается, что исходные спектры прошли первичную обработку: вычитание электронной подложки (bias), исправление плоского поля (flat field), удаление следов космических частиц, исправление дисторсии (по крайней мере вдоль пространственной координаты). При этом линеаризация или калибровка по потоку не обязательны. Программа разрабатывалась для экстракции налагающихся спектров точечных объектов. Тем не менее она может быть применена и в случае других источников, пространственный профиль которых хорошо аппроксимируется функцией Гаусса, например, для звёздных скоплений и ассоциаций, которые не разрешаются на отдельные звёзды на исходном изображении.

Основные возможности программы:

- экстракция апертурой;
- оптимальная экстракция (с аппроксимацией пространственного профиля функцией Гаусса);
- экстракция спектров двух и более, в том числе накладывающихся друг на друга, объектов;
- визуализация данных и параметров экстракции;
- контроль корректности результатов экстракции;
- одновременная экстракция с различными параметрами вычитания фона для учета вклада туманностей;
- сглаживание спектра перед экстракцией.

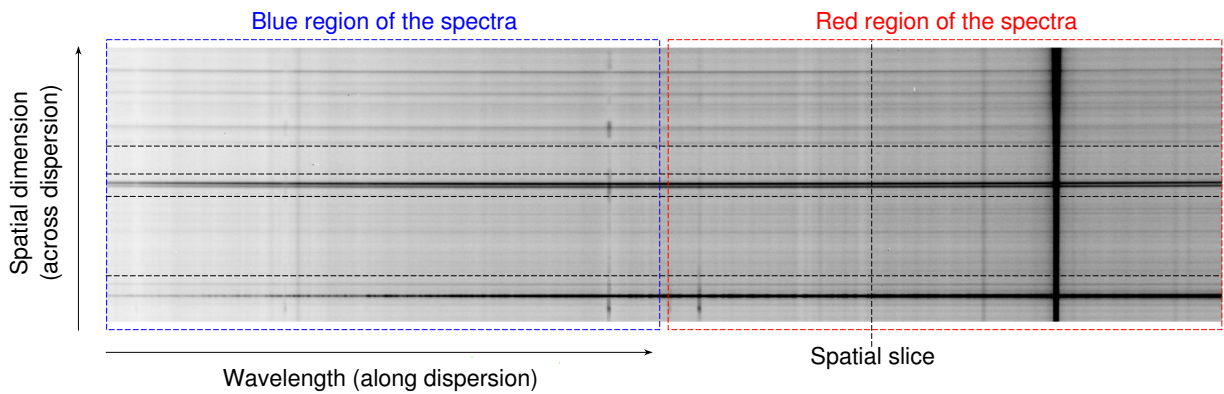


Рисунок 1.1 — Пример длиннощелевого 2D-спектра. Вертикальной стрелкой показана пространственная координата (поперек дисперсии). Горизонтальной стрелкой показана координата длин волн (вдоль дисперсии). Синим (левым) и красным (правым) пунктирными прямоугольниками показана синяя и красная область спектра, которые используются для построения усредненных пространственных разрезов спектра в программе (см. раздел 1.4.3 и рисунок 1.2). Вертикальной пунктирной линией показано положение произвольного пространственного разреза спектра. Горизонтальными пунктирными линиями показана область спектра, используемая для аппроксимации фона (см. раздел 1.4.4).

Особо отметим, что помимо расширенного функционала, основным преимуществом и отличием от существующих программ для экстракции спектров, таких как MIDAS [74] и IRAF [47; 48], является наличие у SPEXTRA интуитивно понятного графического интерфейса и удобной системы визуализации данных и параметров экстракции.

1.4.2 Начало работы с программой

При запуске SPEXTRA отрывается основное окно программы, которое представлено на рисунке 1.2. Оно содержит следующие элементы интерфейса: меню «File» для загрузки исходного файла со спектром; кнопки: «View 2D/Add slice» — для вызова окна просмотра 2D-спектра и добавления пространственных (поперек дисперсии) разрезов спектра (см. раздел 1.4.3), «Background» — для задания параметров вычитания фона (см. раздел 1.4.4), «Extraction option» —

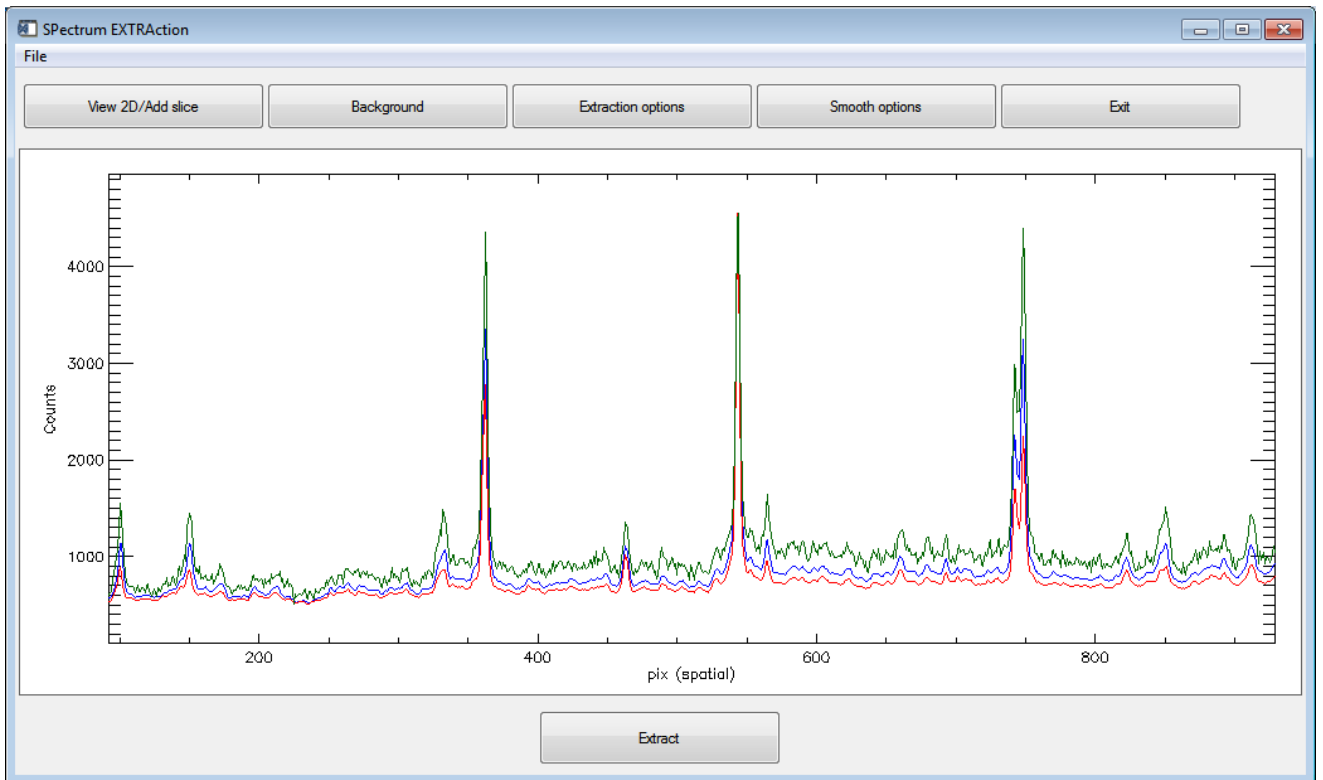


Рисунок 1.2 — Фрагмент основного окна программы. В графическом окне отображены: (синей и красной) линиями 1 и 2 — два усредненных пространственных разреза спектра для синей и красной области соответственно, (зеленой) линией 3 — пространственный разрез шириной 1 пиксель (1 столбец вдоль дисперсии).

для задания параметров экстракции (см. разделы 1.4.4, 1.4.6), «Exit» — для выхода из программы, «Extract» — для запуска экстракции; графическое окно для отображения пространственных разрезов спектра, профилей объектов, визуализации параметров экстракции (вычитания фона, апертуры и др.).

Работа с программой начинается с загрузки исходного 2D-спектра в формате FITS [75]. При открытии FITS-файла в основном окне программы отображаются два усредненных пространственных разреза спектра для синей и красной области (предполагается, что начало спектра соответствует коротким длинам волн). Усреднение производится вдоль дисперсии по первой половине пространственных столбцов (синяя область) для первого разреза и по второй половине пространственных столбцов (красная область) для второго (см. рисунок 1.1). Эти разрезы дают информацию о положении объектов вдоль пространственной координаты, возможных геометрических искажениях и изменении спектра вдоль оси длин волн и позволяют в дальнейшем определить параметры фона и пространственного профиля точечного источника.

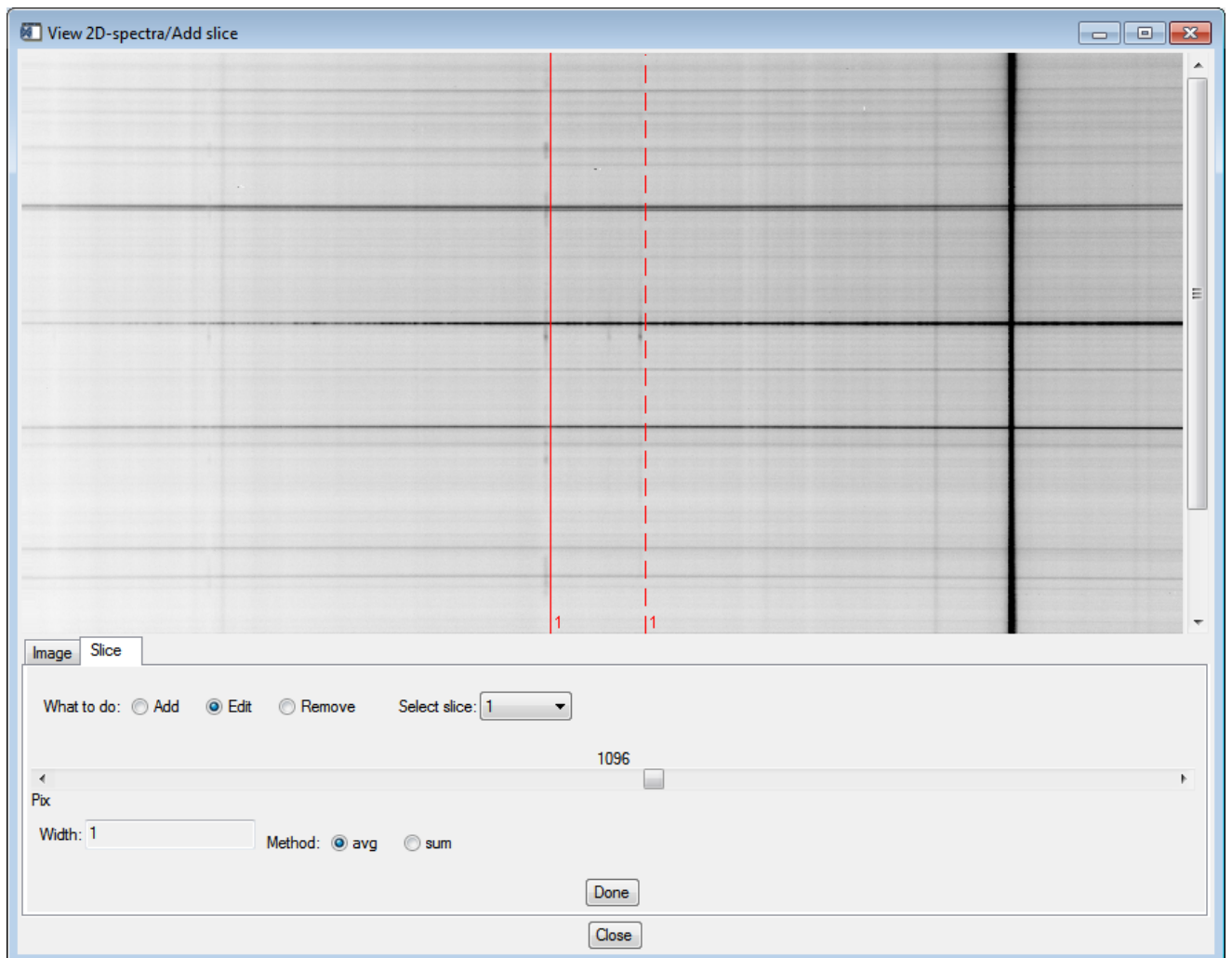


Рисунок 1.3 — Окно просмотра 2D-спектра и добавления пространственного разреза, вкладка добавления пространственного разреза. В графическом окне, отображающем 2D-спектр, вертикальными (красными) линиями показано положение двух заданных пользователем пространственных разрезов.

1.4.3 Просмотр 2D-спектра и его пространственных разрезов

В программе имеется возможность просмотреть исходный 2D-спектр. Кроме этого, окно просмотра 2D-спектра позволяет добавить для рассмотрения дополнительные пространственные разрезы спектра (например, в линиях туманности), указав положение разрезов и их ширину для усреднения. При добавлении пространственных разрезов их положение на спектре отображается в окне просмотра 2D-спектра, а сами разрезы отображаются в основном окне программы (см. рисунок 1.2).

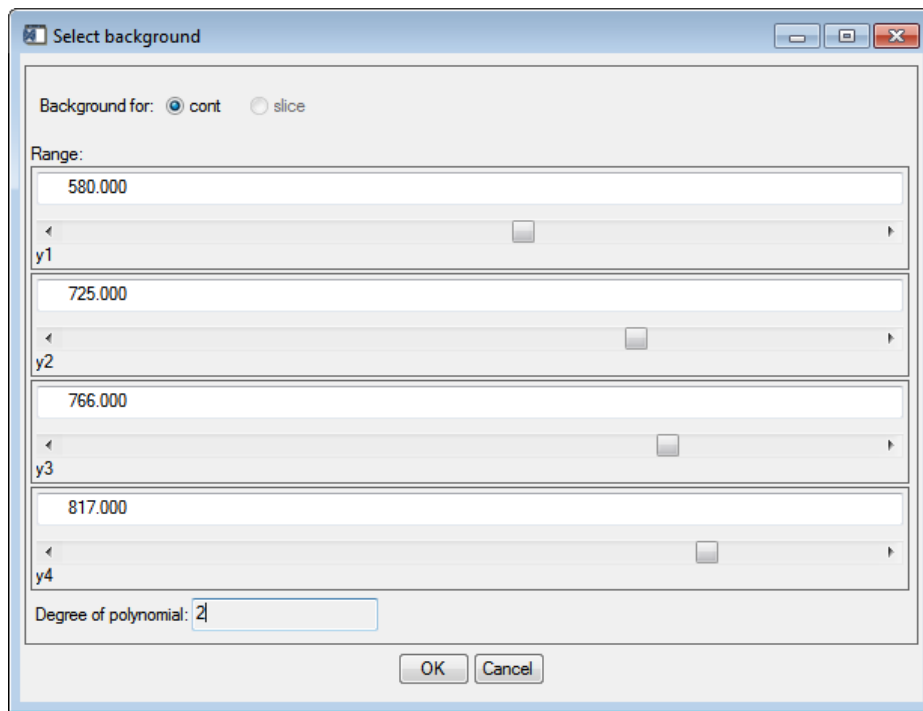


Рисунок 1.4 — Окно выбора параметров вычитания фона

1.4.4 Вычитание фона

Следующим этапом экстракции является учет вклада фона. Для вычитания фона применяется та же методика, что в работах [71; 73]: в каждом пространственном столбце фон аппроксимируется полиномом заданной степени, полученная аппроксимация интерполируется на область соответствующую объекту и результат вычитается из спектра. Регионы изображения, выбираемые для аппроксимации фона и степень полинома задаются в окне выбора параметров фона (рисунок 1.4). Визуализации в основном окне программы пространственных разрезов 2D-спектра (см. рисунок 1.5), выбранных для аппроксимации фона областей и линий, аппроксимирующих фон с заданной степенью полинома, позволяет оптимально подобрать параметры для вычитания фона. Кроме того, в программе есть возможность индивидуально выбрать параметры учета фона для каждого из определенных ранее пространственных разрезов. В этом случае производится дополнительная экстракция спектра с вычитанием фона, определенного по этим индивидуальным параметрам, что позволяет в частности учитывать вклад в спектр от окружающей туманности.

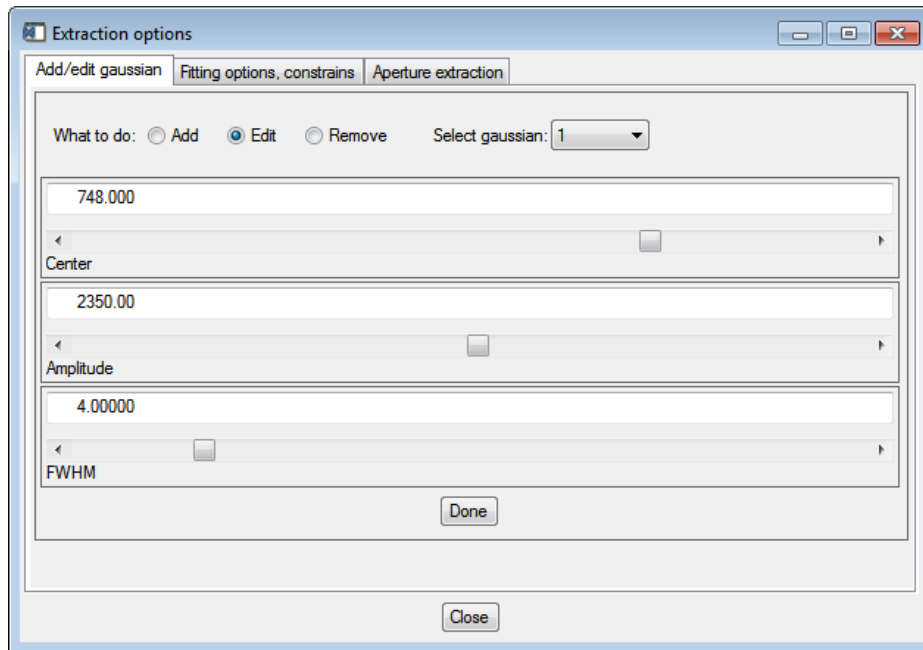


Рисунок 1.6 — Окно выбора параметров экстракции, вкладка для определения начальных параметров профиля объекта.

1.4.5 Пространственный профиль точечного источника

Одним из ключевых моментов методики оптимальной экстракции является этап определения пространственного профиля точечного источника. Мы используем аналитическую модель профиля на основе функции Гаусса. Сначала с использованием пространственных разрезов 2D-спектра, выбираются начальные параметры профиля (см. рисунки 1.5, 1.6): центр, полуширина (FWHM — full width at half maximum) и амплитуда гауссианы. Эти параметры затем используются как нулевое приближение для аппроксимации по-пиксельных пространственных разрезов спектра. Полученные в результате такой аппроксимации параметры ширины и центра гауссиан определяют профиль в каждом пространственном столбце.

На вкладке «Fitting option, constraints» (рисунок 1.7) в разделе «Constraints for profile parameters values» можно наложить ограничения на параметры гауссиан (центр и FWHM) при аппроксимации пространственных разрезов. Здесь для каждого из параметров профиля содержится группа элементов интерфейса для наложения ограничений на параметры при вписывании профиля в по-пиксельные пространственные разрезы спектра. Ограничения задаются в виде диапазона допустимых значений параметров. В случае двух

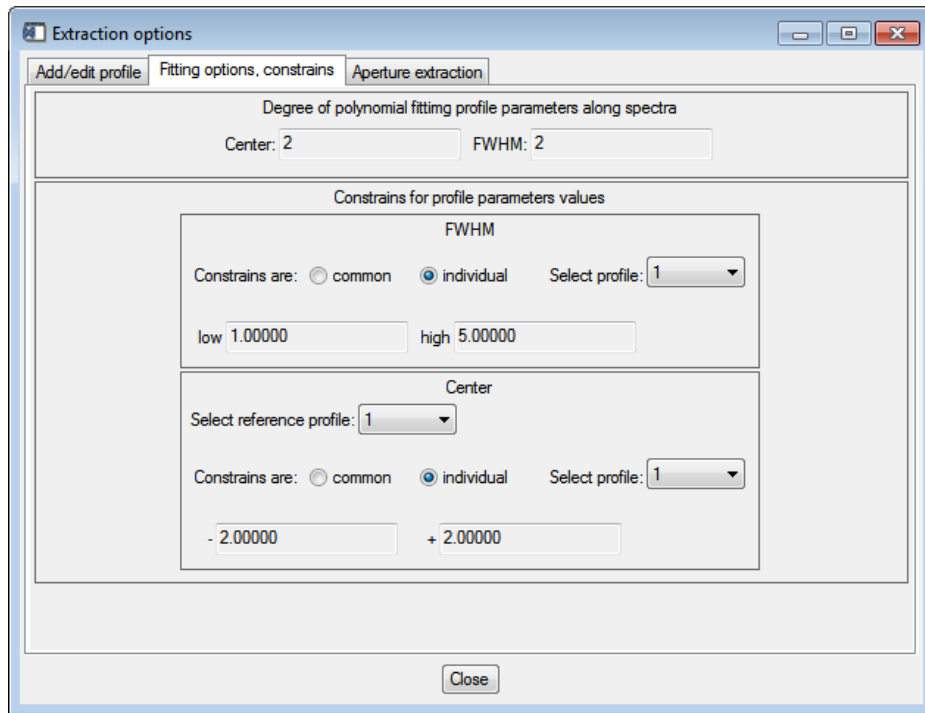


Рисунок 1.7 — Окно выбора параметров экстракции, вкладка для определения параметров аппроксимации профиля PSF.

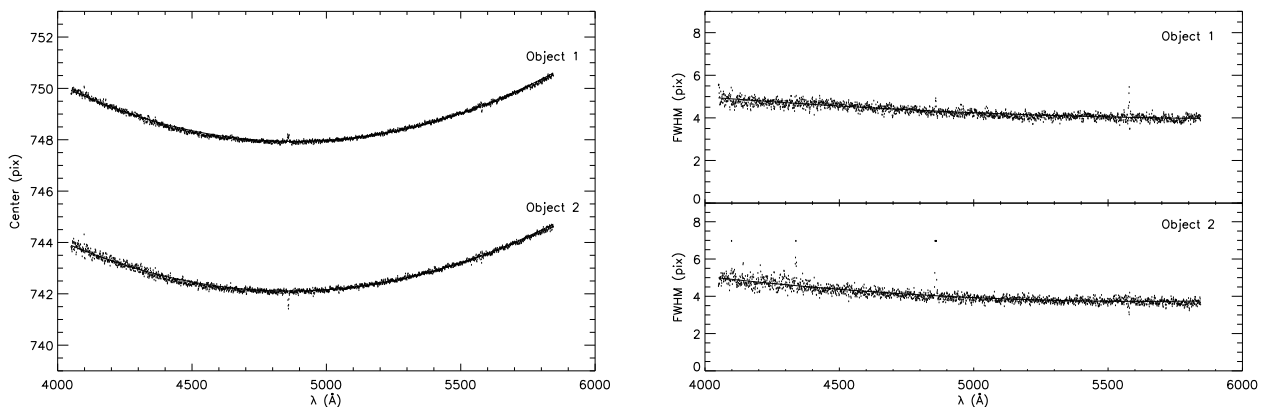


Рисунок 1.8 — Зависимости центра (справа) и FWHM (слева) гауссиан от длины волны. Точками показаны параметры, полученные при вписывании гауссианы в профиль объекта для каждого пространственного столбца, линиями — аппроксимация зависимости параметров от длины волны полиномом второй степени.

и более объектов ограничения можно задать индивидуально для каждого профиля.

Вследствие геометрических искажений кадра 2D-спектра возможно смещение и уширение профиля объекта с изменением длины волны. Тем не менее изменение параметров FWHM и центра профиля с длиной волны должно быть плавным. Поэтому для его учета строятся «треки» для FWHM и центров гауссиан – аппроксимация зависимостей этих параметров от длины волны (положения

вдоль дисперсии) полиномами низших степеней. Степени полинома можно задать в специальном поле для ввода (см. рисунок 1.7).

Полученные таким образом степенные зависимости параметров гауссиан представляют собой пространственный профиль для каждого объекта, зависящий от длины волны. Для контроля процесса построения профиля его результаты записываются в виде рисунков в рабочей директории. Примеры таких «треков» представлены на рисунке 1.8.

Стоит отметить, что в текущей версии реализован вариант экстракции 2D-спектров, в котором пространственный профиль конструируется на основе функции Гаусса. В зависимости от комбинации телескопа и спектрографа профиль точечного источника может иметь разную интенсивность в крыльях. Для учета такого рассеяния в дальнейшем пакет будет дополняться возможностью определения профиля объекта на основе функции Моффата [76].

1.4.6 Экстракция апертурой

Помимо оптимальной экстракции программа позволяет произвести апертурную экстракцию спектра. Эта возможность реализована в виде дополнительной опции. При этом апертурная экстракция выполняется на основе результатов построения пространственного профиля для оптимальной экстракции: в качестве центра апертуры используется центр профиля, а ширину апертуры можно задать в относительных единицах ширины профиля. Поскольку пространственный профиль объекта строится с учетом зависимости от длины волны, то привязка параметров апертуры к параметрам профиля позволяет учесть геометрические искажения 2D-спектра вдоль дисперсии при экстракции апертурой.

Для активации опции апертурной экстракции и для задания ее параметров в программе используется вкладка «Aperture extraction» окна выбора параметров экстракции (см. рисунок 1.9). Здесь можно задать ширину апертуры и в каких единицах она будет браться – в относительных единицах ширины профиля (количество σ) либо в абсолютных (число пикселей или секунд дуги). В случае экстракции двух и более объектов параметры ширины апертуры можно задать индивидуально для каждого из них. Кроме этого предусмотрена

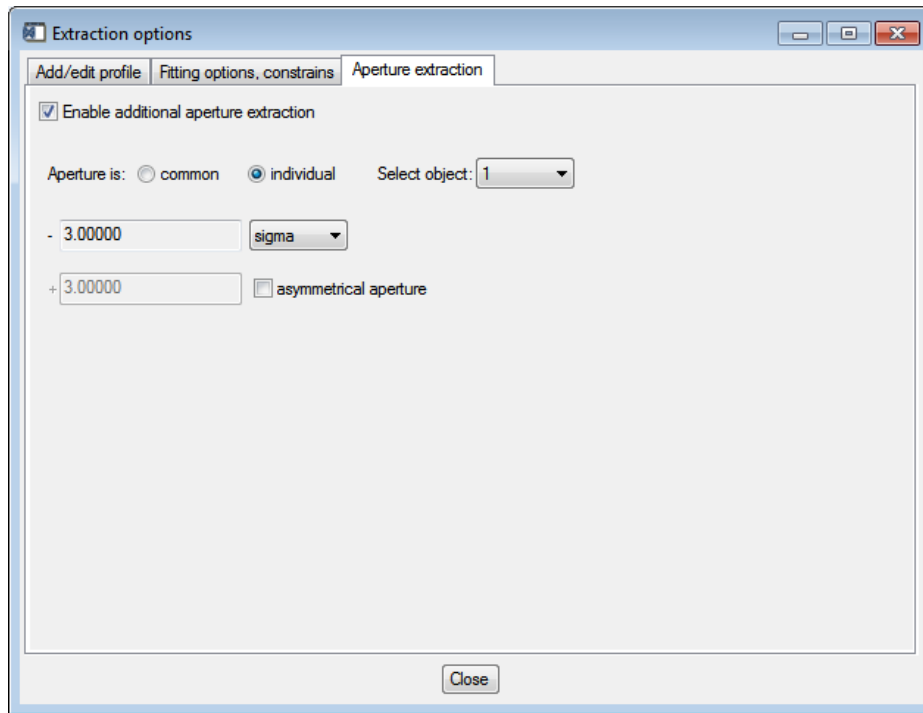


Рисунок 1.9 — Окно выбора параметров экстракции, вкладка для определения параметров апертурной экстракции.

возможность задания ассиметричной апертуры (с разными границами относительно центра профиля).

Выбранная апертура для наилучшего подбора ее параметров отображается в основном окне программы в соотношении с пространственными разрезами (рисунок 1.5). Заметим однако, что поскольку апертура задается на основе параметров профиля (в частности относительно центра профиля), а на данном этапе пространственный профиль объекта еще не определен точно, то апертура в окне отображается с использованием параметров, введенных пользователем в качестве начального приближения для аппроксимации пространственного профиля (см. раздел 1.4.5).

1.4.7 Применение SPEXTRA

Как уже упоминалось в разделе 1.1, программный пакет SPEXTRA был использован для экстракции всех оптических спектров объектов в галактике M 31 и звезды MN112. Кроме этого, программа широко используется для редукции спектров звёзд высокой светимости в галактиках Местного объ-

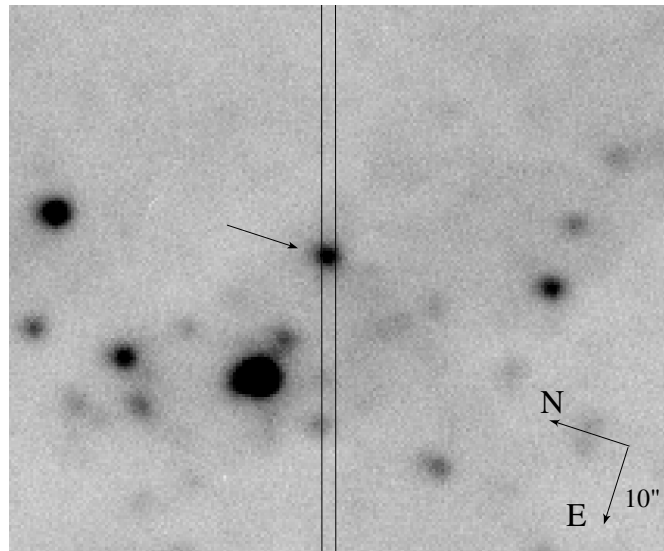


Рисунок 1.10 — Изображение объекта J004056.10+410308.7 в фильтре V с указанием положения щели ($1''$) при получении его спектра. Объект указан стрелкой.

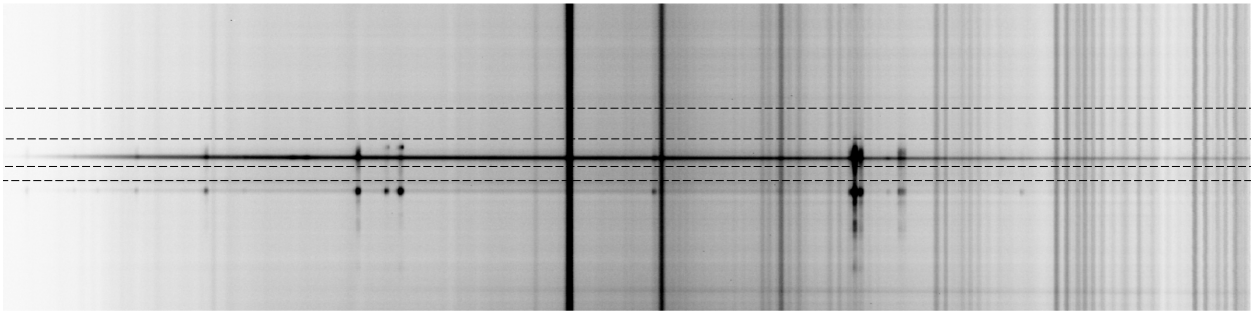


Рисунок 1.11 — 2D-спектр объекта J004056.10+410308.7. Пунктирными линиями показана область спектра, используемая для аппроксимации фона.

ема [77–79] и спектров оптических двойников ультраярких рентгеновских источников [80; 81]. Ниже на примере кандидата в LBV звезды в галактике M31 J004056.10+410308.7 (см. рисунок 1.10) демонстрируются возможности SPECTRA по извлечению спектра объекта, окруженного туманностью.

Спектральные наблюдения для объекта были проведены на телескопе БТА САО РАН 18 октября 2012 года по программе «Массивные звёзды в близких галактиках». Использовался редуктор светосилы SCORPIO и гризма 550G (3640–7800 Å). Было получено два спектра с экспозицией 1200 секунд. Спектральное разрешение составляло 11 Å, щель имела ширину $1''$, размер изображений – около $2''$.

Перед экстракцией одномерных спектров объектов проводилась стандартная обработка спектральных данных, включающая вычитание bias, деление на плоское поле, удаление следов космических частиц, сложение отдельных экс-

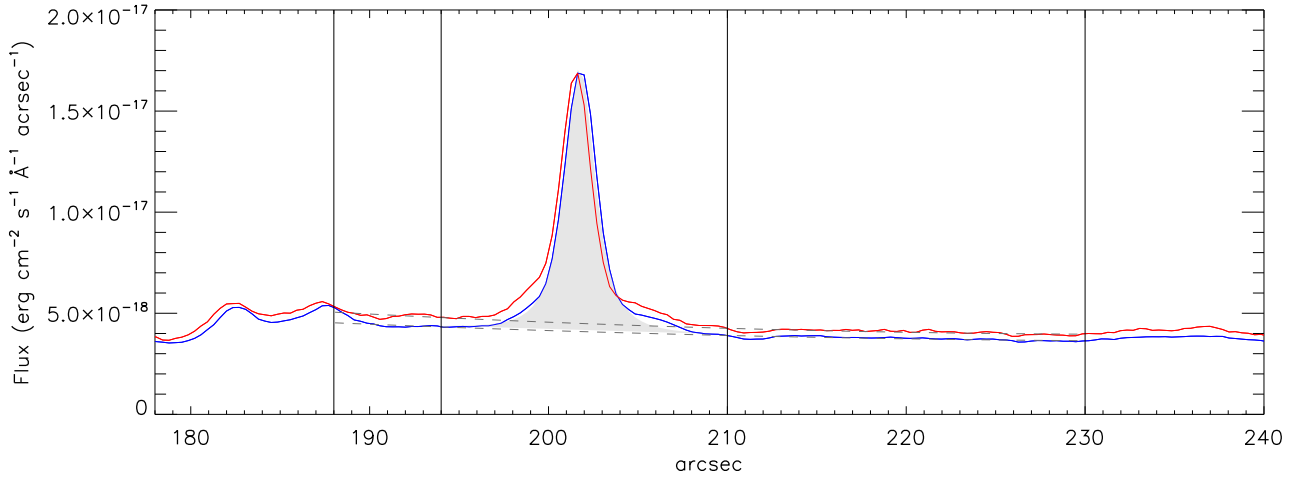


Рисунок 1.12 — Фрагмент основного окна программы при определении параметров экстракции спектра объекта J004056.10+410308.7. Синяя и красная линии (1 и 2) — усредненные пространственные разрезы 2D-спектра объекта. Вертикальные линии — выбранные границы области спектра для аппроксимации фона. Штриховые линии — аппроксимация фона в пространственных разрезах полиномом заданной (второй) степени. Серой заливкой отображен профиль Гаусса с начальными параметрами для аппроксимации профиля объекта.

позиций, линейризацию спектров, учет атмосферного поглощения и переход от инструментальных единиц плотности потока к энергетическим. Пространственная координата переведена из пикселов в секунды.

На рисунке 1.10 видно наличие около звезды яркой туманности. На двумерном спектре (рисунок 1.11) видно, что в спектре туманности присутствуют линии разного возбуждения: $H\alpha$, $[O\ III]$, $[S\ II]$, которые накладываются на спектр звезды и требуют корректного вычитания. Продемонстрируем возможности программы для учета вклада туманности и рассмотрим три варианта вычитания фона, реализованных при экстракции спектра объекта.

Первый вариант — вычитание фона без учета эмиссионных линий туманности. На рисунке 1.12 представлен разрез 2D-спектра вдоль пространственной оси. Для аппроксимации фона выбирались две области шириной $6''$ и $20''$ с двух сторон от объекта на расстоянии примерно $8''$ (см. рисунки 1.11 и 1.12). Фон аппроксимировался полиномом второй степени. При экстракции спектра J004056.10+410308.7 пространственный профиль объекта аппроксимировался одной функцией Гаусса с начальными параметрами: центр — $202''$, амплитуда — 1.31×10^{-17} эрг/(с · см² · Å · угл. сек), FWHM — $2''$.

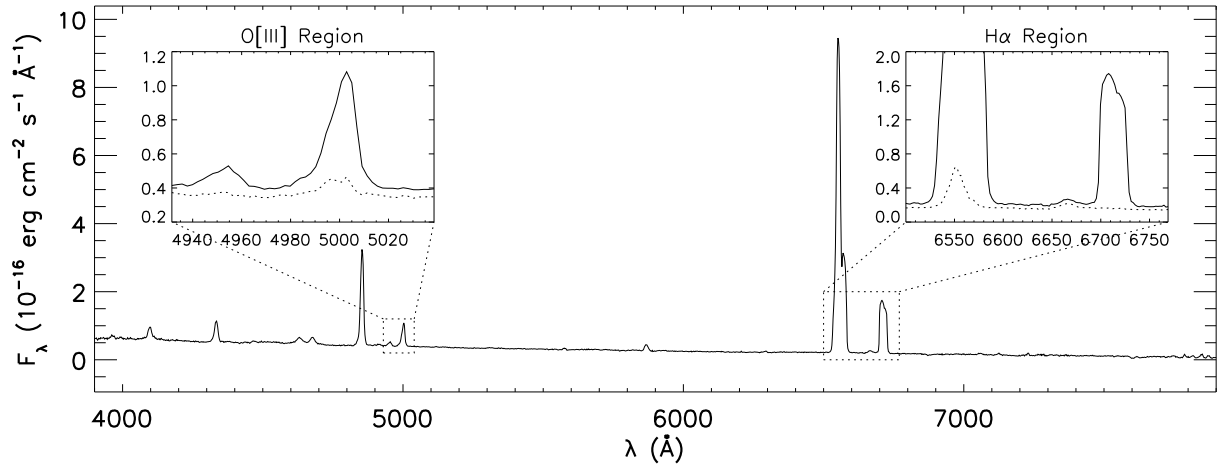


Рисунок 1.13 — Результаты экстракции спектра объекта J004056.10+410308.7. Сплошной линией изображен спектр, фон для которого был взят без учёта линий туманности. На левой врезке изображена область линий [O III] 4959, 5007 Å. Пунктирной линией на левой врезке показан спектр, фон для которого взят с учетом разреза в линии [O III]. На правой врезке изображена область линии H α . Пунктирной линией на правой врезке показан спектр, фон для которого взят с учётом разреза в линии H α .

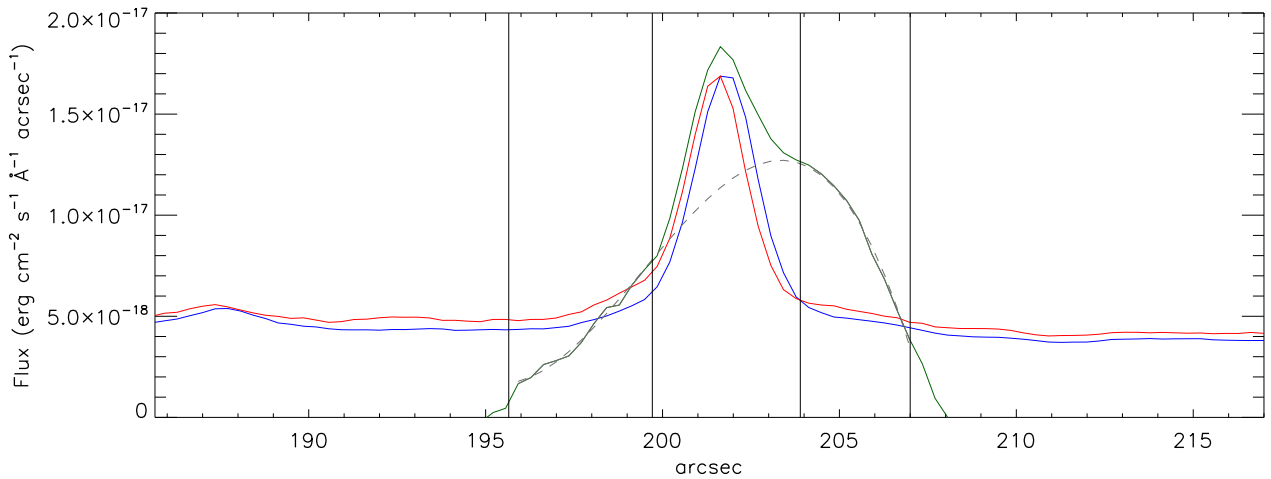


Рисунок 1.14 — Фрагмент основного окна программы при определении параметров вычитания фона для объекта J004056.10+410308.7 в случае вычитания вклада туманности в линии H α . Синяя и красная линии (1 и 2) — усредненные пространственные разрезы 2D-спектра объекта. Зеленая линия (3) — разрез двумерного спектра поперек дисперсии в линии H α . Вертикальные линии — выбранные границы для аппроксимации фона в разрезе в линии H α . Штриховая линия — аппроксимация фона в разрезе в линии H α полиномом заданной (третьей) степени.

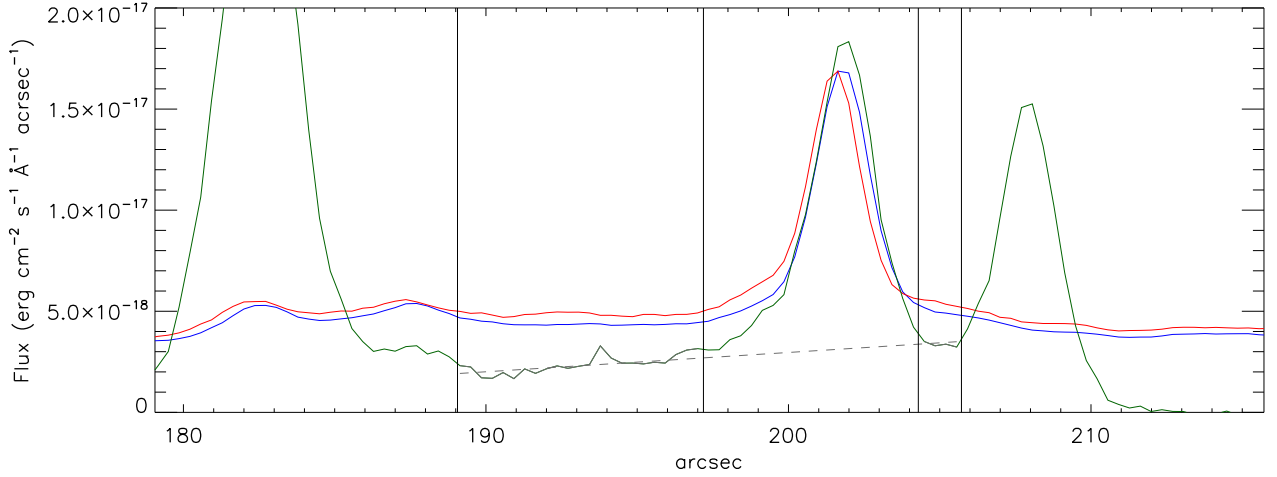


Рисунок 1.15 — Фрагмент основного окна программы при определении параметров вычитания фона для объекта J004056.10+410308.7 в случае вычитания вклада туманности в линии [O III] 5007 Å. Синяя и красная линии (1 и 2) — усредненные пространственные разрезы 2D-спектра объекта. Зеленая линия (3) — разрез двумерного спектра поперек дисперсии в линии [O III] 5007 Å. Вертикальные линии — выбранные границы для аппроксимации фона в разрезе в линии [O III] 5007 Å. Штриховая линия — аппроксимация фона в разрезе в линии [O III] 5007 Å полиномом заданной (первой) степени.

Результирующий одномерный спектр объекта представлен на рисунке 1.13 сплошной линией. В спектре виды линии водорода бальмеровской серии, а также линии He I 5876, 6678 Å. Узкие компоненты линий водорода, [N II] 6548, 6583 Å, [S II] 6716, 6730 Å и линии кислорода [O III] 4959, 5007 Å принадлежат окружающей туманности. Широкие компоненты линий формируются в звезде.

Следующий вариант вычитания фона предполагает учет выбранной эмиссионной линии. Мы взяли для примера линию H α и сделали разрез поперек дисперсии по 3 пикселям (9.3 Å). На рисунке 1.14 представлен разрез 2D-спектра вдоль пространственной оси в линии H α . Фон выбирался с двух сторон от спектра объекта в областях шириной 5'' и 3'' на расстоянии примерно 2–3''. В данном случае фон аппроксимировался полиномом третьей степени. Результирующий одномерный спектр объекта представлен на рисунке 1.13 пунктирной линией во врезке, отображающей область линии H α . Видно, что туманность, излучающая в узких линиях H α , [N II], [S II], практически полностью вычтена из спектра. Осталась только широкая линия H α (FWHM=12.8 Å), принадлежащая самой звезде.

Еще один вариант вычитания фона мы использовали для линии [O III] 5007 Å, также эмиссионной линии, принадлежащей окружающей туманности. Мы сделали разрез этой линии поперек дисперсии по 3 пикселям (9.3 Å). На рисунке 1.15 представлен разрез 2D-спектра вдоль пространственной оси в линии [O III] 5007 Å. В данном случае границы фона выбирались равными 188–197, 204–206, а для аппроксимации фона использовался полином первой степени. Результирующий одномерный спектр объекта представлен на рисунке 1.13 пунктирной линией во врезке, отображающей область линии [O III] 5007 Å. Здесь видно, что туманность, излучающую в узких линиях [O III], удалось практически полностью вычесть из спектра. Отметим, что различие в уровне континуума между разными вариантами учета фона объясняется тем, что в случае вычитания фона для линий частично вычитаются крылья спектра объекта.

1.5 Выводы

В данной главе описаны проводившиеся в рамках выполнения работы спектральные и фотометрические наблюдения изучаемых объектов на телескопах БТА САО РАН, обсерватории Апачи-Пойнт и некоторых других. Приведены основные характеристики использовавшихся инструментов, кратко описаны этапы обработки наблюдательных данных. Здесь также перечислены архивные данные, привлекавшиеся для исследования изучаемых объектов в ходе работы.

Кроме этого, в главе представлен разработанный пакет программ для оптимальной экстракции длиннощелевых 2D-спектров в тесных звёздных полях, с помощью которого выполнялся последний этап редукции спектральных данных для изучаемых звёзд в галактике Туманность Андромеды. Основным его преимуществом и отличием от существующих программ для экстракции спектров является наличие графического интерфейса и удобной системы визуализации данных и параметров экстракции. В основном пакет предназначен для звёзд близких галактик, находящихся в скученных полях, скоплениях звёзд в галактиках. Кроме экстракции спектров нескольких звёзд, которые тесно расположены или накладываются друг на друга, он позволяет экстрагировать спектры объектов с вычитанием налагающихся туманностей разной формы и разной степени

ионизации. Этот же пакет может быть использован в случае одиночных звёзд при наличии сильного фона. Возможности программы продемонстрированы на примере экстракции спектра LBV кандидата J004056.10+410308.7, окружённого туманностью с эмиссионными линиями различного возбуждения. Показано, что вклад этих линий туманности, которые могут обладать разной структурой и размером, может быть полностью учтён при экстракции спектра объекта с помощью разработанной программы.

Глава 2. Спектроскопия и фотометрия звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112

В данной главе представлены результаты оптической и инфракрасной спектроскопии звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды и LBV кандидата MN112 из нашей Галактики, проведённых на телескопах САО РАН и обсерватории Апачи-Пойнт. Здесь также приведены результаты исследования указанных объектов на основе как полученных в ходе выполнения работы, так и архивных фотометрических данных.

В таблице 3 сведены результаты оптической и инфракрасной фотометрии для исследовавшихся объектов в галактике M31 и звезды MN112, выполненной в рамках работы на телескопах САО РАН, КГО ГАИШ и обсерватории Апачи-Пойнт. Здесь указаны даты наблюдений, используемые инструменты (колонка «И»), фильтры, в которых проводились наблюдения (колонка «Ф»), и оценки звездных величин и их ошибок. В колонке «И» использованы следующие обозначения инструментов: SCO соответствует БТА/SCORPIO, APO1 – 3.5-м телескопу АРО/Гид TripleSpec, APO2 – 3.5-м телескопу АРО/NICFPS, APO3 – 0.5-м телескопу АРО/ARCSAT, KGO – 2.5-м телескопу КГО ГАИШ/ASTRONIRCAM.

Таблица 3 – Результаты оптической и инфракрасной фотометрии объектов в галактике M31 и звезды MN112 на телескопах САО РАН, КГО ГАИШ и обсерватории Апачи-Пойнт.

Дата	И	Ф	Звездные величины		
J004051.59					
18.09.2012	SCO	<i>BVR</i>	17.29±0.05	16.99±0.05	16.76±0.05
10.10.2012	APO1	<i>K</i>	15.96±0.05		
J004350.50					
18.09.2012	SCO	<i>BVR</i>	18.32±0.05	17.73±0.05	17.19±0.05
17.10.2012	APO1	<i>K</i>	15.56±0.28		
J004417.10					
16.09.2012	SCO	<i>BVR</i>	17.37±0.05	17.27±0.05	17.05±0.05
24.09.2011	APO1	<i>K</i>	15.20±0.28		
J004444.52					
19.07.2012	SCO	<i>BVR</i>	19.00±0.05	18.16±0.05	17.40±0.05
28.09.2011	APO1	<i>K</i>	14.4±0.1		
J004526.62					
19.07.2012	SCO	<i>BVR</i>	16.82±0.05	16.37±0.05	16.08±0.05

Продолжение на следующей странице

Таблица 3 — Результаты оптической и инфракрасной фотометрии объектов в галактике М31 и звезды MN112 на телескопах САО РАН, КГО ГАИШ и обсерватории Апачи-Пойнт.

Дата	И	Ф	Звездные величины			
24.09.2011	APO1	<i>K</i>	15.03±0.20			
19.12.2015	SCO	<i>BVRI</i>	16.82±0.08	16.38±0.06	16.06±0.05	15.80±0.09
25.10.2019	SCO	<i>UBVRI</i>	16.49±0.14	17.13±0.07	16.84±0.07	16.58±0.09 16.35±0.07
Var A-1						
16.09.2012	SCO	<i>BVR</i>	17.14±0.05	16.77±0.05	16.47±0.05	
24.09.2011	APO1	<i>K</i>	15.5±0.2			
AE And						
16.09.2012	SCO	<i>BVR</i>	16.77±0.05	16.57±0.05	16.31±0.05	
28.09.2011	APO1	<i>K</i>	15.9±0.1			
J004341.84						
16.10.2012	SCO	<i>BVR</i>	18.10±0.05	17.56±0.05	17.17±0.05	
17.01.2015	SCO	<i>BVRI</i>	17.98±0.08	17.48±0.08	17.02±0.05	16.81±0.05
26.09.2016	SCO	<i>BVR</i>	17.80±0.05	17.35±0.05	16.88±0.05	
26.10.2016	APO2	<i>HK</i>	15.85±0.24	15.73±0.06		
18.12.2018	KGO	<i>JHK</i>	16.32±0.05	16.09±0.05	15.80±0.05	
25.10.2019	SCO	<i>BVR</i>	17.92±0.05	17.40±0.05	17.03±0.04	
28.09.2020	SCO	<i>UBVRI</i>	17.45±0.08	17.87±0.09	17.44±0.04	17.01±0.04 16.79±0.09
02.10.2021	SCO	<i>UBVRI</i>	17.44±0.10	17.89±0.06	17.34±0.04	17.93±0.03 16.62±0.12
J004411.36						
17.10.2012	SCO	<i>BVR</i>	18.61±0.07	17.89±0.05	17.38±0.07	
17.01.2015	SCO	<i>BVRI</i>	18.74±0.03	18.02±0.04	17.44±0.03	16.95±0.08
26.10.2016	APO2	<i>JHK</i>	16.24±0.11	15.71±0.04	15.40±0.06	
J004415.00						
18.10.2012	SCO	<i>BVR</i>	18.56±0.04	18.28±0.04	17.24±0.03	
17.01.2015	SCO	<i>BVRI</i>	18.57±0.06	18.26±0.05	17.24±0.06	17.23±0.06
04.09.2015	SCO	<i>BVRI</i>	18.57±0.05	18.24±0.02	17.20±0.04	17.22±0.03
08.11.2016	APO3	<i>BV</i>	18.53±0.07	18.25±0.07		
14.11.2016	APO3	<i>RI</i>	17.21±0.08	17.25±0.10		
26.10.2016	APO2	<i>JHK</i>	16.63±0.05	15.86±0.10	14.52±0.03	
J004507.65						
14.10.2012	SCO	<i>BVR</i>	16.50±0.11	16.09±0.04	16.04±0.05	
17.01.2015	SCO	<i>BVRI</i>	16.52±0.06	16.18±0.03	15.96±0.03	15.73±0.10
08.11.2016	APO3	<i>BVR</i>	16.48±0.04	16.20±0.07	16.00±0.04	
14.11.2016	APO3	<i>I</i>	15.89±0.11			
J004621.08						
21.10.2012	SCO	<i>BVR</i>	18.40±0.06	18.05±0.01	17.65±0.04	
17.01.2015	SCO	<i>BVRI</i>	18.26±0.07	17.88±0.06	17.54±0.06	17.34±0.07
17.08.2015	SCO	<i>VRI</i>	17.95±0.06	17.62±0.06	17.34±0.06	

Продолжение на следующей странице

Таблица 3 — Результаты оптической и инфракрасной фотометрии объектов в галактике M31 и звезды MN112 на телескопах САО РАН, КГО ГАИШ и обсерватории Апачи-Пойнт.

Дата	И	Ф	Звездные величины			
04.09.2015	SCO	<i>BVRI</i>	18.31±0.03	17.94±0.05	17.58±0.03	17.30±0.03
08.11.2016	АРО3	<i>BVRI</i>	18.30±0.05	18.04±0.05	17.58±0.11	17.36±0.06
26.10.2016	АРО2	<i>HK</i>	16.22±0.12	15.21±0.09		
MN112						
20.06.2009	SCO	<i>BVR</i>	16.83±0.05	14.43±0.05	12.63±0.05	
17.08.2015	SCO	<i>BVR</i>	16.84±0.06	14.43±0.08	12.65±0.07	

На рисунках 2.1-2.6 представлены спектры изучаемых звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 в шести областях длин волн, охватывающих оптический и ближний инфракрасный диапазоны. Объекты распределены следующим образом: рисунки 2.1–2.3 демонстрируют спектры объектов J004051.59, J004350.50, J004417.10, J004444.52, J004526.62, Var A-1 и AE And, а рисунки 2.4–2.6 — спектры объектов J004341.84, J004411.36, J004415.00, J004507.65, J004621.08 и MN112.

На спектрах отождествлены основные спектральные линии: водородные линии серий Бальмера, Бреккета и Пашена, линии He I, Fe II, [Fe II], Fe III, Si II, N II, [N II] и некоторые другие. Ряд объектов имеет линии с профилями P Cyg. Спектры типичны для LBV звёзд и других звёзд высокой светимости. Спектры известных LBV звёзд в галактике Туманность Андромеды Var A-1 и AE And, а также галактического LBV кандидата MN112, спектрально близкого к одной из самых известных LBV – P Cyg, являются в некотором роде спектрами сравнения.

Более подробно результаты спектрального и фотометрического исследования изучаемых звёзд изложены далее в соответствующих разделах.

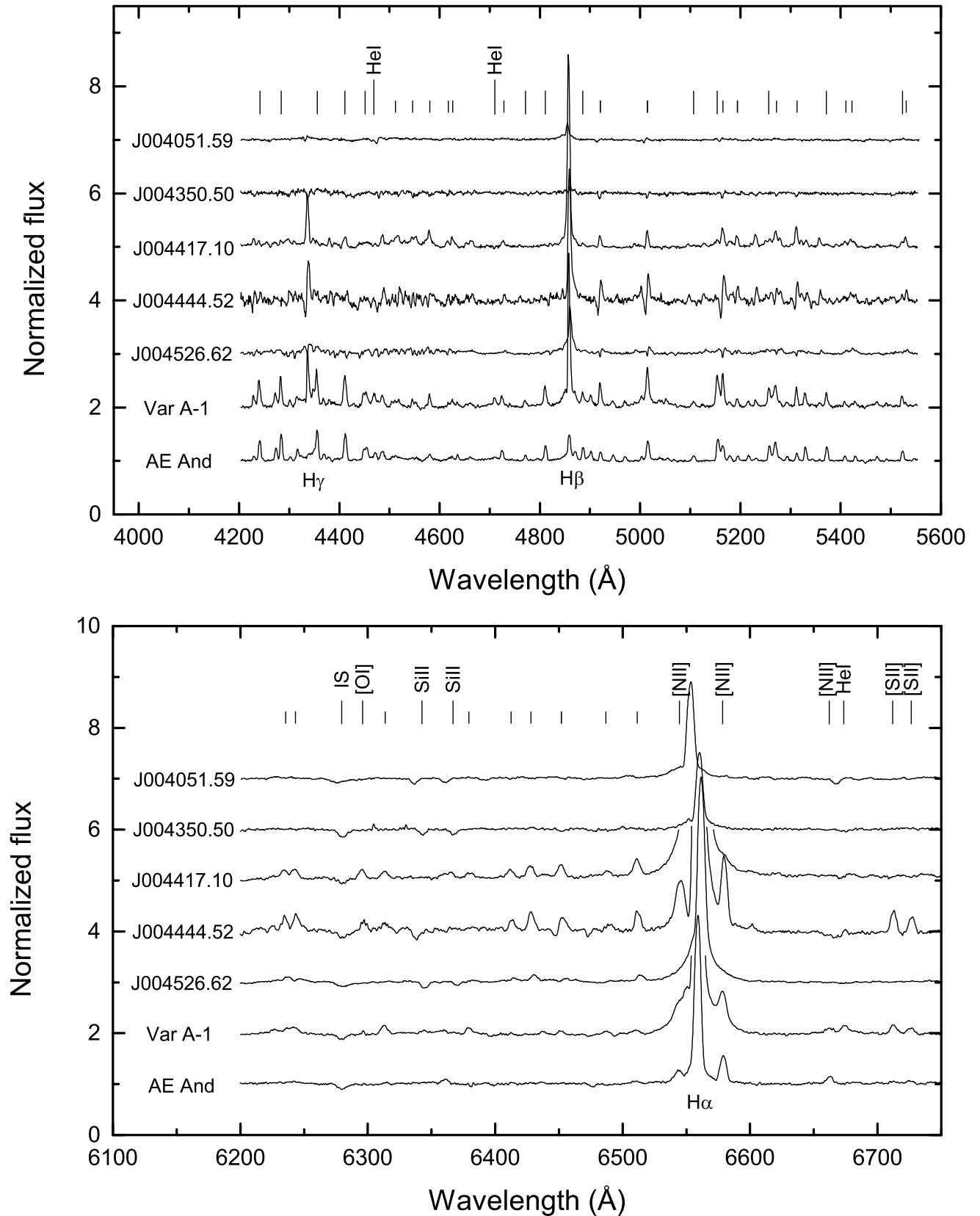


Рисунок 2.1 — Оптические спектры объектов J004051.59, J004350.50, J004417.10, J004444.52, J004526.62, Var A-1 и AE And. Отождествлены основные спектральные линии. Неподписанными короткими и длинными штрихами обозначены линии Fe II и [Fe II] соответственно.

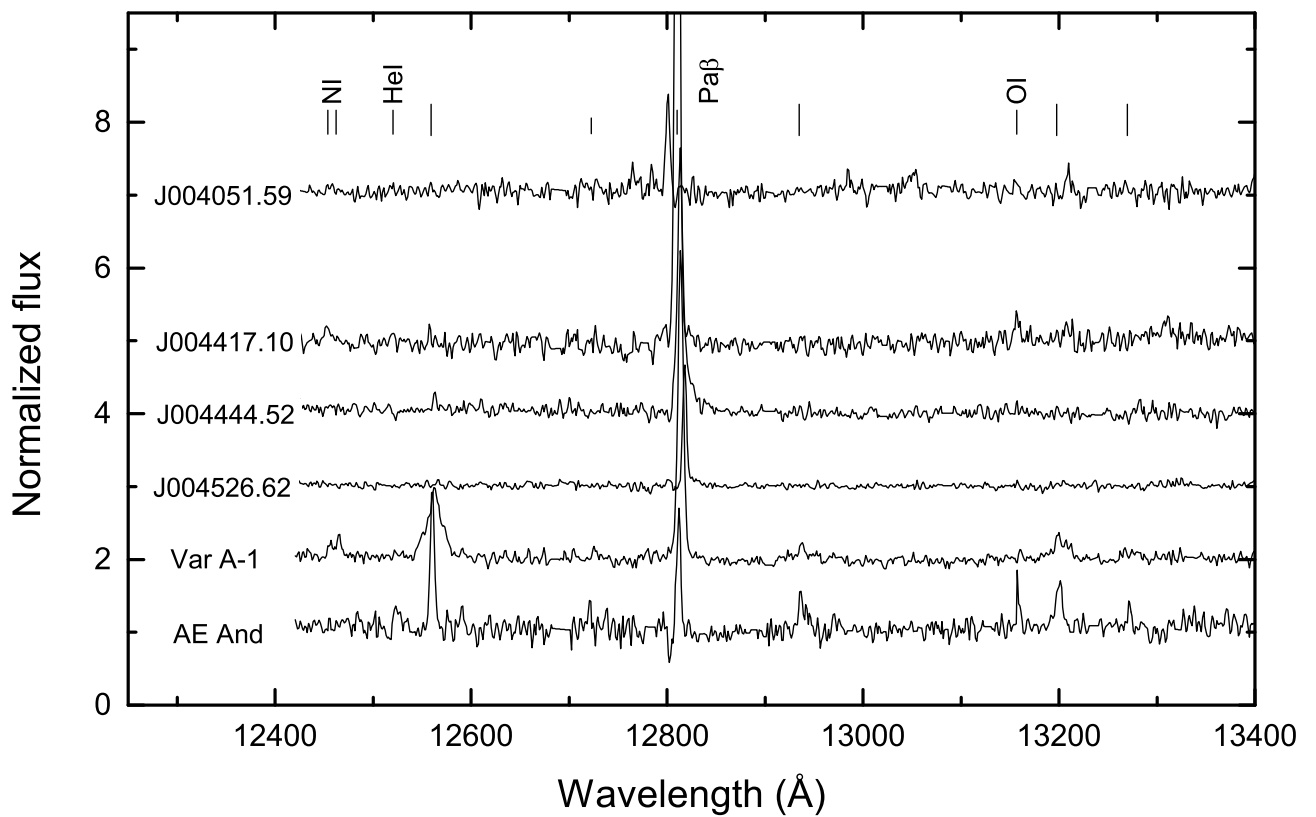
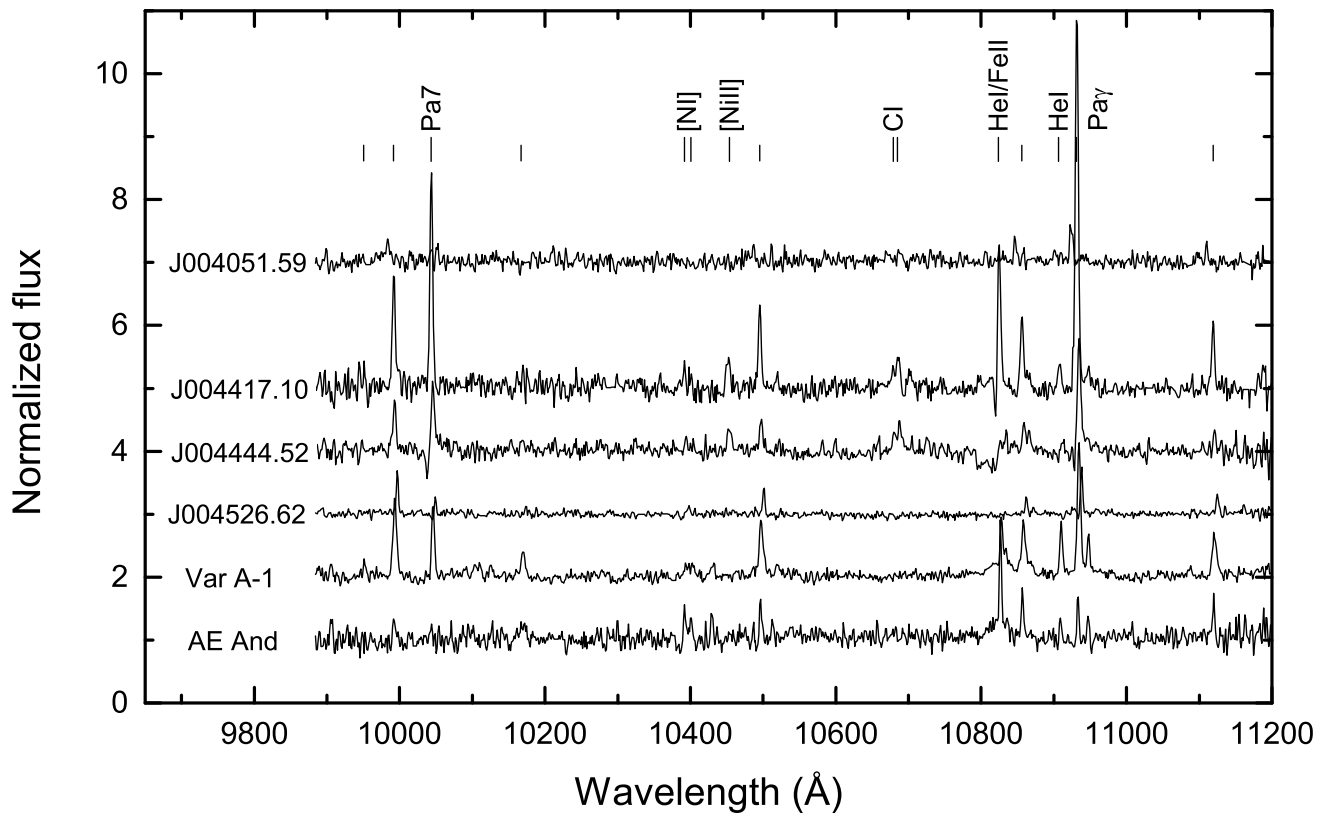


Рисунок 2.2 — Инфракрасные спектры в области, соответствующей фильтру J , для тех же объектов, что и на рисунке 2.1. Спектр J004350.50 не показан.

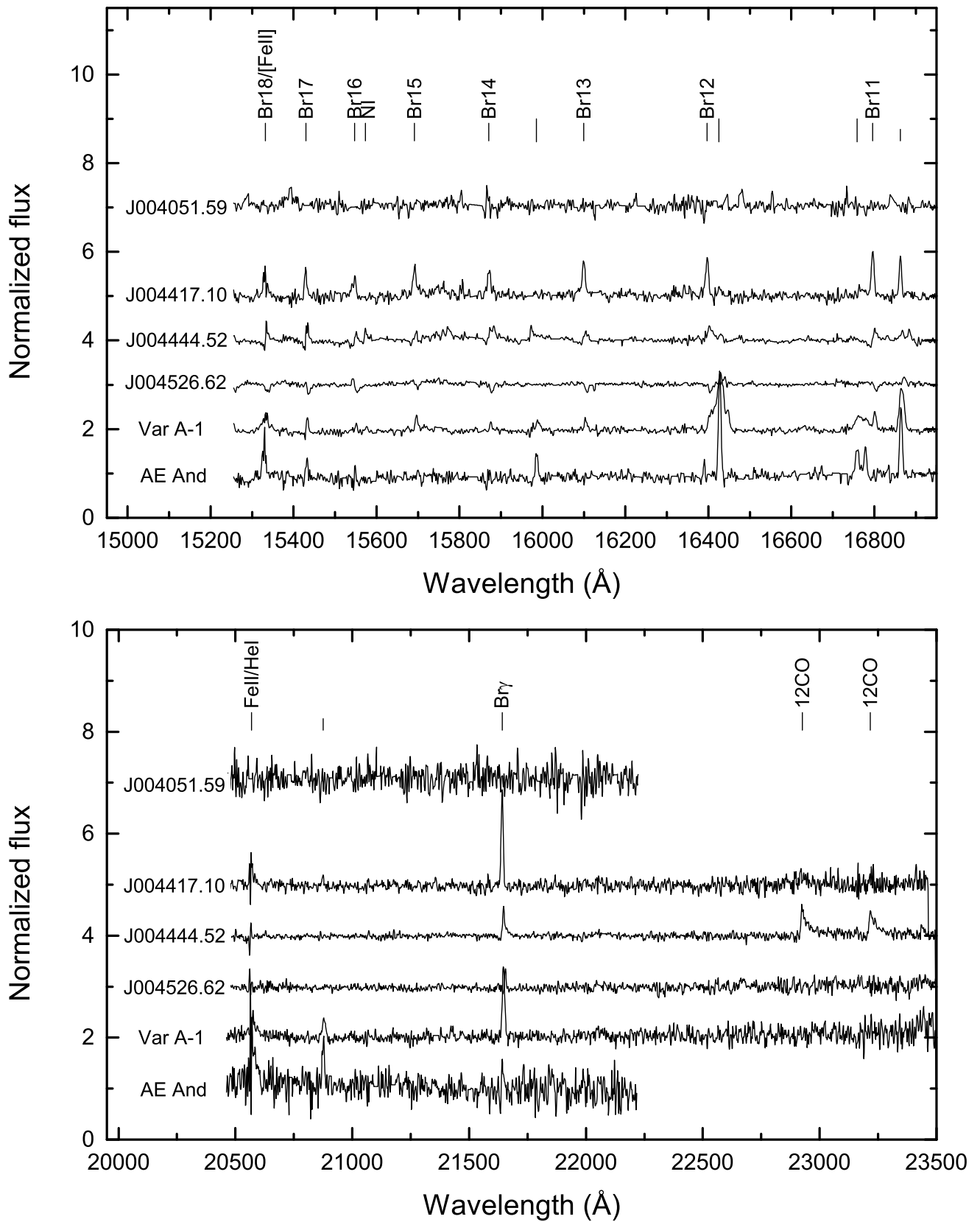


Рисунок 2.3 — Инфракрасные спектры в областях, соответствующих фильтрам H и K , для тех же объектов, что и на рисунке 2.1. Спектр J004350.50 не показан.

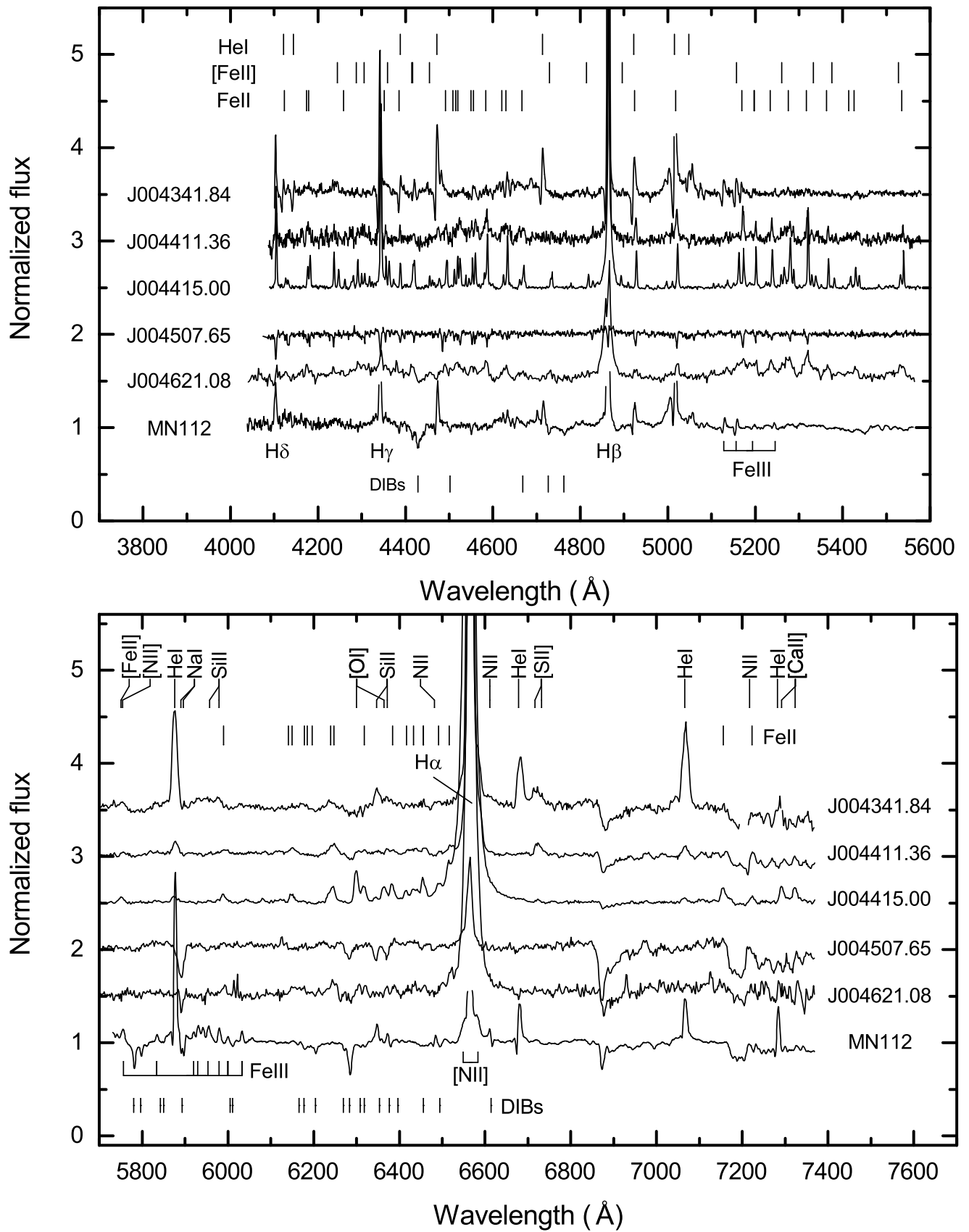


Рисунок 2.4 — Оптические спектры объектов J004341.84, J004411.36, J004415.00, J004507.65, J004621.08 и MN112. Отождествлены основные спектральные линии и полосы межзвёздного поглощения (DIB).

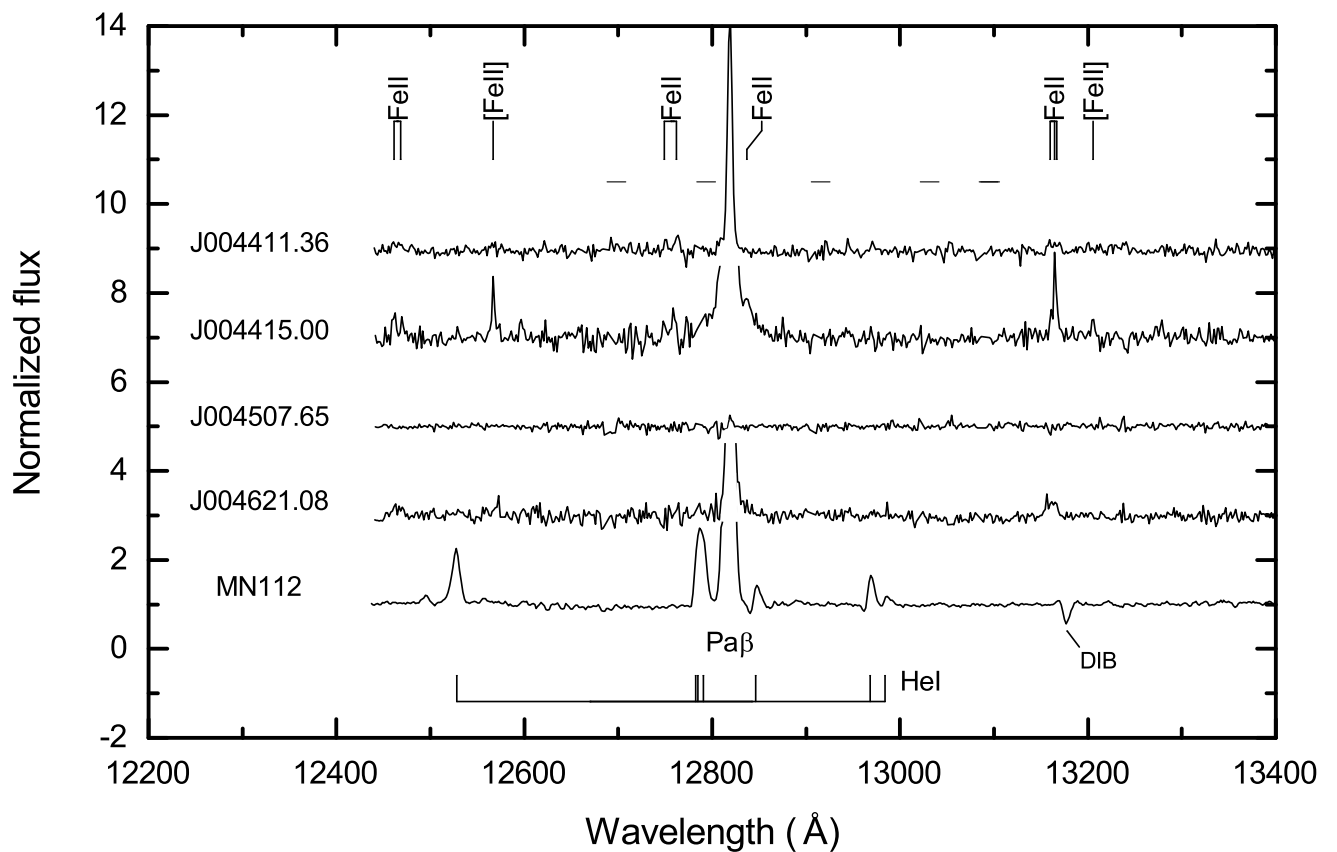
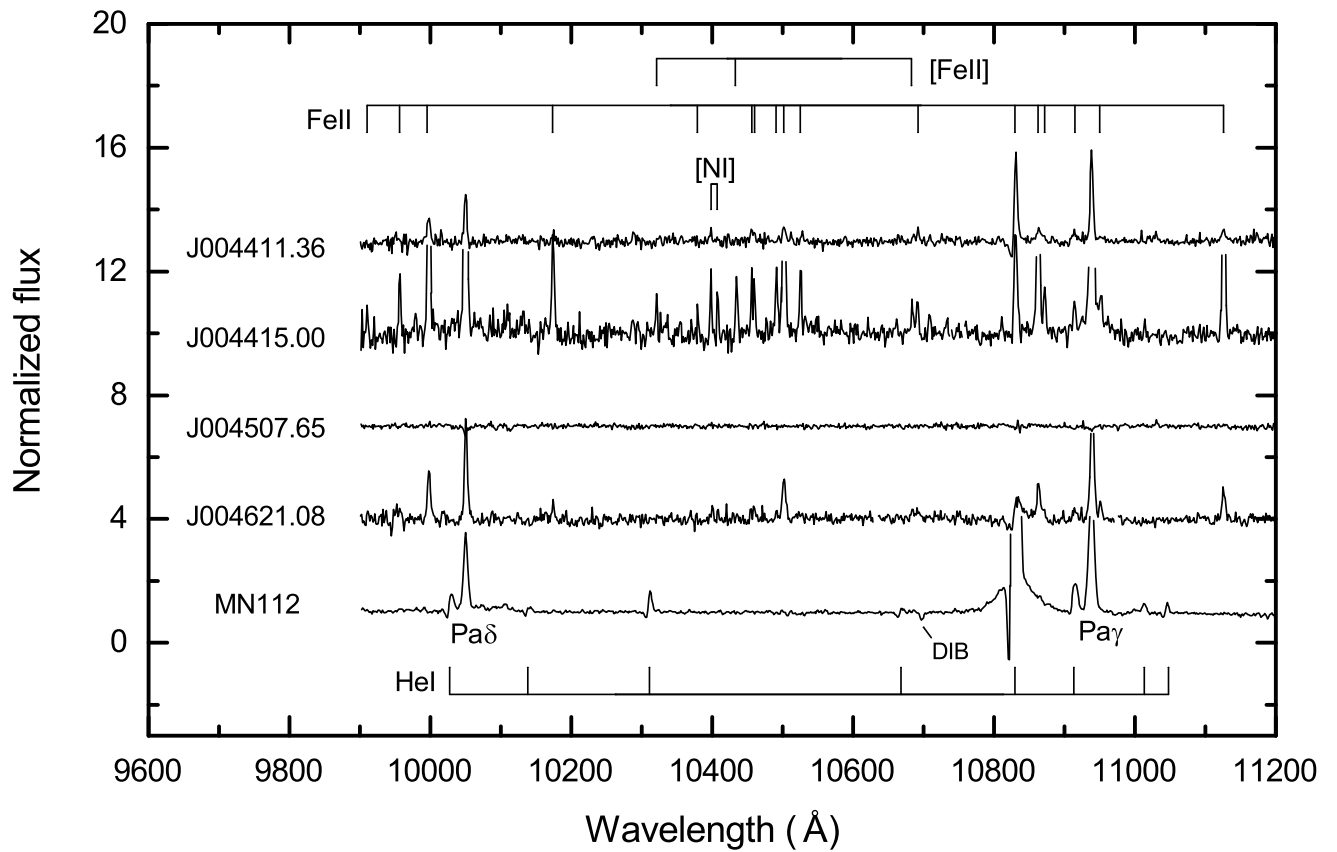


Рисунок 2.5 — Инфракрасные спектры в области, соответствующей фильтру J , для тех же объектов, что и на рисунке 2.4. Спектр J004341.84 не показан. Горизонтальными штрихами отмечены области спектра, подверженные искажениям вследствие атмосферного поглощения или излучения.

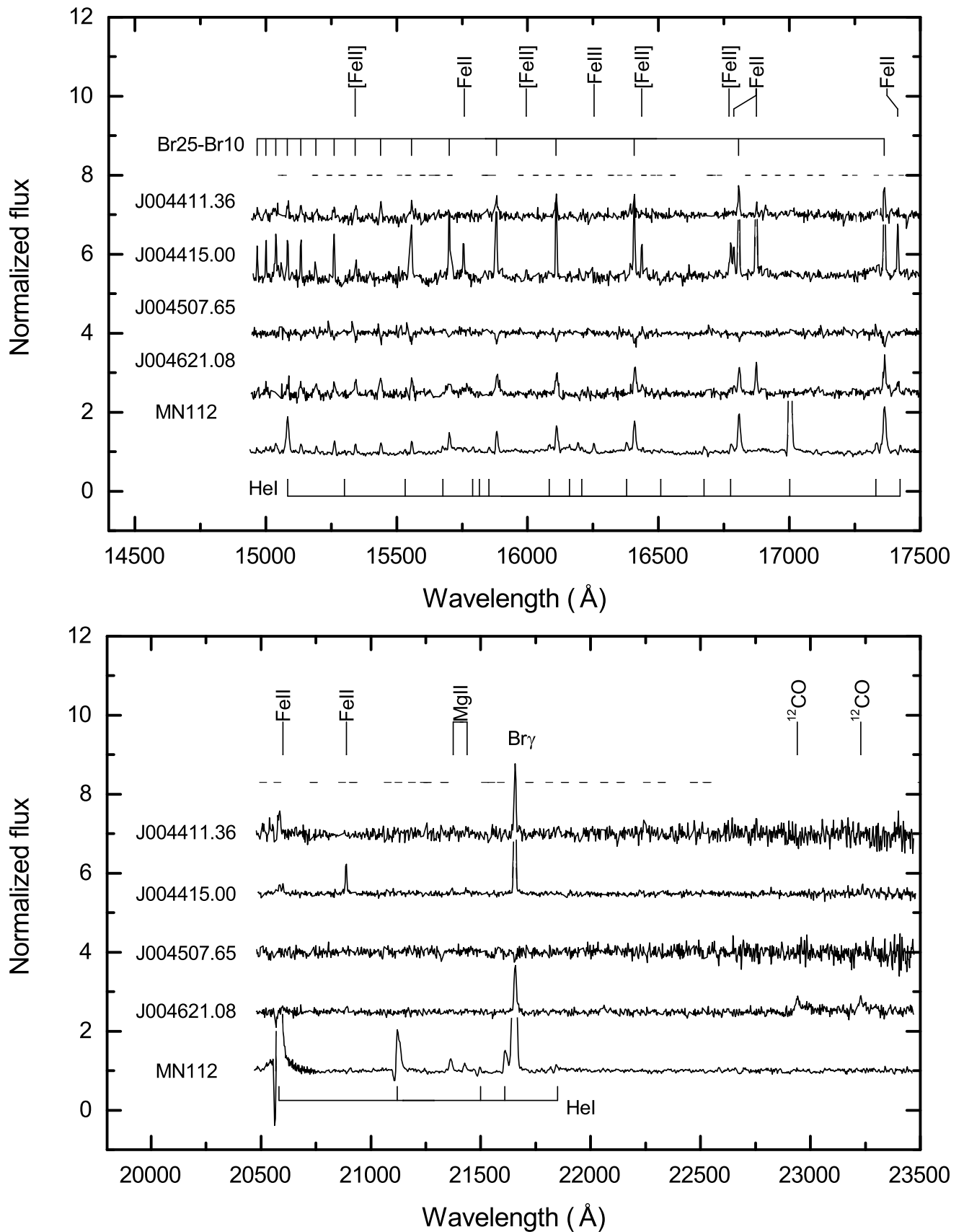


Рисунок 2.6 — Инфракрасные спектры в областях, соответствующих фильтрам H и K , для тех же объектов, что и на рисунке 2.4. Спектр J004341.84 не показан. Горизонтальными штрихами отмечены области спектра, подверженные искажениям вследствие атмосферного поглощения или излучения.

2.1 J004051.59+403303.0

Согласно архивным данным объект имел следующие блеск и цвет: $V = 17.43^m \pm 0.18^m$ в 1963 г. [60]; $V = 17.33^m \pm 0.01^m$ в 1990 г. [61]. Наша оценка блеска в фильтре V , $16.99^m \pm 0.05^m$, согласуется с данными каталога LGGS [39]. Таким образом, и полученные нами, и архивные фотометрические данные предполагают постепенное увеличение оптической яркости объекта ($\Delta V = 0.34^m$). Оптический спектр объекта схож с опубликованным в работе [39]: в нем видны абсорбционные линии He I, Fe II и Si II 6347, 6371 Å. Наиболее яркие линии Fe II имеют профили P Cyg. Также присутствуют слабые эмиссионные линии [Ca II] 7291, 7323 Å.

2.2 J004350.50+414611.4

Согласно данным, полученным в ходе выполнения проекта DIRECT [62], звезда отнесена к прочим переменным звёздам [82]. Фотометрическая переменность объекта также была обнаружена [64] ($\Delta B = \Delta V = 0.16^m$ с точностью лучше 0.01^m). Полученный оптический спектр схож со спектром Массея и др. [22]: в нем видны широкие бальмеровские эмиссии, линии Fe II с профилями P Cyg, и абсорбционные линии He I и Si II.

2.3 J004417.10+411928.0

В работе [63] указано, что переменность звезды в фильтре V имеет амплитуду 0.15^m . По нашим и архивным данным обнаружена спектральная переменность объекта. Так, в нашем оптическом спектре обнаруживается линия He I 5876 Å, которая не была видна в спектре в сентябре 1995 г. [83]. К тому же эмиссионные линии Fe II заметно усилились по сравнению со спектром из работы [22]. В полученном нами спектре также видны яркие линии [Ca II] 7291, 7323 Å, которые предполагают наличие теплой пылевой оболочки у звезды и являются

характеристическими линиями В[e]-сверхгигантов. В работе [25] у объекта были обнаружены линии CO. В нашем инфракрасном спектре также видны линии CO, но они слабые (на пределе обнаружения). Это может говорить о переменности этих линий, которая, например, наблюдалась до этого у HR Car [84]. Стоит отметить, что наличие линий ^{12}CO , также как и линий [Ca II], является признаком теплой околозвёздной оболочки, характерной для В[e]-сверхгигантов.

Примечательно, что, хотя В[e]-сверхгиганты не демонстрируют существенной спектральной переменности, эта звезда изменила свой спектр на шкале 17 лет. На данный момент только один В[e]-сверхгигант, S18 [85], показывал спектральную переменность, при том что относительно классификации S18 как В[e]-сверхгиганта еще ведется дискуссия. Таким образом, переменность спектра J004417.10 является весьма необычным фактом и требует дальнейшего исследования.

2.4 J004444.52+412804.0

Фотометрическая переменность этой звезды ($\Delta B = 0.27$, $\Delta V = 0.22$) была обнаружена в ходе выполнения проекта DIRECT [62]. В работе [64] также была подтверждена переменность с амплитудами $\Delta B = 0.30$ и $\Delta V = 0.25$ в период с 1999 по 2003 гг. При этом средние значения звёздных величин соответствуют результатам нашей фотометрии (таблица 3). Полученный нами спектр почти идентичен спектру в работе Массея и др. [22] и очень похож на спектр, приведённый Хамфрис и др. [2; 3]. В нем преобладают эмиссионные линии Fe II и [Fe II]. Линии гелия 5876 Å, and 6678 Å, имеют профили P Cug. В спектре также присутствуют яркие эмиссии [Ca II] 7291, 7323 Å, а также линии [O I] и ^{12}CO , являющиеся характерными спектральными признаками В[e]-сверхгигантов. Стоит отметить, что и в нашем спектре, и в спектре из работы [22] наблюдаются эмиссии He I, говорящие о достаточно высокой температуре звезды. В то время как в спектре Хамфрис и др. [2] наряду с линиями He I присутствуют абсорбции O I $\lambda 7774$ линий H и K Ca II и бленд Ti II. Последние признаки, конечно, говорят в пользу более низкой температуры газа. По-видимому, звезда имеет очень протяженную атмосферу с более низкой степенью ионизации ветра во внешних слоях.

Характерные спектральные признаки говорят в пользу классификации звезды как В[e]-сверхгиганта. Отметим, однако, объект показывает достаточно большую переменность блеска ($\approx 0.3^m$), граничащую уже с переменностью, характерной для LBV звёзд. Для подтверждения такой особенности у объекта необходим более длительный фотометрический мониторинг.

2.5 J004526.62+415006.3

Объект J004526.62 был впервые отмечен как горячий LBV кандидат Массеем и др. [22]. По полученным данным зафиксирована фотометрическая переменность звезды с 2012 по 2019 годы: $\Delta B = 0.31^m \pm 0.09^m$, $\Delta V = 0.47^m \pm 0.09^m$, $\Delta R = 0.50^m \pm 0.10^m$. Более того, переменность блеска объекта по сравнению архивной фотометрией из каталога LGGs [39], выполненной в период с октября 2000 г. по октябрь 2001 г., оказалась еще более значительной: $\Delta B = 0.84^m \pm 0.05^m$, $\Delta V = 0.79^m \pm 0.05^m$, $\Delta R = 0.76^m \pm 0.05^m$. Фотометрическая переменность такой амплитуды является одним из главных критериев для классификации LBV звёзд [7; 10].

Переменность блеска звезды также сопровождается спектральными изменениями. Так, спектр объекта 2006 г. [22] демонстрирует сильные водородные эмиссии с профилями P Cyg, слабые эмиссионные линии He I и множественные эмиссионные линии Fe II. Позже в работе [3] был представлен спектр звезды 2010 г., с одной стороны напоминающий спектр гипергиганта с сильными эмиссионными линиями водорода с широкими крыльями и профилями P Cyg и линиями Fe II, некоторые из которых также имеют форму P Cyg, а с другой – абсорбционный спектр сверхгиганта раннего A класса. Наш спектр 2011 г. (рисунок 2.1) демонстрирует эволюцию ветра в сторону более холодных температур: водородные линии значительно ослабли, линии Fe II также стали гораздо слабее или даже перешли в абсорбции, а линии He I не обнаруживаются. Кроме этого в работе [86] был приведен спектр 2013 г., который в целом очень похож на наш спектр 2011 г.

С учётом фотометрической и спектральной переменности объекта J004526.62 для него был проведен спектральный мониторинг на телескопе БТА СО РАН с редуктором SCORPIO. Его результаты показаны на рисун-

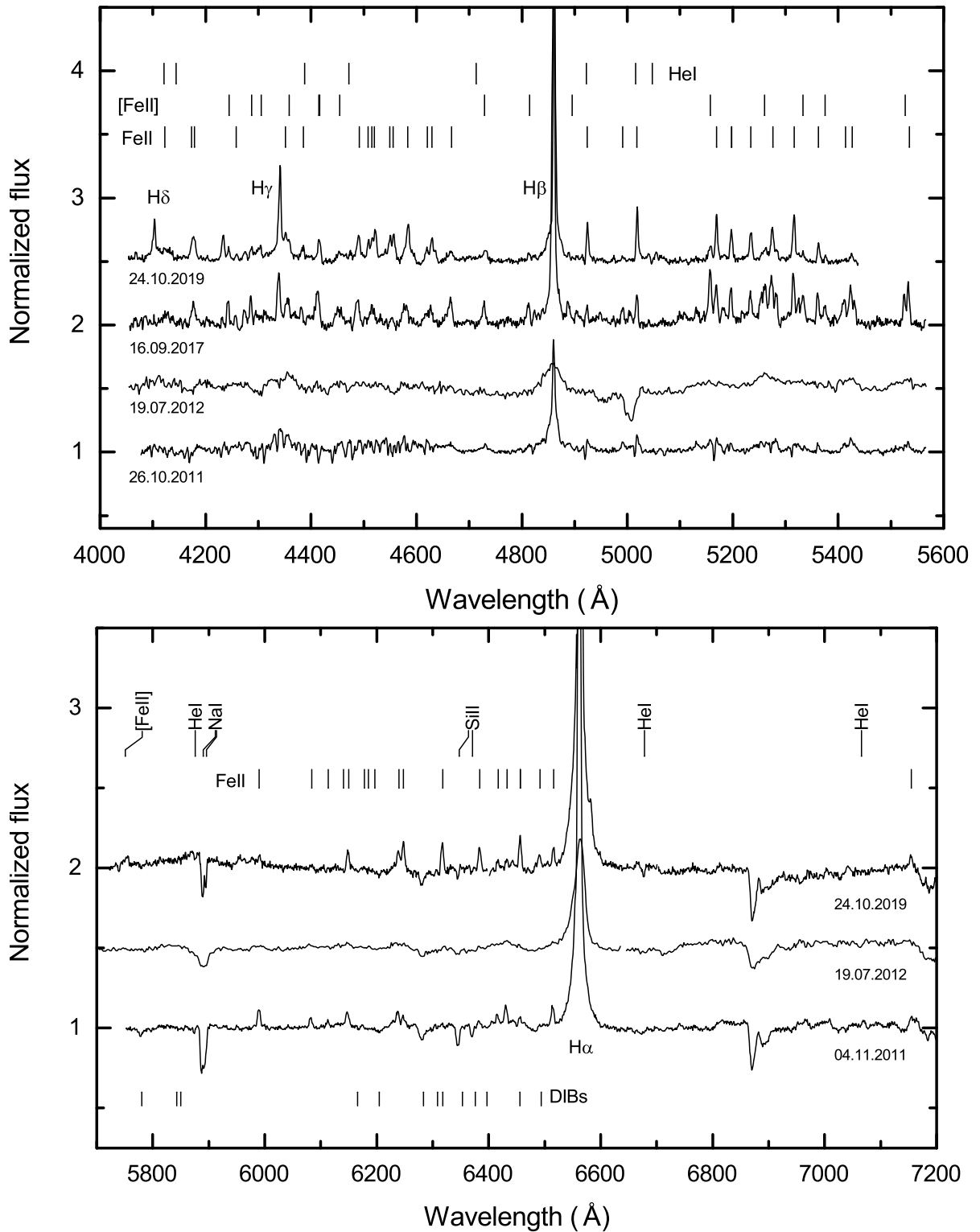


Рисунок 2.7 — Оптические спектры J004526.62+415006.3 в различные эпохи мониторинга. Отождествлены основные спектральные линии и полосы межзвездного поглощения (DIB).

ке 2.7, на котором, помимо спектра 2011 г., приведены спектры 2012, 2017 и 2019 гг. Здесь хорошо виден переход объекта из холодного состояния 2011–2012 гг. обратно в состояние горячей эмиссионной звезды в 2017–2019 гг., в котором

она уже была в 2006 г. [22]. Кроме того, следует отметить ослабление линий [Fe II] относительно линий Fe II с 2017 г. по 2019 г. По-видимому, звезда достигла локально наиболее горячего состояния в районе 2017 г. и сейчас находятся в переходной фазе к более холодному, и, соответственно, более яркому состоянию. Таким образом, объект J004526.62 демонстрирует спектральные переходы характерные для LBV звезд.

2.6 Var A-1

Полученный спектр близок к спектру опубликованному в работе [3]: в нём видны широкие эмиссионные линии бальмеровской серии водорода, яркие эмиссии He I и большое число сильных линии Fe II и [Fe II].

2.7 AE And

Спектр объекта характеризуется широкими эмиссионными линиями бальмеровской серии водорода, а также многочисленными эмиссиями Fe II и [Fe II]. В целом он аналогичен спектру, опубликованному в работе [3]. Кроме этого, в нём видны линии [Ni II] 6668, 6813 Å, которые также ранее обнаруживались в спектре объекта [87]. В отличие от спектра, полученного Массем и др. [22], в нашем спектре исчезли линии [Fe III] и линия [N II] 5755 Å, линии Fe II стали слабее, а линии He I едва заметны.

2.8 J004341.84+411112.0

В полученном нами спектре 2012 г. видны широкие эмиссионные линии H α и H β , линии Fe III и He I с профилями P Cyg. В целом спектр объекта очень близок к спектру самой P Cyg. Из-за спектрального сходства с одной из известнейших LBV звёзд был дополнительно проведен спектральный мониторинг

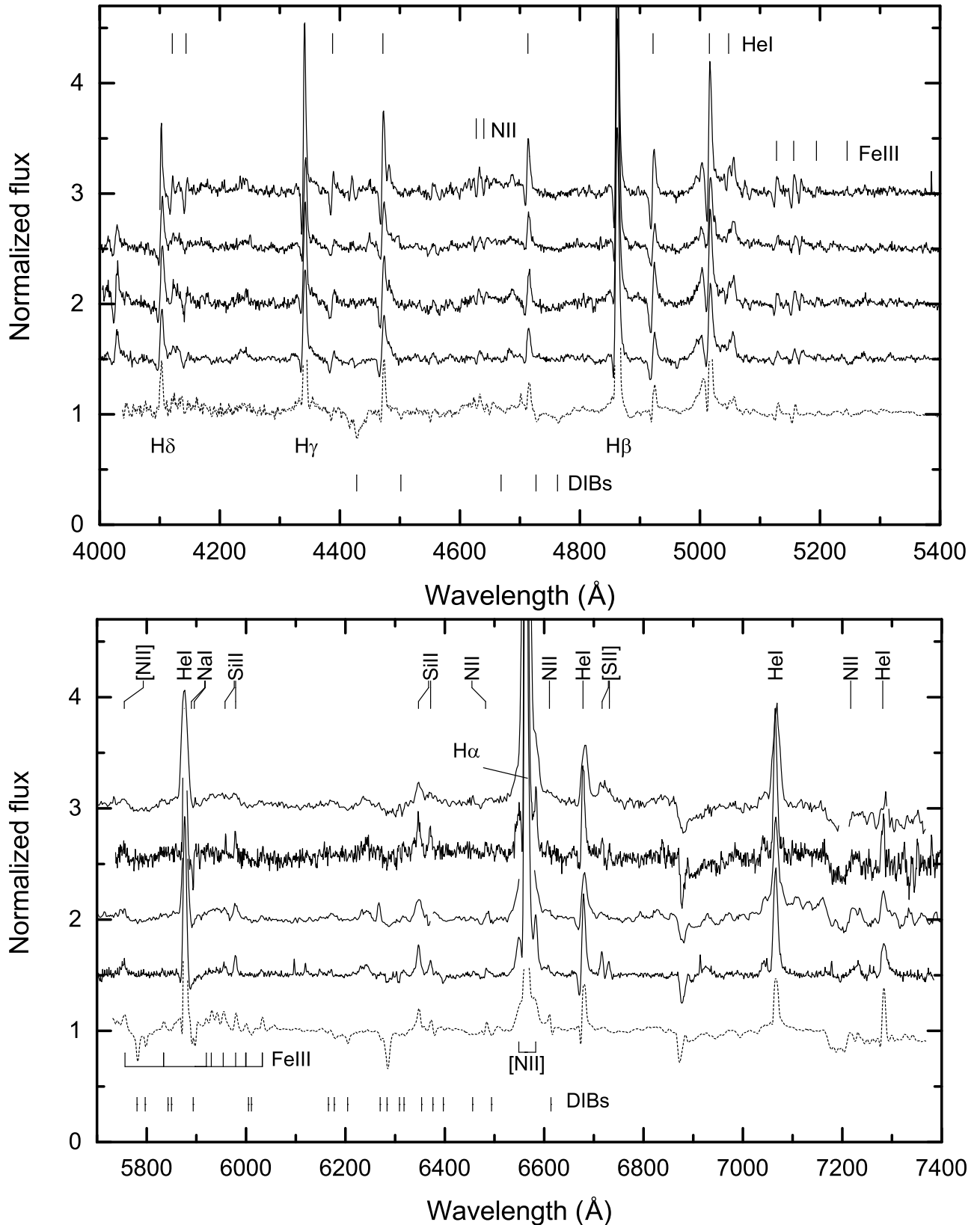


Рисунок 2.8 — Оптические спектры J004341.84 и MN112. Сплошными линиями сверху вниз показаны спектры J004341.84 за октябрь 2012, октябрь 2019, сентябрь 2020, октябрь 2021 соответственно. Для сравнения пунктирной линией показан спектра MN112. Отождествлены основные спектральные линии и полосы межзвёздного поглощения (DIB).

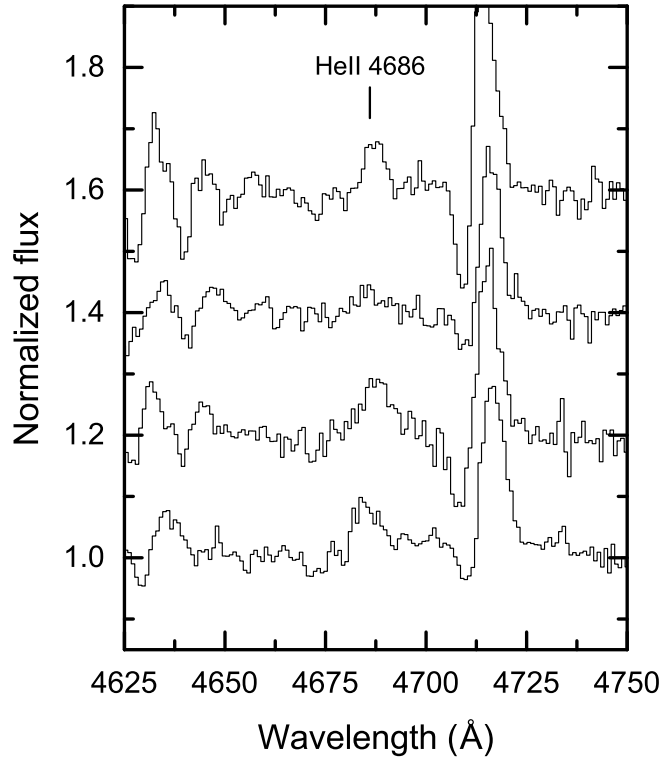


Рисунок 2.9 — Оптический спектры J004341.84 в районе линии He II 4686. Порядок спектров такой же, как на рисунке 2.8. Хорошо заметно значительное ослабление линии He II в 2019 г. по отношению к 2012 г. и обратное ее усиление в 2020 и 2021 гг.

J004341.84 на БТА/SCORPIO. На рисунке 2.8 показаны его результаты: здесь в дополнение к спектру 2012 года приведены спектры 2019, 2020 и 2021 годов. Для сравнения также приведен спектр галактического LBV кандидата MN112, который спектрально очень схож с P Cyg [38; 88].

Из рисунка 2.8 очевидно, что все спектры J004341.84 очень близки к спектру MN112 и, соответственно, к спектру P Cyg. Нетрудно также убедиться в спектральной схожести кандидата J004341.84 и P Cyg, непосредственно сравнив наши спектры со спектром этой LBV звезды из работы [89]. Как и у P Cyg, в спектре J004341.84 доминируют сильные линии водорода и He I, линии балмеровской серии имеют широкие крылья и достаточно слабые абсорбционные компоненты профиля P Cyg, в то время как линии He I и Fe III показывают сильные профили P Cyg, также присутствуют линии Si II и N II. Такая спектральная схожесть звезды с P Cyg говорит об общей природе объектов и является весомым аргументом в пользу классификации J004341.84 как LBV звезды.

Полученные спектры в значительной степени напоминают спектры звезд класса Of/late-WN, что нашло отражение в соответствующей классификации

этого объекта в работах [3; 22]. Тем не менее стоит обратить внимание на ряд спектральных особенностей объекта в полученных на БТА спектрах: водородные линии имеют профили P Cyg, отсутствие характерных для Of/late-WN звёзд линий N III 4634-40-42 и слабость линии He II 4686, являющейся одной из ключевых для классификации Of/late-WN звёзд. Более того, в ходе нашего спектрального мониторинга мы обнаружили переменность линии He II 4686. На рисунке 2.9 показано, как линия He II 4686 существенно ослабевает в 2019 году по отношению к 2012 году и обратно усиливается в 2020 и 2021 годах. Схожее поведение с исчезновением линии He II 4686 ранее было продемонстрировано двумя Of/WN звёздами R127 [32] и HDE 269582 [35], которые в последствии были классифицированы как LBV [90]. Переменность линии He II указывает на LBV нестабильность у звезды J004341.84.

На рисунке 2.10 представлена кривая блеска J004341.84 в фильтре R , построенная по нашим и архивным данным с 2010 по 2021 гг. За этот период кандидат показывает фотометрическую переменность с амплитудой порядка 0.4^m . Хотя изменение яркости не очень большое, тем не менее кривая блеска отчетливо демонстрирует общий тренд увеличения блеска $\Delta R > 0.1^m$ за 10 лет. Этого вполне достаточно для классификации кандидата как LBV в «спящем» (спокойном) состоянии [7]. Более того, изменение цвета объекта явно говорит в пользу его LBV классификации. Как видно из рисунка 2.10, показатель цвета объекта ($V - R$) увеличивается со временем и, что более важно, с увеличением яркости, соответствующем уменьшению эффективной температуры объекта. Такая картина полностью соответствует поведению LBV звёзд, когда они при сохранении примерно постоянной светимости становятся ярче по мере уменьшения температуры в следствие раздувания [10]. Поскольку такая переменность является определяющей для LBV [7; 91], то кривая блеска J004341.84 подтверждает LBV статус объекта.

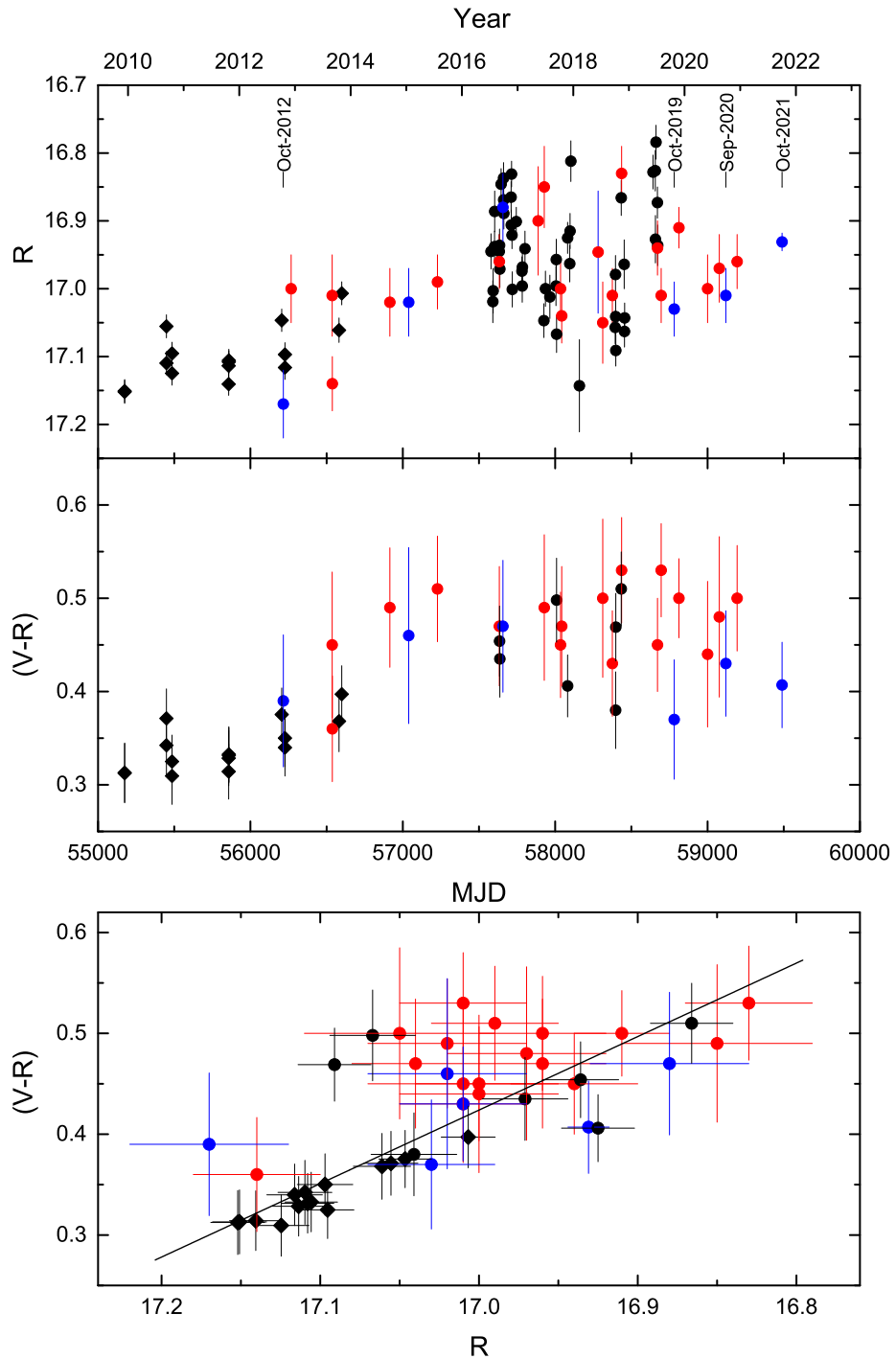


Рисунок 2.10 — (Верхняя панель) Кривая блеска в фильтре R и изменение цвета $(V - R)$ для объекта J004341.84. Вертикальными линиями отмечены даты спектральных наблюдений. (Нижняя панель) Диаграмма цвет-величина $(V - R) - R$ для объекта J004341.84. Черный ромбы — данные Pan-STARRS [65], красные кружки — данные из работы [69], черные кружки — данные обсерватории NAO Rozhen, синие кружки — фотометрия БТА.

2.9 J004411.36+413257.2

Эта звезда упомянута как фотометрически переменная [82] с амплитудой переменности 0.15^m . По полученным фотометрическим данным объекта не обнаружено значительной фотометрической переменности. По результатам спектроскопии была выявлена спектральная переменность: в нашем спектре мы обнаружили линию He I 5876 \AA , в то время как эта линия не детектируется в спектре 1995 г. [83]. Кроме этого, спектр объект J004411.36 демонстрирует достаточно сильные линии водорода и значительное число эмиссий Fe II. При этом запрещенные линии железа [Fe II], как и линии [O I], отсутствуют. В спектре также видны линии [Ca II] $7291, 7323 \text{ \AA}$, указывающие на оболочку теплой пыли, окружающую звезду.

2.10 J004415.00+420156.2

Наш оптический спектр почти идентичен спектрам, приведённым в работах [22] и [2]. Он характеризуется наличием сильных эмиссионных линий бальмеровской серии, эмиссионных линий Fe II и [Fe II], яркими эмиссиями [Ca II] $7291, 7323 \text{ \AA}$, [O I] $6300, 6364 \text{ \AA}$, а также отсутствием линий He I. Характерные спектральные признаки говорят в пользу классификации звезды как B[e]-сверхгиганта.

2.11 J004507.65+413740.8

В полученном спектре наблюдаются следующие особенности водородных линий: присутствует H α эмиссия, линия H β заполнена, H γ - в абсорбции. Помимо этого, спектр объекта J004507.65 демонстрирует абсорбционные линии Fe II и Si II ($6347, 6371 \text{ \AA}$), отсутствие линий He I. В спектре также не видно линий [Ca II] и Ca II. В целом оптический спектр J004507.65 похож на спектр V532 (звезда Романо [37]) 1992 г., когда эта LBV звезда находилась в максимуме

блеска [92; 93]. Тем не менее нам не удалось обнаружить переменность объекта ни по нашим, ни по архивным данным.

2.12 J004621.08+421308.2

Мы не обнаружили переменности объекта по нашим данным. Авторы в работе [6] заключили, что спектр звезды соответствует сверхгиганту позднего А класса. В красном диапазоне спектра J004621.08 имеет линии Ca II, [Ca II] ^{12}CO , которые указывают на наличие разреженной туманности вокруг объекта. Оптический спектр характеризуется широкими линиями H α и H β , большим числом эмиссионных линий Fe II, а также рядом линий [Fe II]. Однако водородные линии бальмеровской серии после H β начинают переходить в абсорбции, а в спектре, как уже отмечалось, имеются характерные для сверхгигантов А класса линии Ca II [4; 6].

2.13 MN112

Оптический спектр MN112 имеет широкие линии H α и H β , сильные линии He I, а также яркие линии Fe III, N II, Si II и C II lines. Стоит также отметить наличие большого числа сильных полос межзвёздного поглощения в спектре, свидетельствующего о большой величине межзвёздного поглощения в направлении объекта. Мы впервые получили спектр MN112 в ближнем ИК-диапазоне, в котором аналогично оптическому видны сильные линии водорода (серий Пашена и Бреккетта в этом диапазоне), линии He I с профилем P Cyg, а также линии Mg II в полосе K. Как и в случае звезды J004341.84, спектр MN112 очень схож со спектром P Cyg, что подтверждает физическую близость объектов и, соответственно, указывает на возможность классификации MN112 как LBV звезды. Тем не менее для объекта не удалось обнаружить существенной переменности блеска.

2.14 Выводы

В данной главе представлены результаты спектрального и фотометрического исследований изучаемых объектов в Галактике Туманность Андромеды и звезды нашей Галактики MN112. Большинство объектов имеют эмиссионные спектры с сильными широкими линиями водорода. Среди эмиссионных линий наблюдаются линии He I, Fe II, [Fe II]. У ряда объектов наблюдаются линии, имеющие профили типа P Cyg. По данным БТА/SCORPIO выявлена спектральная переменность некоторых объектов. В частности, если в спектре звезды J004526.62+415006.3, представленном в работе [22] наблюдались многочисленные эмиссионные линии Fe II и слабые эмиссии He I, то в полученном на БТА спектре линии Fe II сильно ослабели или даже перешли в абсорбции, а линии He I не обнаружались. При этом соответствующее изменение блеска объекта в фильтре V составило около 0.8^m . Спектр звезды J004341.84+411112.0 показал линии водорода, He I, Fe III имеющие форму типа P Cyg. У этого объекта выявлена переменность линии He II 4686 \AA , указывающая на LBV нестабильность у звезды, а также обнаружена фотометрическая переменность с 2010 по 2021 год порядка 0.4^m с общим трендом увеличения блеска $\Delta R > 0.1^m$. При этом соответствующее изменение цвета объекта полностью соответствует поведению LBV, когда звезда становится холоднее и ярче при сохранении болометрической светимости. В спектрах звёзд J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 обнаружены запрещенные линии [Fe II], [O I], [Ca II], являющиеся характерными для B[e]-сверхгигантов. При этом у объекта J004417.10 есть признаки переменность спектра, а у J004444.52 – достаточно большая фотометрическая переменность. Такие свидетельства переменности у этих звёзд говорят о необходимости их дальнейшего мониторинга.

Глава 3. Спектральные распределения энергии, фундаментальные параметры и классификация звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112

3.1 Спектральные распределения энергии, фундаментальные параметры

В этом разделе представлены спектральные распределения энергии (spectral energy distribution, SED) в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах для исследовавшихся звёзд высокой светимости в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112. Для построения спектральных распределений энергии использовались полученные для объектов спектры и фотометрия, а также некоторые архивные фотометрические данные для сравнения. Информация об использованных данных приведена ниже для каждого из объектов в соответствующих таблицах (таблицы 4–16), в которых указаны: дата получения фотометрии, символы, используемые для отображения данных на спектральном распределении энергии, используемые фильтры, звёздные величины с их ошибками, источник данных. При указании источника данных использованы обозначения: 2MASS – [68], 2MASS-6X – [53], LGGS – Local Group Galaxies Survey [39], PS1 – Pan-STARRS1 [65], Gv2010 – [38], Hm1984 – [66]. Для каталогов LGGS и PS1 фотометрические данные усреднены по нескольким эпохам наблюдений, соответственно, для них указана усреднённая дата. Кроме того, в качестве ошибок для фотометрии PS1 использованы величины среднеквадратичного отклонения звёздных величин за время наблюдений.

Поскольку оптические спектры были получены на длиннощелевом спектрографе, то на практике их трудно абсолютно прокалибровать из-за потерь на щели. Поэтому для их отображения на спектральных распределениях энергии для объектов спектры либо привязаны к одновременным фотометрическим точкам в фильтре V , либо использовано произведение предварительно нормированных на континуум спектров на кривую наилучшей аппроксимации соответствующих фотометрических точек, полученную при моделировании спектрального распределения энергии. Что касается инфракрасных спектров, то использованная при их обработке методика учёта атмосферного поглоще-

ния позволяет получать на выходе абсолютно калиброванные спектры [43]. Тем не менее для всех объектов, кроме MN112, из-за достаточно низкого отношения сигнал-шум в инфракрасных спектрах добиться точной их калибровки не удалось. Поэтому для этих объектов на спектральных распределениях энергии ИК-спектры были умножены на постоянный множитель так, чтобы соответствовать потокам в фильтрах выбранной для привязки фотометрии.

3.1.1 Определение фундаментальных звёздных параметров

Для каждого из объектов выбранные наборы фотометрических точек (отмечены звёздочкой в таблицах 4–16) проаппроксимированы чернотельным спектром с учетом кривой межзвёздной экстинкции из работы [94], приняв отношение полного поглощения к селективному равным $R_V = 3.1$. Поскольку модель не учитывает возможный вклад тормозного излучения и пылевых компонент, для аппроксимации использовались данные в области длин волн, соответствующей фильтрам $UBVRI$, где указанные вклады в спектр отсутствуют или незначительны (кроме объекта J004415.00, что будет объяснено далее).

Большинство исследуемых объектов имеют спектры с сильными эмиссионными линиями. Вклад этих линий в фотометрические точки для некоторых объектов может достигать 10–15%. Поэтому при аппроксимации фотометрических данных мы вычитали этот вклад, используя одновременно снятые спектры. Кроме того, для аппроксимируемых данных мы внесли поправки в средние длины волн фильтров в соответствии с наклоном спектра. Фотометрические точки с учётом вышеописанных поправок отображены либо крестиками, либо заполненными символами на рисунках 3.1–3.14. Во втором случае для возможности сравнения откорректированных данных с литературными мы также приводим на рисунках исходные (без коррекции) точки, отображённые незакрашенными символами той же формы. Результаты аппроксимации показаны сплошными или штриховыми, пунктирными, штрих-пунктирными (в случае аппроксимации нескольких наборов точек) линиями. Параметры моделей, соответствующих линиям, указаны в легендах к рисункам и приведены в таблицах с оцененными параметрами индивидуально для каждого объекта в соответствующем параграфе.

Из-за вырождения результатов аппроксимации по величине межзвёздного поглощения и температуре однозначно определить эти параметры в общем случае невозможно. Тем не менее, накладывая ограничения на параметры модели, можно частично снять вырождение и оценить интересующие параметры. По нашим спектрам мы сначала оценили примерные интервалы температур фотосфер звёзд (T_{sp} в таблицах параметров звёзд, приводятся ниже для каждого из объектов). Для этого использовались простые критерии относительных интенсивностей линий (He I, He II 4686 Å, Fe II и др.) в спектрах [95]. Далее, аппроксимировав спектрофотометрические данные с учетом ограничений по температурам из спектров, нам удалось определить величину A_V в достаточно узком диапазоне значений и, исходя из этого, сделать оценки болометрической светимости звезд. Таким образом были определены параметры для большинства звезд из выборки: J004051.59, J004350.50, J004417.10 J004444.52, J004411.36, J004415.00, J004507.65, J004621.08, MN112. Результаты оценок параметров исследуемых объектов – величины A_V , температуры звёзд, радиусы, абсолютные и болометрические звёздные величины M_V и M_{bol} – будут приведены далее для каждого объекта в соответствующем параграфе. При расчётах мы принимали расстояние до галактики M31 равным 752 ± 27 кпс [96], а расстояние до MN112 – $6.93^{+2.74}_{-1.81}$ кпс [97]. Отметим, что болометрические звёздные величины вычислены по модельному спектру и, как следствие, не учитывают вклад тормозного излучения и пылевых компонент.

Помимо этого, для объектов Var A-1 и J004350.50 удалось оценить величину межзвёздного поглощения по отношению потоков в линиях водорода бальмеровской серии $H\alpha$ / $H\beta$ в спектре окружающих объекты туманностей (см., например, работу [98]).

3.1.2 Метод оценки фундаментальных параметров для LBV звёзд

Для переменных LBV звёзд можно также попытаться решить проблему вырождения, проводя аппроксимацию нескольких наборов данных с наложением дополнительных ограничений на параметры. Так, в случае переменности S Dor типа звезда становится холоднее и ярче или, наоборот, горячее и слабее в оптическом диапазоне при примерно постоянной болометрической светимости.

сти [10]. При этом переменность блеска должна быть достаточно большой ($\Delta V \gtrsim 0.2^m$) и относительно медленной (не менее нескольких месяцев [93]). В таком случае постоянство болометрической светимости является хорошим предположением ($\sigma T^4 4\pi R^2 = const$). Это позволяет наложить на параметры ограничение вида $T_i = T_1 \sqrt{R_1/R_i}$, где индекс i соответствует второму и последующим переменным состояниям. Другое ограничение на параметры в случае переменности LBV вытекает из предположения, что при изменении блеска звезды в различных состояниях межзвёздное поглощение не меняется ($A_V = const$). Моделируя спектральные распределения энергии LBV звезды в нескольких различных состояниях с учетом постоянства болометрической светимости и величины межзвёздного поглощения, удастся дополнительно снять вырождение по параметрам T и A_V и, соответственно, повысить точность их оценок в ходе моделирования. Такая методика была апробирована на примере двух подтвержденных звёзд LBV Var A-1 и AE And, для которых удалось оценить параметры в трёх различных состояниях. После чего метод был применен для LBV кандидатов, продемонстрировавших LBV переменность – J004526.62 и J004341.84. В результате для первого объекта были промоделированы спектральные распределения энергии и определены параметры в двух состояниях, а для второго – в трёх.

Спектральные распределения энергии, их описание и результаты моделирования, а также полученные оценки фундаментальных параметров приведены для каждого из объектов ниже в соответствующих параграфах.

J004051.59+403303.0

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.1. И использованные фотометрические точки приведены в таблице 4. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды:

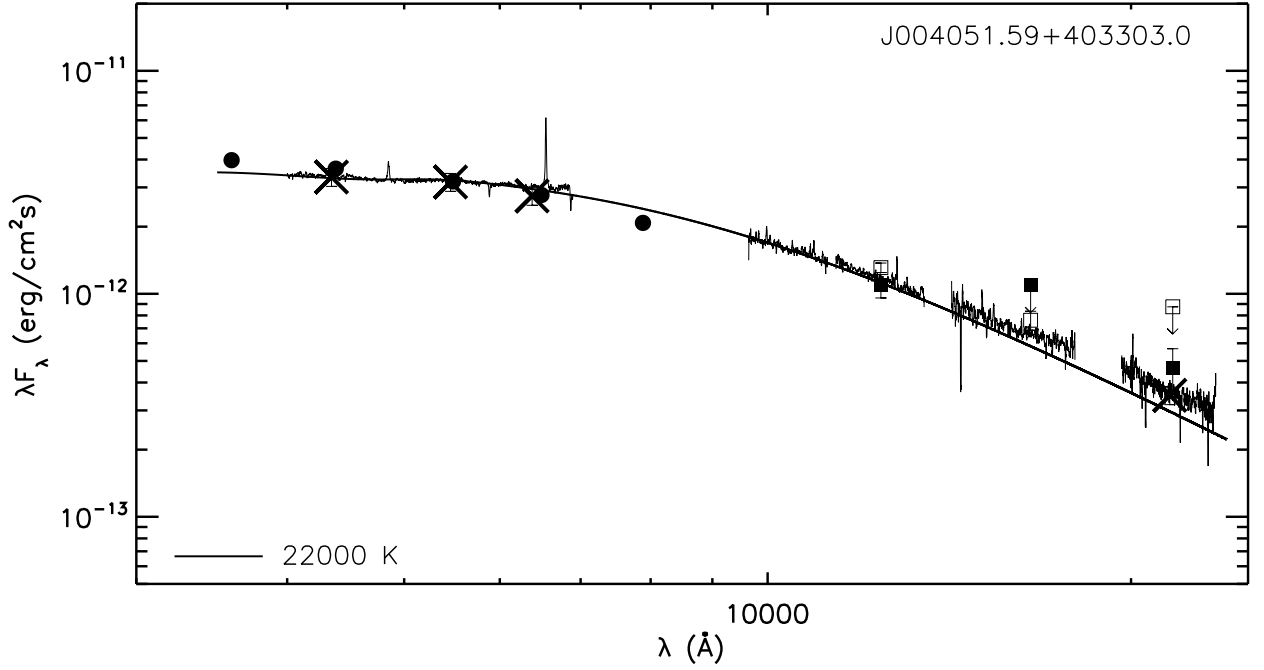


Рисунок 3.1 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для J004051.59.

T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
18000–24000	22000 ± 2000	1.5 ± 0.1	90	-9.0	-10.9 ± 0.2

Таблица 4 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004051.59. Нижние границы звёздных величин обозначены символом « \geq » перед значением.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины			Источник
18.09.2012*	×	<i>BVR</i>	17.29 ± 0.05	16.99 ± 0.05	16.76 ± 0.05	данная работа
10.10.2012	×	<i>K</i>	15.96 ± 0.05			данная работа
23.04.2001	●	<i>UBVRI</i>	16.444 ± 0.003	17.205 ± 0.003	16.989 ± 0.003	LGGS
			16.769 ± 0.003	16.576 ± 0.004		
25.10.2000	■	<i>JHK</i>	16.38 ± 0.13	≥ 15.59	15.75 ± 0.23	2MASS
13.11.2000	□	<i>JHK</i>	16.18 ± 0.05	15.98 ± 0.05	≥ 15.06	2MASS-6X

J004350.50+414611.4

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.2. Использованные фотометрические

точки приведены в таблице 5. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвездного поглощения. В ближней инфракрасной области заметен небольшой плавный избыток излучения, который, вероятно, связан с тормозным излучением в ветре. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды для состояния на 18.09.2012 г.:

T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
10000–15000	13000 ± 2500	2.0 ± 0.2	130	-8.7	-9.4 ± 0.2

Величина межзвездного поглощения грубо оцененная по водородным эмиссиям в спектре окружающей звезду туманности $A_V = 1.6$ по порядку хорошо согласуется со значением этого параметра, полученного из моделирования спектрального распределения энергии – $A_V = 2.0 \pm 0.2$.

Таблица 5 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004350.50.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины			Источник
18.09.2012*	×	<i>BVR</i>	18.32 ± 0.05	17.73 ± 0.05	17.19 ± 0.05	данная работа
17.10.2012	×	<i>K</i>	15.56 ± 0.28			данная работа
16.01.2001	●	<i>UBVRI</i>	17.986 ± 0.004	18.342 ± 0.004	17.700 ± 0.004	LGGS
			17.229 ± 0.004	16.747 ± 0.004		
04.12.1998	■	<i>JHK</i>	16.25 ± 0.11	15.85 ± 0.14	15.95 ± 0.24	2MASS
14.11.2000	□	<i>JHK</i>	16.21 ± 0.05	15.80 ± 0.08	15.71 ± 0.09	2MASS-6X

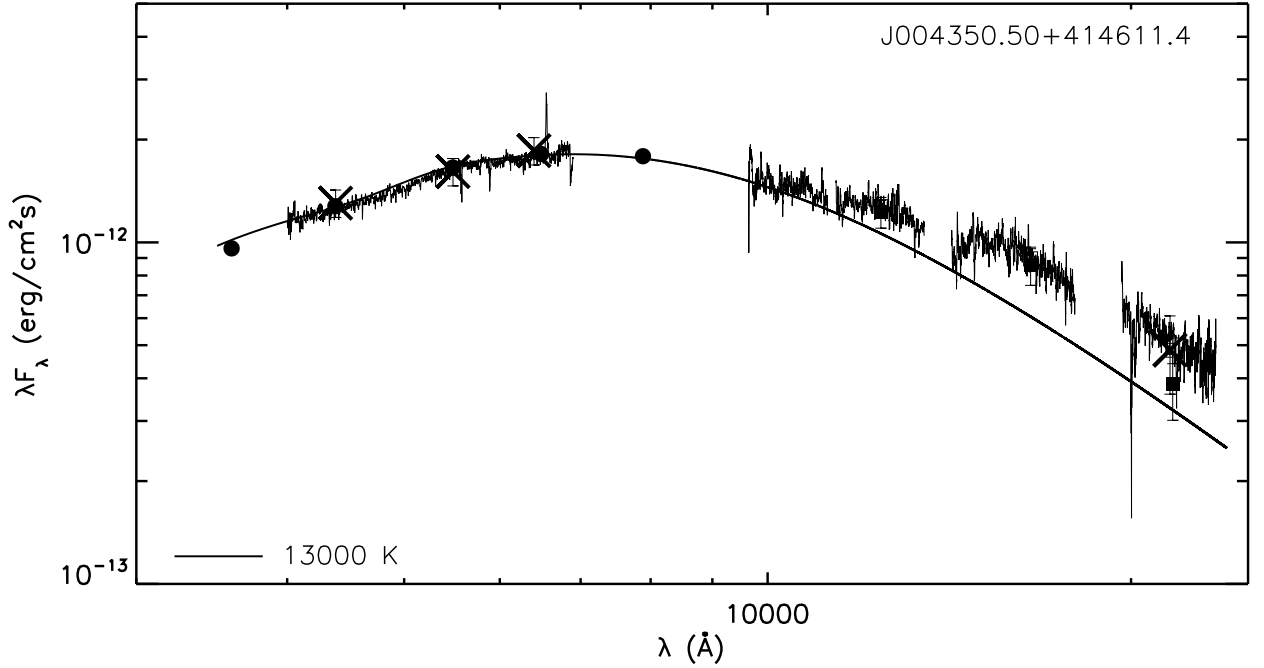


Рисунок 3.2 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для J004350.50.

J004417.10+411928.0

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.3. Использованные фотометрические точки приведены в таблице 6. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвездного поглощения. Объект демонстрирует характерный для V[e]-сверхгигантов резкий избыток излучения в ближней инфракрасной области, связанный с наличием у звезды теплой пылевой оболочки. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды:

T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
15000–20000	18000 ± 1000	1.0 ± 0.2	70	-8.1	-9.6 ± 0.1

Таблица 6 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004417.10.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины	Источник
16.09.2012*	×	<i>BVR</i>	17.37±0.05 17.27±0.05 17.05±0.05	данная работа
24.09.2011	×	<i>K</i>	15.2±0.28	данная работа
12.07.2001	●	<i>UBVRI</i>	16.494±0.004 17.212±0.004 17.113±0.004 16.776±0.004 16.610±0.004	LGS
04.12.1998	■	<i>JHK</i>	15.97±0.09 15.58±0.12 14.73±0.09	2MASS
14.11.2000	□	<i>JHK</i>	16.06±0.05 15.55±0.08 14.63±0.06	2MASS-6X

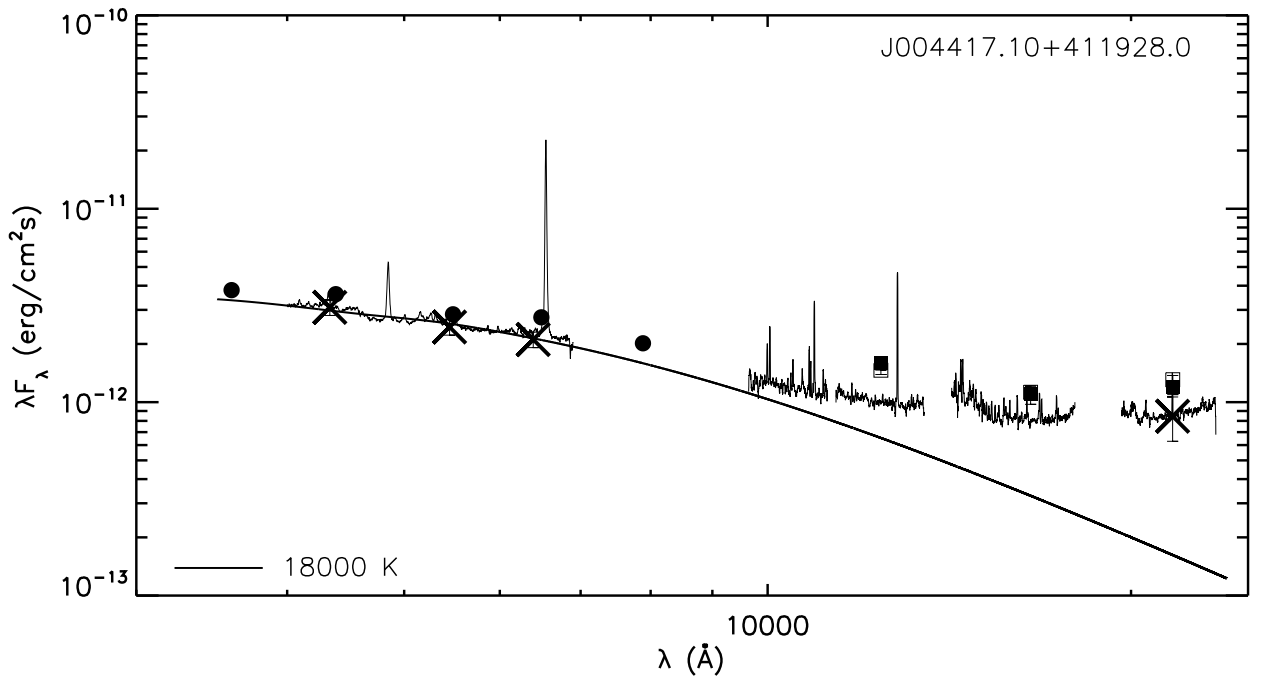


Рисунок 3.3 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для J004417.10.

J004444.52+412804.0

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.4. Использованные фотометрические точки приведены в таблице 7. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения. Объект демонстрирует характерный для В[e]-сверхгигантов резкий избыток излучения в ближней инфракрасной области, связанный с наличием у звезды теплой пылевой оболочки. В результате

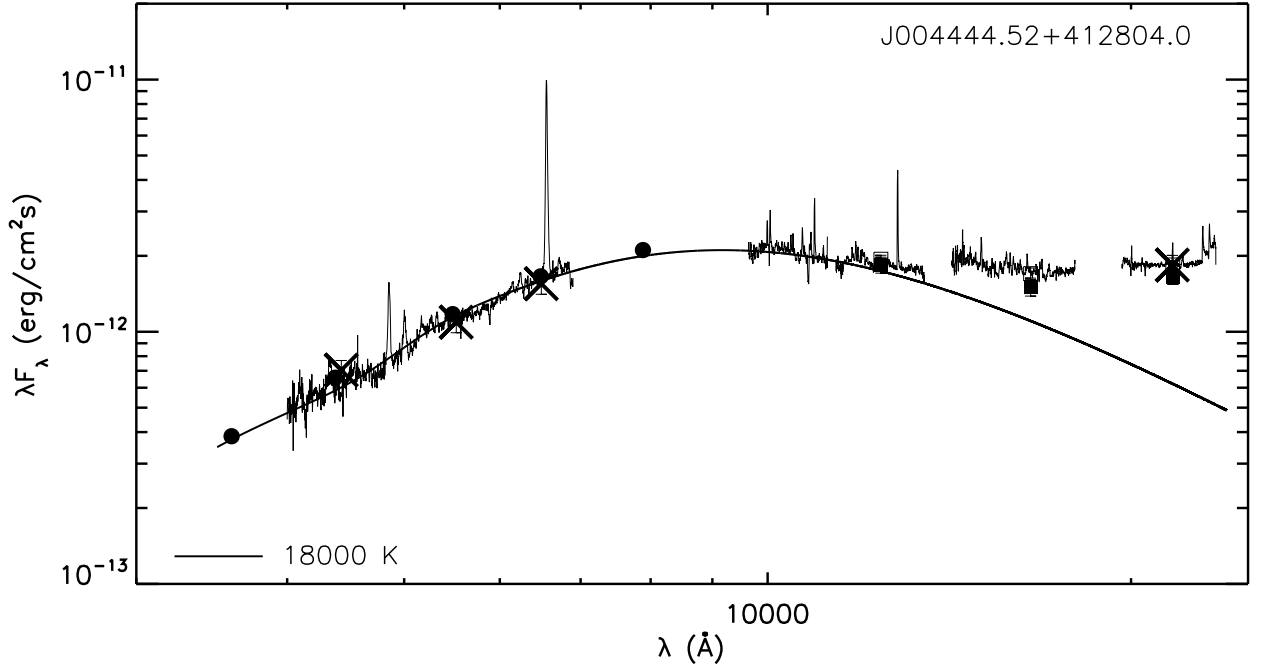


Рисунок 3.4 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для J004444.52.

моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды:

T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
15000–20000	18000 ± 2000	3.6 ± 0.1	160	-9.8	-11.2 ± 0.2

Таблица 7 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004444.52.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины			Источник
19.07.2012*	×	<i>BVR</i>	19.00 ± 0.05	18.16 ± 0.05	17.40 ± 0.05	данная работа
28.09.2011	×	<i>K</i>	14.4 ± 0.1			данная работа
26.06.2001	●	<i>UBVRI</i>	18.978 ± 0.005	19.062 ± 0.004	18.073 ± 0.004	LGGS
			17.326 ± 0.004	16.561 ± 0.005		
04.12.1998	■	<i>JHK</i>	15.81 ± 0.08	15.23 ± 0.09	14.38 ± 0.07	2MASS
14.11.2000	□	<i>JHK</i>	15.75 ± 0.04	15.10 ± 0.06	14.26 ± 0.04	2MASS-6X

J004526.62+415006.3

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.5. Использованные фотометрические точки приведены в таблице 8. Линиями показаны результаты аппроксимации спектральных распределений энергии функцией Планка с учётом межзвёздного поглощения для различных состояний: сплошной линией для данных за 2012 г., пунктирной – для данных LGGs (2000-2001 гг.). В ближней инфракрасной области заметен небольшой плавный избыток излучения, который, вероятно, связан с тормозным излучением в ветре. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды для состояния на 19.07.2012 г.:

T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
10000 - 15000	12000 ± 2000	1.3 ± 0.1	200	-9.4	-10.0 ± 0.2

По полученным и архивным фотометрическим данным (данные каталога LGGs), объект демонстрирует LBV переменность – звезда покраснела с увеличением блеска (см. рисунок 3.5). Это позволило применить для звезды описанный выше метод определения параметров для LBV звёзд, моделируя спектральные распределения энергии в двух различных состояниях объекта. В результате удалось увеличить точность определения параметров и оценить температуру J004526.62 для второго состояния – $T = 18300$ К. Полученные оценки температуры звезды в двух состояниях подтверждают описанное в главе 2 изменение спектрального класса объекта.

Таблица 8 – Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004526.62. Нижние границы звёздных величин обозначены символом « \geq » перед значением.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины			Источник
19.07.2012*	×	<i>BVR</i>	16.82 ± 0.05	16.37 ± 0.05	16.08 ± 0.05	данная работа
24.09.2011	×	<i>K</i>	15.03 ± 0.2			данная работа
18.12.2000*	●	<i>UBVRI</i>	16.754 ± 0.003	17.662 ± 0.003	17.157 ± 0.003	LGGs
			16.839 ± 0.003	16.710 ± 0.003		
04.12.1998	■	<i>JHK</i>	15.93 ± 0.09	15.76 ± 0.14	≥ 15.13	2MASS
14.11.2000	□	<i>JHK</i>	16.62 ± 0.08	≥ 15.82	≥ 15.37	2MASS-6X

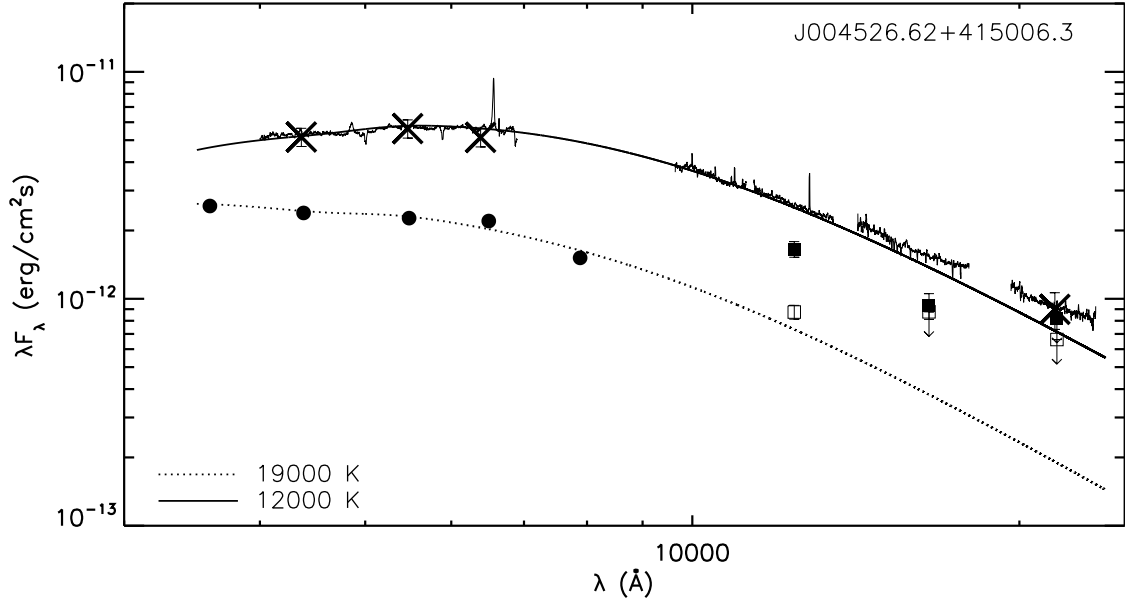


Рисунок 3.5 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для J004526.62.

Var A-1

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.6. Использованные фотометрические точки приведены в таблице 9. Линиями показаны результаты моделирования спектральных распределений энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения для различных состояний: сплошной линией для данных за 2012 г., пунктирной – для данных LGGs (2000-2001 гг., [39]), штриховой – для данных за 1976 г. [66]. В ближней инфракрасной области заметен небольшой плавный избыток излучения, который, вероятно, связан с тормозным излучением в ветре. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды для состояния на 16.09.2012 г.:

T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
20000–27000	25000 ± 1000	1.7 ± 0.1	90	-9.3	-11.5 ± 0.1

Объект Var A-1 является подтвержденной LBV звездой [3], меняющей свой спектр. Для построения спектральных распределений энергии объекта в различных его состояниях использовалось три набора данных: наши фотометрические точки 2012 г., результаты фотометрии, выполненной в

1976 г., из работы [66] и фотометрические данные, полученные в 2000–2001 гг., из каталога LGGS [39]. В результате моделирования спектральных распределений энергии были оценены температуры звезды в эти трех состояниях: $T = 20400$ К – для состояния максимального блеска [66], $T = 25000$ К – для промежуточного состояния, соответствующего нашим данным, $T = 28100$ К – для минимума блеска, соответствующего фотометрии LGGS [39]. Полученные оценки хорошо соотносятся с наблюдаемыми в каждом из состояний спектральными особенностями (глава 2). Величина межзвёздного поглощения, оцененная по водородным эмиссиям в спектре окружающей звезду туманности, $A_V = 1.8^m$ хорошо согласуется со значением этого параметра, полученного из моделирования спектральных распределений энергии – $A_V = 1.7^m \pm 0.1^m$.

Таблица 9 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта Var A-1.

Дата	Символ	Фильтры	Звёздные величины			Источник
16.09.2012*	×	<i>BVR</i>	17.14±0.05	16.77±0.05	16.47±0.05	данная работа
24.09.2011	×	<i>K</i>	15.5±0.2			данная работа
22.06.2001*	●	<i>UBVRI</i>	16.696±0.005	17.354±0.005	17.143±0.004	LGGS
			16.790±0.004	16.641±0.004		
04.12.1998	■	<i>JHK</i>	15.75±0.06	15.54±0.10	15.46±0.15	2MASS
14.11.2000	□	<i>JHK</i>	16.14±0.05	16.07±0.09	15.66±0.08	2MASS-6X
сент. 1976*	○	<i>UBVRI</i>	16.13±0.05	16.67±0.05	16.26±0.05	Hm1984
			15.55±0.05			
нояб. 1980	○	<i>JHK</i>	15.47±0.10	15.24±0.10	15.13±0.10	Hm1984

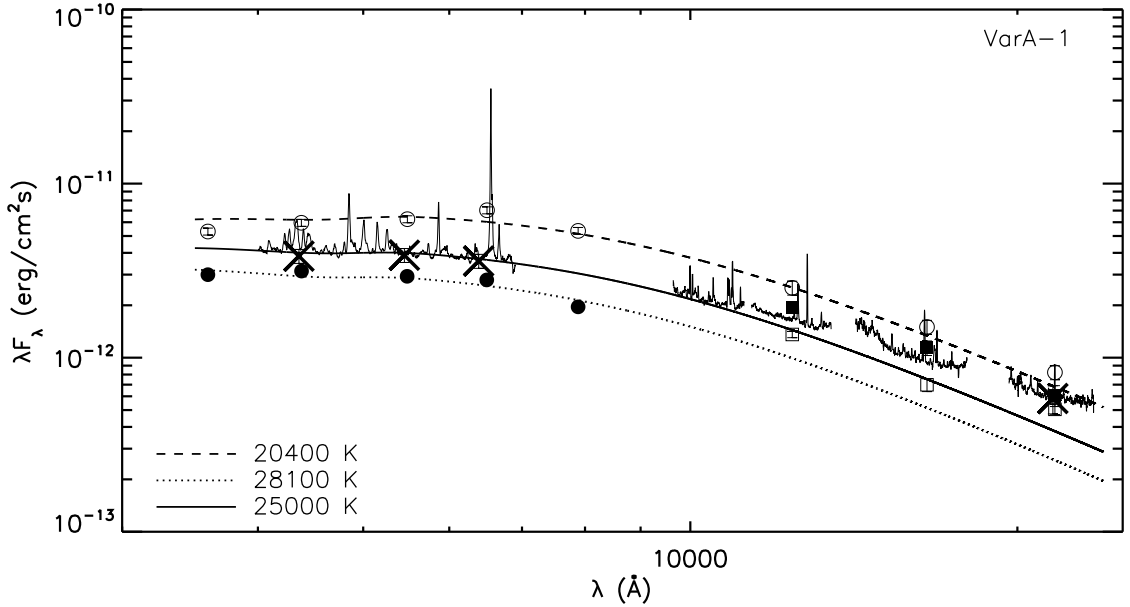


Рисунок 3.6 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для Var A-1.

AE And

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.7. Используемые фотометрические точки приведены в таблице 10. Линиями показаны результаты моделирования спектральных распределений энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения для различных состояний: сплошной линией для данных за 2012 г., пунктирной – для данных LGGs (2000-2001 гг., [39]), штриховой – для данных за 1976 г. [66]. В ближней инфракрасной области заметен небольшой плавный избыток излучения, который, вероятно, связан с тормозным излучением в ветре. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды для состояния на 16.09.2012 г.:

T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
15000–20000	18000 ± 1000	1.0 ± 0.2	100	-8.9	-10.3 ± 0.2

Благодаря значительной переменности объекта как LBV звезды [3] и доступности архивных фотометрических данных нам удалось построить спектральные распределения энергии для трёх эпох, соответствующих различным состояниям объекта. При этом использовались наши фотометрические данные

2012 г., фотометрия за 2000–2001 гг. из каталога LGGS [39], а также фотометрические точки 1976 г. из работы [66]. Спектральные особенности AE And в различных состояниях (глава 2) хорошо соотносятся с оценкам температур, полученных из аппроксимации спектральных распределений энергии: нашему спектру и фотометрии соответствует холодное состояние ($T = 18000$ К), наиболее горячий спектр ($T = 25400$ К) наблюдается по данным Массея и др. [22; 39], а промежуточное состояние ($T = 21600$ К) соответствует данным Хамфрис и др. [66]. Величина межзвёздного поглощения в направлении объекта, оцененная в результате моделирования спектральных распределений энергии, составила $A_V = 1.0^m \pm 0.2^m$.

Таблица 10 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта AE And. Нижние границы звёздных величин обозначены символом « \geq » перед значением.

Дата	Символ	Фильтры	Звёздные величины				Источник
16.09.2012*	×	<i>BVR</i>	16.77±0.05	16.57±0.05	16.31±0.05		данная работа
28.09.2011	×	<i>K</i>	15.9±0.09				данная работа
02.05.2001*	●	<i>UBVRI</i>	16.378±0.005	17.273±0.005	17.426±0.005		LGGS
			17.242±0.005	17.241±0.005			
24.10.1997	■	<i>JHK</i>	16.39±0.13	≥ 15.89 ≥ 15.89		2MASS	
14.11.2000	□	<i>JHK</i>	16.90±0.06	16.64±0.13	16.33±0.13		2MASS-6X
сент. 1976*	○	<i>UBVRI</i>	16.29±0.05	17.10±0.05	17.00±0.05	16.66±0.05	Hm1984
			16.48±0.05				

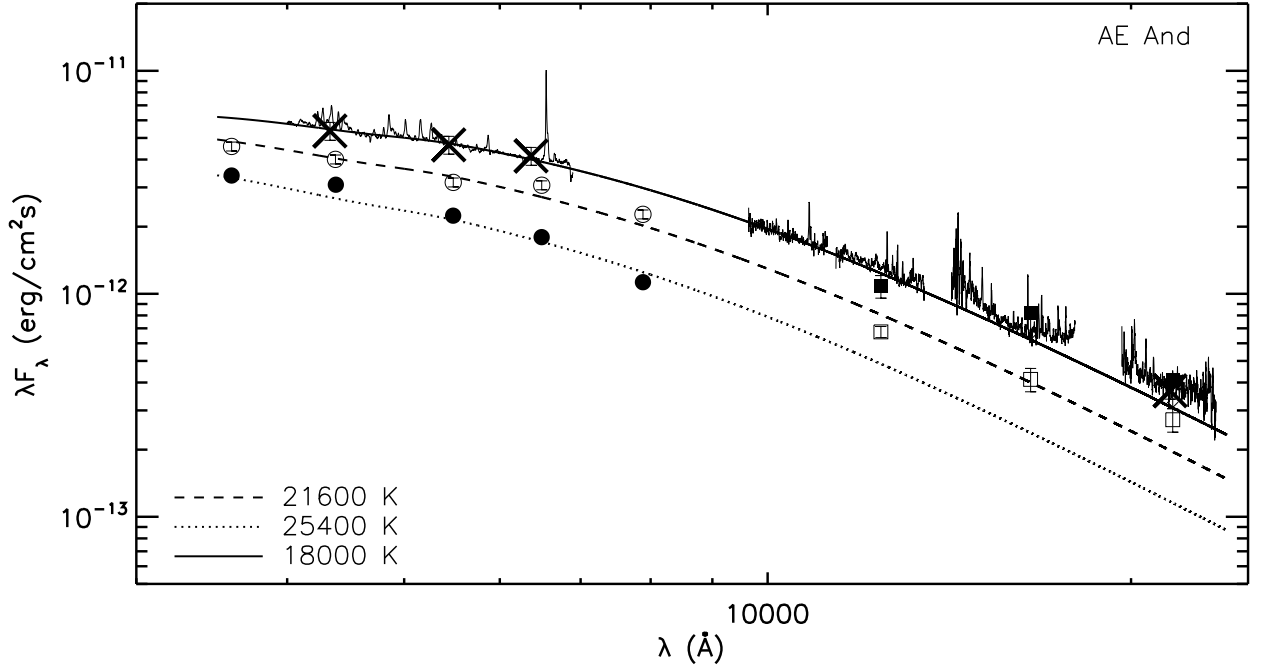


Рисунок 3.7 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для AE And.

J004341.84+411112.0

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.8. Используемые фотометрические точки приведены в таблице 11. Как было показано в главе 2, объект J004341.84 демонстрирует переменность S Dor типа. Это позволило применить для звезды описанный выше метод определения параметров для LBV звёзд, моделируя спектральные распределения энергии в двух различных состояниях объекта. Линиями показаны результаты моделирования спектральных распределений энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения для двух различных состояний: сплошной линией для данных за 2012 г., пунктирной – для данных 2016 г. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды для этих двух состояний:

Дата	T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
16.10.2012	18000–22000	20000	1.9 ± 0.12	87 ± 6	-8.7 ± 0.15	-10.3 ± 0.17
26.09.2016	–	18000		107 ± 7	-9.0 ± 0.15	

Таблица 11 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004341.84.

Дата	Символ	Фильтры	Звёздные величины	Источник
24.10.1997	▽	JHK_s	16.359 ± 0.124 16.184 ± 0.221 15.563 ± 0.210	2MASS
06.04.2002	□	$UBVRI$	17.242 ± 0.007 18.002 ± 0.006 17.547 ± 0.004 17.140 ± 0.006 16.853 ± 0.007	LGGS
25.03.2012	✧	$grizy_{PS}$	17.616 ± 0.020 17.284 ± 0.023 17.182 ± 0.036 17.112 ± 0.138 17.194 ± 0.092	PS1
16.10.2012*	○	BVR	18.02 ± 0.05 17.59 ± 0.03 17.12 ± 0.05	данная работа
26.09.2016*	◇	BVR	17.83 ± 0.08 17.32 ± 0.05 16.91 ± 0.06	данная работа
26.10.2016	△	HK_s	15.85 ± 0.24 15.73 ± 0.06	данная работа

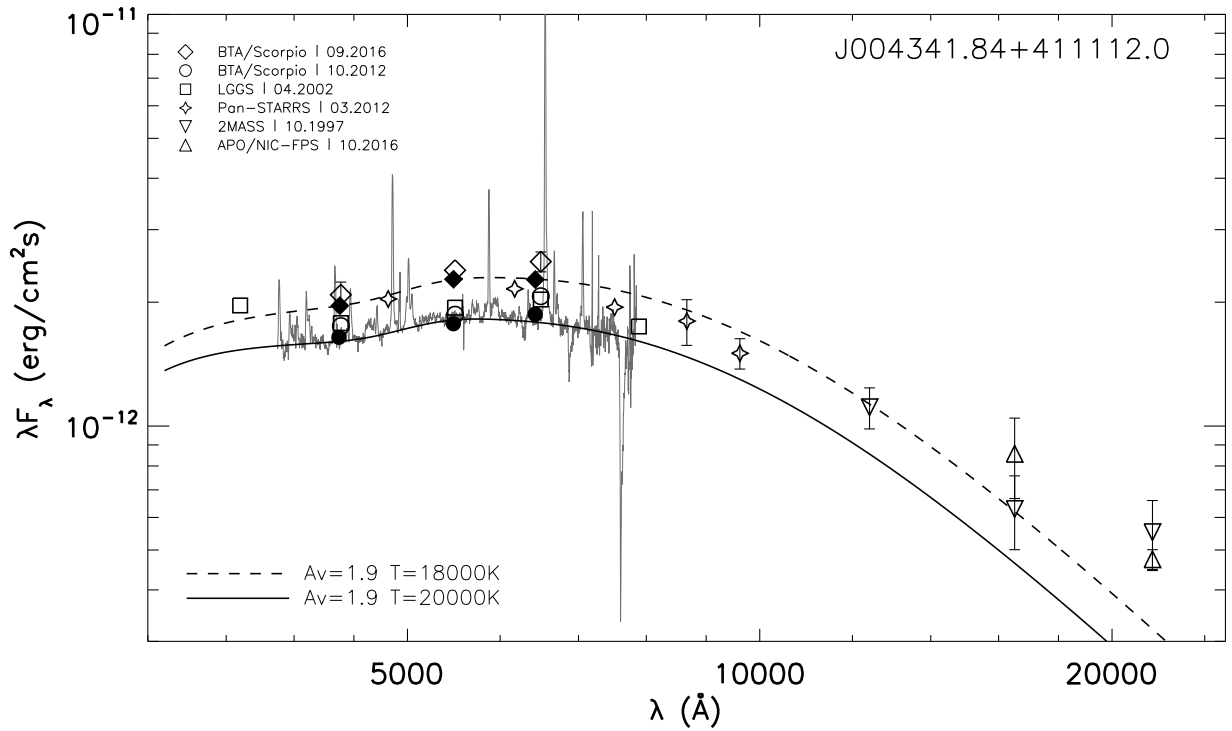


Рисунок 3.8 — Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для J004341.84. Заполненными символами отображены аппроксимируемые наборы данных с учетом вычтенного вклада эмиссионных линий и поправок у эффективных длин волн фильтров в соответствии с наклоном спектра (см. подробнее раздел 3.1). Бары ошибок у фотометрических точек не указаны, если их размер не превосходит размера соответствующего символа.

Также в результате проведенного впоследствии для звезды J004341.84 спектрального и фотометрического мониторинга удалось расширить число доступных для моделирования состояний объекта. На рисунке 3.9 показаны спектральные распределения энергии J004341.84 в трёх различных состояниях и графические результаты их моделирования. По сравнению с рисунком 3.8 здесь добавлены данные 2020 и 2021 гг. Кроме этого, нанесены результаты фотометрии в ближнем ИК-диапазоне, выполненной на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ. После проведения моделирования спектральных распределений энергии с учетом новых данных удалось уточнить предыдущие оценки и определить параметры звезды еще для двух состояний:

Дата	T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_{bol} (m)
16.10.2012		20300 ± 370		87 ± 5	
25.10.2019	17000–22000	19000 ± 350	1.98 ± 0.06	99 ± 4	-10.41 ± 0.12
02.10.2021		17700 ± 300		114 ± 4	

Полученные значения величин межзвёздного поглощения и светимости хорошо соотносятся с оценками из работы [99].

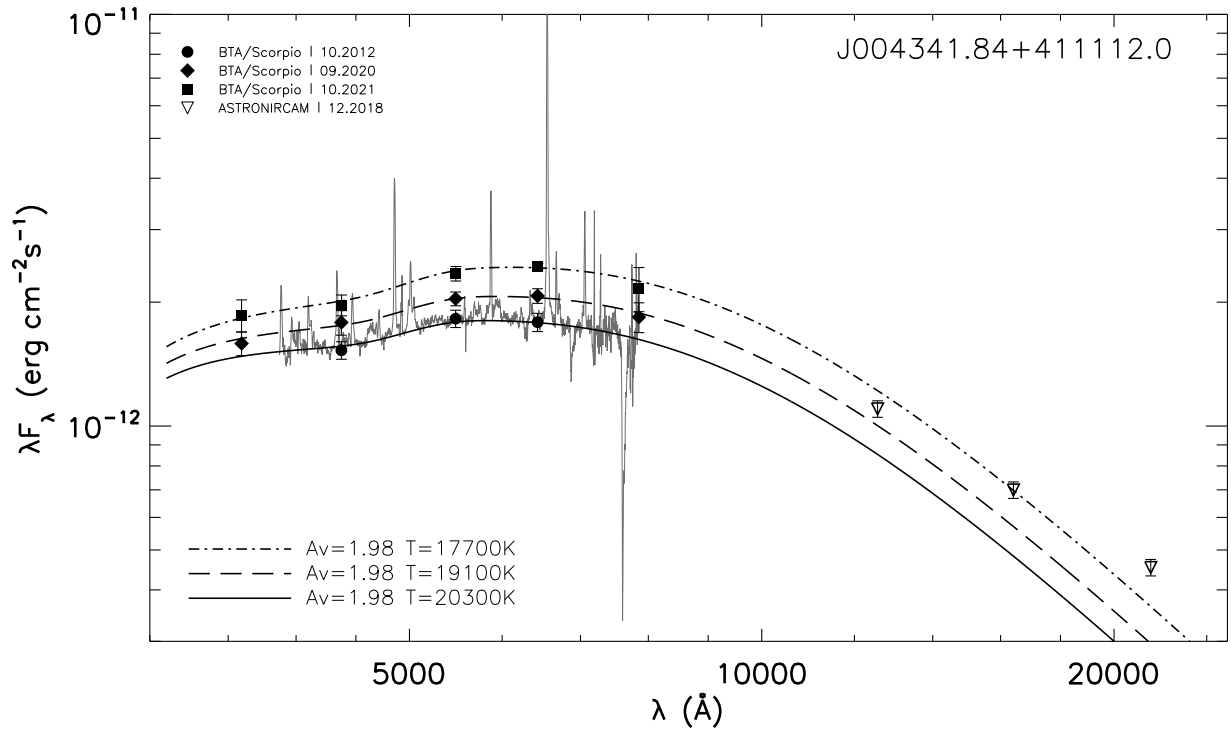


Рисунок 3.9 — Спектральные распределения энергии J004341.84 и результаты их моделирования для трёх различных состояний. Заполненными символами отображены аппроксимируемые наборы данных с учетом вычтенного вклада эмиссионных линий и поправок у эффективных длин волн фильтров в соответствии с наклоном спектра. Кружками показана фотометрия БТА 2012 г., ромбами – 2020 г., квадратами – 2021 г. Бары ошибок у фотометрических точек не указаны, если их размер не превосходит размера соответствующего символа. Линиями показаны результаты моделирования спектральных распределений энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения: сплошной линией для данных за 2012 г., штриховой – для 2020 г. и штрих-пунктирной – для 2021 г.

J004411.36+413257.2

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.10. Использованные фотометрические точки приведены в таблице 12. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвездного поглощения. В спектральном распределении энергии объекта наблюдается значительный, но достаточно плавный ИК избыток без резкого возрастания в области фильтра *K*. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды:

Дата	T_{sp} (К)	T_{SED} (К)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
17.10.2012	12000–18000	15000	2.3 ± 0.20	120 ± 12	-8.8 ± 0.22	-9.8 ± 0.36

Таблица 12 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004411.36.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины			Источник
14.11.2000	▽	<i>JHK_s</i>	16.400 ± 0.053	15.862 ± 0.090	15.395 ± 0.078	2MASS-6X
31.01.2001	□	<i>UBVRI</i>	18.320 ± 0.006	18.813 ± 0.004	18.071 ± 0.003	LGGS
			17.455 ± 0.004	16.959 ± 0.005		
24.03.2012	☆	<i>grizy_{PS}</i>	18.371 ± 0.013	17.615 ± 0.044	17.392 ± 0.049	PS1
			17.372 ± 0.036	17.356 ± 0.047		
17.10.2012*	○	<i>BVR</i>	18.61 ± 0.07	17.89 ± 0.05	17.38 ± 0.07	данная работа
26.10.2016	△	<i>JHK_s</i>	16.24 ± 0.11	15.71 ± 0.09	15.40 ± 0.06	данная работа

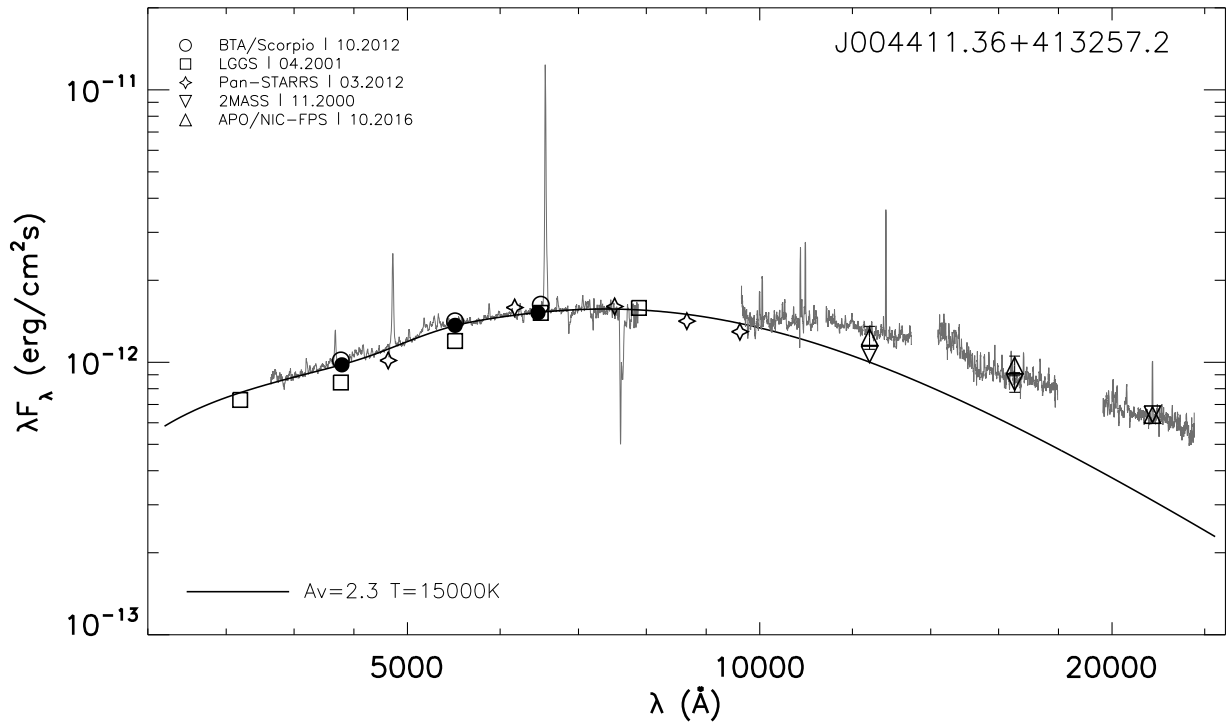


Рисунок 3.10 — Спектральное распределение энергии для объекта J004411.36. Заполненными символами отображен аппроксимируемый набор данных с учетом вычтенного вклада эмиссионных линий и поправок у эффективных длины волн фильтров в соответствии с наклоном спектра (см. подробнее раздел 3.1). Бары ошибок у фотометрических точек не указаны, если их размер не превосходит размера соответствующего символа.

J004415.00+420156.2

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.11. Используемые фотометрические точки приведены в таблице 13.

Объект J004415.00 потребовал особого внимания при изучении его спектрального распределения энергии. В его спектре наблюдаются достаточно большие скачки у границ спектральных серий водорода. На рисунке 3.11 вертикальными стрелками показаны границы серий Бальмера, Пашена, Бреккета и Пфунда. Скачек на границе серии Бреккета хорошо заметен на инфракрасном спектре, бальмеровский и пашеновский скачки видны по фотометрическим данным. Такие инверсные скачки у границ спектральных серий водорода свидетельствуют о значительном вкладе в континуум тормозного излучения

и фоторекомбинации. Это в свою очередь указывает на наличие у звезды ионизированной околозвездной оболочки (диска), являющейся источником указанных излучений. Все указанные признаки являются характерными для В[e]-сверхгигантов [26; 100; 101].

Для расчета вкладов тормозного излучения и фоторекомбинации в континуум объекта использовался пакет программ для спектральной диагностики астрофизической плазмы CHIANTI [102; 103]. Для расчетов был рассмотрен случай изотермальной, чисто водородной плазмы с температурой $T_e=10000$ К, который соответствует характерным условиям для В[e]-сверхгигантов [104]. Для учета явного инфракрасного избытка в спектральном распределении энергии мы также включили в модель пылевую компоненту, переставленную как эффективное чернотельное излучение с температурой около 1000 К, что также соответствует характерным параметрам околозвездной пыли В[e]-сверхгигантов [104]. Достичь наилучшего соответствия модельного спектра и наблюдаемого распределения энергии удалось при следующих параметрах: $T_e = 10000$ К, $EM = 1.37 \times 10^{39} \text{ cm}^{-5}$ (мера эмиссии), $T_{\text{star}} = 15000$ К, $R_{\text{star}} = 43R_{\odot}$, $A_V = 1.1$, $T_{\text{dust}} = 1050$ К. Результаты аппроксимации спектрального распределения энергии показаны на рисунке 3.11: штриховой линией показано чернотельное излучение, пунктирной линией обозначен вклад тормозного излучения и фоторекомбинации, штрих-пунктирной линией – пылевая компонента, сплошная линия показывает суммарный модельный спектр. Все указанные спектры показаны с учетом межзвездного поглощения по закону из работы [94] (в предположении, что величина отношения полного поглощения к селективному $R_V = 3.1$) при значении $A_V=1.1$, полученном как оптимальный параметр. Поскольку объект J004415.00 не демонстрирует существенной фотометрической переменности, то при моделировании помимо одновременных данных БТА мы также использовали ряд архивных фотометрических точек, указанных в таблице 13. Для демонстрации соответствия модельного и наблюдаемого распределения энергии, на рисунке заполненными кружками также показана синтетическая фотометрия суммарного модельного континуума умноженного на нормированный спектр объекта. Стоит отметить, что так как модельные параметры получены в изотермальном приближении и при фиксированных температурах звезды и околозвездной плазмы, то их значения приводятся без указания ошибок. Тем не менее, этих оценок достаточно для установления нижней границы

Таблица 13 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004415.00.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины				Источник
05.11.1998	▽	JHK_s	16.791 ± 0.160	16.050 ± 0.196	14.540 ± 0.076		2MASS
06.10.2000*	□	$UBVRI$	17.770 ± 0.009	18.563 ± 0.008	18.291 ± 0.005		LGGS
			17.230 ± 0.007	17.319 ± 0.009			
02.02.2012*	◇	$grizy_{PS}$	18.276 ± 0.018	17.257 ± 0.012	17.710 ± 0.008		PS1
			17.638 ± 0.037	17.801 ± 0.039			
04.09.2015*	○	$BVRI$	18.57 ± 0.05	18.24 ± 0.02	17.20 ± 0.04	17.22 ± 0.03	данная работа
26.10.2016*	△	JHK_s	16.63 ± 0.05	15.86 ± 0.10	14.52 ± 0.03		данная работа

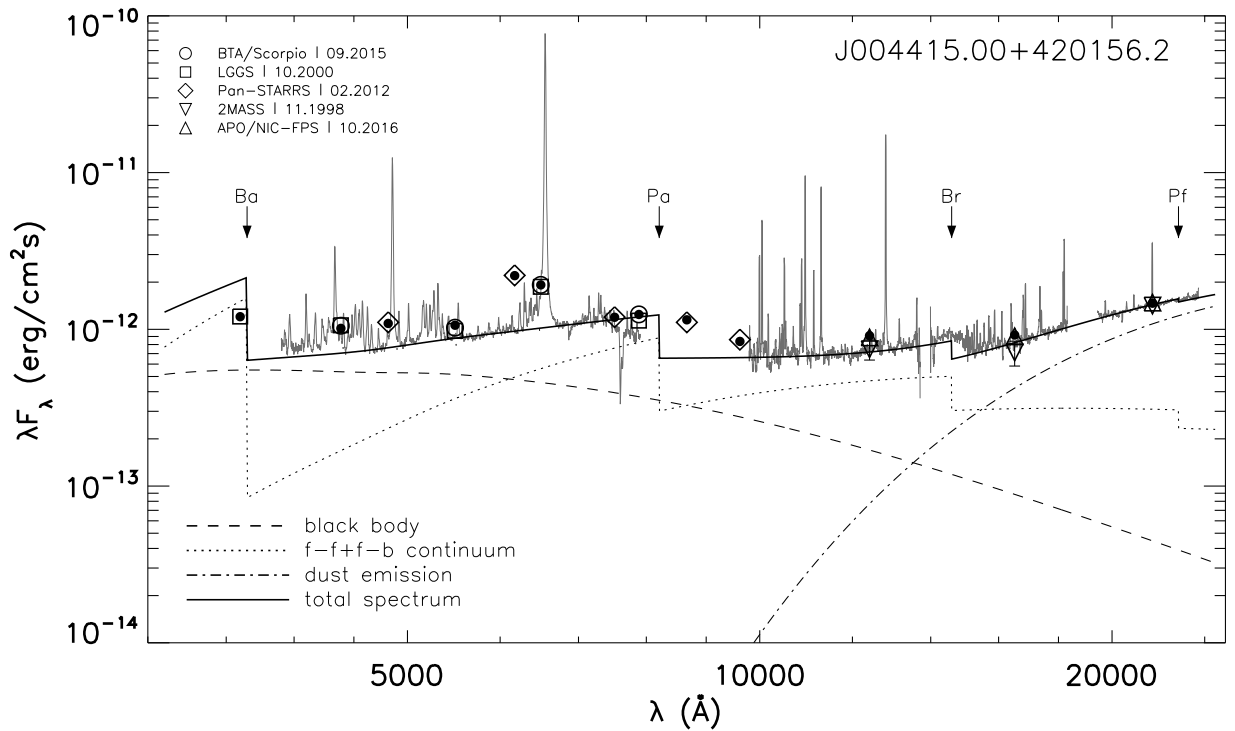


Рисунок 3.11 — Спектральное распределение энергии для объекта J004415.00. Бары ошибок у фотометрических точек не указаны, если их размер не превосходит размера соответствующего символа.

боллометрической светимости, необходимой для дальнейшей классификации объекта. Итоговые оценки параметров звезды на дату наблюдений:

Дата	T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_\odot)	M_V (m)	M_{bol} (m)
04.09.2015	13000–17000	15000	1.1	43	-7.3	≤ -7.5

Стоит отметить, что оценка боллометрической звездной величина, не учитывает вклад тормозного излучения и пылевых компонент.

J004507.65+413740.8

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.12. Использованные фотометрические точки приведены в таблице 14. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвездного поглощения. В спектральном распределении энергии объекта наблюдается значительный, но достаточно плавный ИК избыток без резкого возрастания в области фильтра *K*. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды на дату наблюдений:

Дата	T_{sp} (К)	T_{SED} (К)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
17.01.2015	12000–16000	14000	1.0 ± 0.12	158 ± 10	-9.2 ± 0.14	-10.1 ± 0.34

Таблица 14 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004507.65.

Дата	Символ	Фильтры	Звездные величины				Источник
04.12.1998	∇	<i>JHK_s</i>	15.448 ± 0.049	15.343 ± 0.097	15.025 ± 0.106		2MASS
06.10.2000	□	<i>UBVR</i>	15.908 ± 0.007	16.428 ± 0.006	16.145 ± 0.004		LGGS
			15.934 ± 0.006				
14.11.2000	△	<i>JHK_s</i>	15.506 ± 0.031	15.487 ± 0.061	15.265 ± 0.063		2MASS-6X
27.12.2011	✧	<i>grizy_{PS}</i>	16.198 ± 0.010	16.125 ± 0.051	16.083 ± 0.017		PS1
			16.170 ± 0.104	16.179 ± 0.011			
17.01.2015*	○	<i>BVRI</i>	16.52 ± 0.06	16.18 ± 0.03	15.96 ± 0.03	15.73 ± 0.10	данная работа

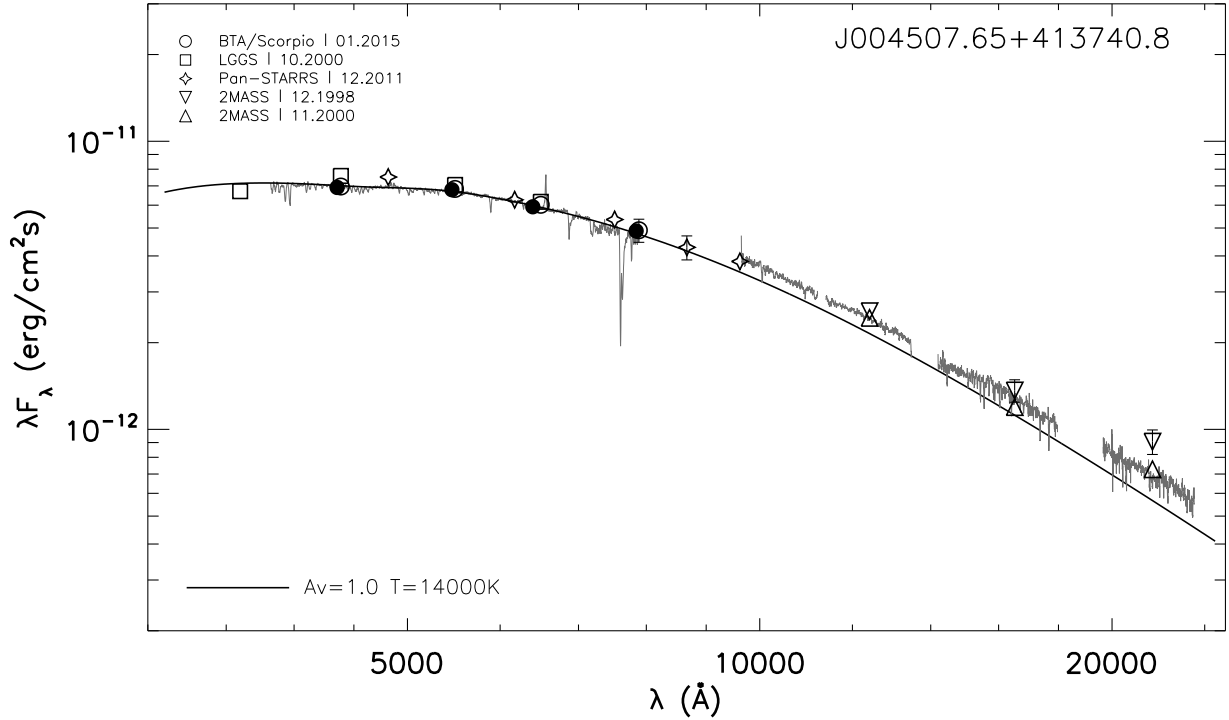


Рисунок 3.12 — Спектральное распределение энергии для объекта J004507.65. Заполненными символами отображен аппроксимируемый набор данных с учетом вычитенного вклада эмиссионных линий и поправок у эффективных длин волн фильтров в соответствии с наклоном спектра (см. подробнее раздел 3.1). Бары ошибок у фотометрических точек не указаны, если их размер не превосходит размера соответствующего символа.

J004621.08+421308.2

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.13. Используемые фотометрические точки приведены в таблице 15. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения. В спектральном распределении энергии объекта наблюдается значительный ИК-избыток, очевидно связанный с теплой пылевой оболочкой. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды на дату наблюдений:

Дата	T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
04.09.2015	10000–15000	12000	1.2 ± 0.19	92 ± 8	-7.6 ± 0.21	-8.2 ± 0.41

Таблица 15 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта J004621.08.

Дата	Символ	Фильтры	Звёздные величины	Источник
05.11.1998	▽	JK_s	16.808 ± 0.171 15.151 ± 0.128	2MASS
02.10.2000	□	$UBVRI$	17.876 ± 0.008 18.449 ± 0.006 18.155 ± 0.004 17.721 ± 0.006 17.389 ± 0.008	LGGS
25.04.2012	◇	$grizy_{PS}$	18.073 ± 0.017 17.778 ± 0.020 17.858 ± 0.046 17.790 ± 0.058 17.849 ± 0.077	PS1
04.09.2015*	○	$BVRI$	18.31 ± 0.03 17.94 ± 0.05 17.58 ± 0.03 17.30 ± 0.03	данная работа
26.10.2016	△	HK_s	16.22 ± 0.12 15.21 ± 0.09	данная работа

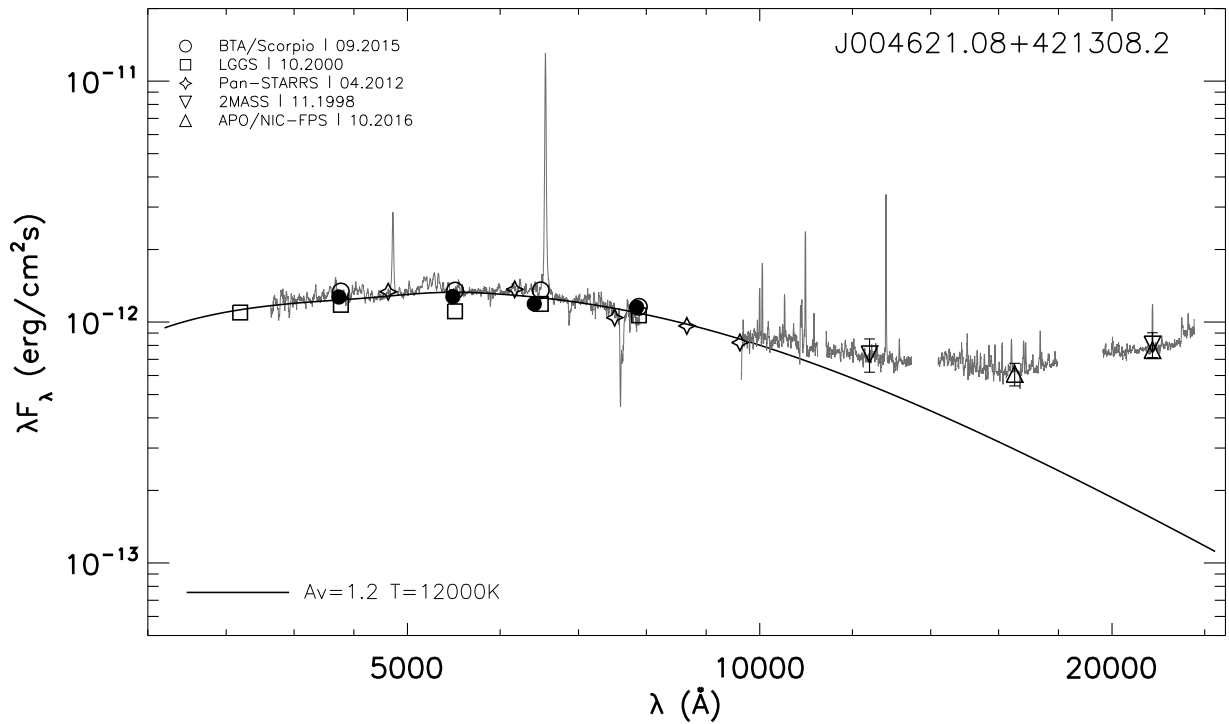


Рисунок 3.13 — Спектральное распределение энергии для объекта J004621.08. Заполненными символами отображен аппроксимируемый набор данных с учётом вычтенного вклада эмиссионных линий и поправок у эффективных длин волн фильтров в соответствии с наклоном спектра (см. подробнее раздел 3.1). Бары ошибок у фотометрических точек не указаны, если их размер не превосходит размера соответствующего символа.

MN112

Спектральное распределение энергии и результаты его моделирования для объекта представлены на рисунке 3.14. Используемые фотометрические точки приведены в таблице 16. Черной сплошной линией показана аппроксимация оптического участка спектрального распределения энергии функцией Планка с учетом межзвёздного поглощения. В ближней инфракрасной области заметен плавный избыток излучения, который, вероятно, связан с тормозным излучением в ветре звезды. В результате моделирования спектрального распределения энергии были определены следующие параметры звезды на дату наблюдений:

Дата	T_{sp} (K)	T_{SED} (K)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_V (m)	M_{bol} (m)
17.08.2015	18000–22000	19000	8.4 ± 0.19	60 ± 24	-8.2 ± 0.88	-9.3 ± 0.91

Отметим, что объект находится в условиях большого межзвёздного поглощения – оцененная по спектральному распределению энергии величина A_V составила более 8^m . Значительное межзвёздное поглощение в направлении MN112 также подтверждается наличием большого числа сильных полос межзвёздного поглощения в его спектре (см. главу 2).

Таблица 16 — Фотометрические данные, использованные для построения спектрального распределения объекта MN112.

Дата	Символ	Фильтры	Звёздные величины			Источник
04.05.2000	∇	JHK_s	8.857 ± 0.021	8.016 ± 0.024	7.418 ± 0.021	2MASS
22.04.2009	\square	BVI	17.13 ± 0.12	14.53 ± 0.03	11.15 ± 0.03	Gv2010
30.05.2011	\diamond	gr_{PS}	15.712 ± 0.020	13.381 ± 0.013		PS1
17.08.2015*	\circ	BVR	16.84 ± 0.06	14.43 ± 0.08	12.65 ± 0.07	данная работа

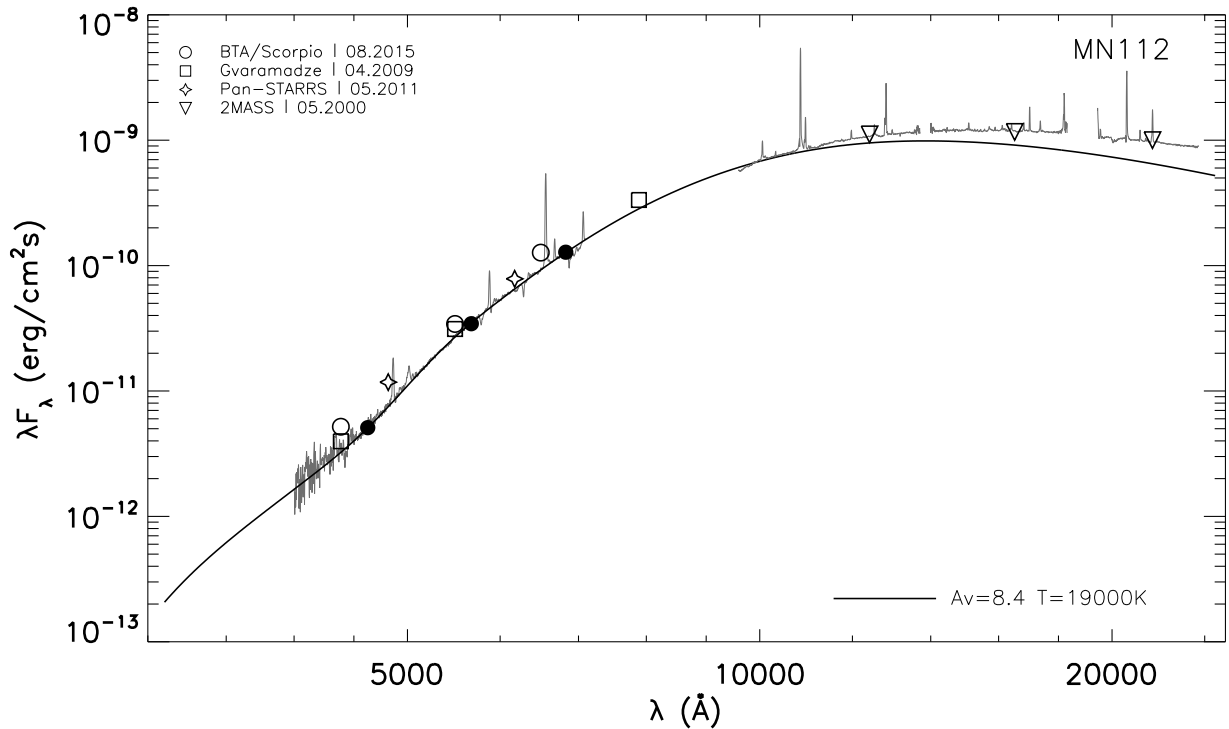


Рисунок 3.14 — Спектральное распределение энергии для объекта MN112. Заполненными символами отображён аппроксимируемый набор данных с учетом вычитенного вклада эмиссионных линий и поправок у эффективных длин волн фильтров в соответствии с наклоном спектра (см. подробнее раздел 3.1). Бары ошибок у фотометрических точек не указаны, если их размер не превосходит размера соответствующего символа.

3.2 Классификация звезд

J004051.59+403303.0

Фотометрическая переменность звезды по полученным и архивным данным ($\Delta V = 0.34^m \pm 0.05^m$) похожа на переменность LBV. Спектральные особенности объекта и его светимость также не исключают его возможной классификации как LBV звезды. Тем не менее для звезды не удалось обнаружить спектральной переменности. Учитывая это, J004051.59 остается LBV кандидатом. Для подтверждения LBV статуса требуется дальнейший спектральный и фотометрический мониторинг объекта.

J004350.50+414611.4

Хамфрис и др. [3] классифицировали эту звезду как сверхгигант промежуточного типа (A5I). Его спектр и светимость соответствуют LBV классу. Однако демонстрируемая звездой на данный момент незначительная фотометрическая переменность α Cyg типа [31], связанная с флуктуациями звёздного ветра, не позволяет подтвердить статус LBV. Возможно, это «спящая» LBV звезда. Объект остается LBV кандидатом, для подтверждения которого требуется фотометрический и спектральный мониторинг.

J004417.10+411928.0

В работе [3] авторы классифицировали объект как звезду с эмиссионными линиями Fe II. Помимо многочисленных линий Fe II и [Fe II] в полученных спектрах звезды обнаруживаются линии [Ca II] 7291, 7323 Å, а также линии ^{12}CO , которые предполагают наличие теплой пылевой оболочки у звезды и являются характеристическими линиями V[e]-сверхгигантов. В спектральном распределении энергии объекта наблюдается значительный избыток в ближнем ИК диапазоне связанный с наличием горячей пылевой оболочки. Таким образом, звезда демонстрирует все признаки V[e]-звезд [104]. Полученная оценка светимости объекта ($M_{\text{bol}} = -9.6 \pm 0.1$) позволяют классифицировать его как V[e]-сверхгигант.

J004444.52+412804.0

Хамфрис и др. [2] отнесли звезду к теплым сверхгигантам. Однако полученные авторами параметры $A_V = 1.5^m \div 2.6^m$, $T = 7000 \div 9000$ К (соответствует спектральному классу F0Ia) не согласуются с нашими оценками (см. раздел 3.1). В спектре звезды преобладают эмиссионные линии Fe II и [Fe II], также присутствуют эмиссии [Ca II] [O I], ^{12}CO , являющиеся характерными спектраль-

ными признаками В[e]-сверхгигантов. Помимо этого имеет место типичный для В[e]-сверхгигантов избыток излучения в ближнем ИК-диапазоне, связанный с наличием у объекта тёплой пылевой оболочки (диска). По характерным признакам и высокой светимости ($M_{\text{bol}} = -11.2 \pm 0.2$) мы классифицируем эту звезду как В[e]-сверхгигант.

J004526.62+415006.3

По полученным и архивным фотометрическим данным очевидно, что объект демонстрирует LBV переменность: звезда покраснела с увеличением блеска на $\Delta V \approx 0.8^m$ (см. главу 2 и раздел 3.1). Фотометрическая переменность сопровождается спектральной: если в спектре, представленном в работе [22], наблюдались множественные эмиссионные линии Fe II и слабые эмиссии He I, то в полученном нами спектре линии Fe II стали гораздо слабее или даже перешли в абсорбции, а линии He I не обнаруживаются. Более того, в ходе проведенного на БТА/SCORPIO более детального спектрального мониторинга было показано, что объект J004526.62 демонстрирует спектральные переходы, типичные для LBV звёзд (глава 2). Указанная характерная фотометрическая и спектральная переменность, а также высокая светимость ($M_{\text{bol}} = -10.0 \pm 0.2$) позволили классифицировать объект как звезду LBV. Впоследствии статус LBV у звезды J004526.62 был подтвержден в работе [86].

J004341.84+411112.0

Эта звезда была впервые представлена как LBV кандидат в 2006 году [39] и за удивительную спектральную схожесть с одной из известнейших LBV, P Cyg, была названа «Двойником P Cyg в M31» [99]. Тем не менее, несмотря на указанную спектральную близость к P Cyg, на том момент не удалось обнаружить переменность объекта и, соответственно, подтвердить статус LBV. Позже в работах [22] и [3] авторы классифицировали этот LBV кандидат как Of/late-WN звезду. В полученном нами спектре мы видим широкие эмисси-

онные линии $H\alpha$ и $H\beta$, линии $Fe\text{III}$ и $He\text{I}$ с профилями P Cyg. В целом спектр объекта действительно очень близок к спектру P Cyg, что говорит об общих природе и классе объектов. В результате проведенного спектрального мониторинга была также обнаружена переменность линии $He\text{II}$ 4686, которая указывает на LBV нестабильность у звезды. На кривой блеска за период с 2010 по 2020 гг. J004341.84 показывает фотометрическую переменность объекта с амплитудой порядка 0.4^m с общим трендом увеличения блеска $\Delta R > 0.1^m$ (см. главу 2). При этом увеличение блеска объекта, в полном согласии с поведением LBV в ходе циклов S Dor переменности [7; 10; 104], сопровождается его покраснением, что соответствует уменьшению температуры звезды вследствие раздувания. На основании обнаруженной спектральной и фотометрической переменности, схожести спектра с P Cyg, а также соответствия светимости объекта ($M_{\text{bol}} = -10.41^m \pm 0.12^m$) типичным её значениям для LBV звёзд объект J004341.84 может быть отнесен к классу LBV.

J004411.36+413257.2

В работе [2] авторы классифицировали объект как звезду с эмиссионными линиями $Fe\text{II}$. Для объекта не обнаружено значительной фотометрической переменности. В спектре объекта видны линии $[Ca\text{II}]$ 7291, 7323 Å, указывающие на оболочку тёплой пыли, окружающую звезду, что, как правило, характерно для $V[e]$ -звёзд. Кроме этого, спектр J004411.36 демонстрирует достаточно сильные линии водорода и значительное число эмиссий $Fe\text{II}$. Однако типичные для $V[e]$ -сверхгигантов запрещенные линии железа $[Fe\text{II}]$, как и линии $[O\text{I}]$, в спектре отсутствуют. Стоит также отметить, что в спектральном распределении энергии объекта наблюдается ИК-избыток. Однако он, в отличие от избытков у $V[e]$ -сверхгигантов J004415.00, J004417.10 и J004444.52, более плавный в области фильтра K , как у всех исследованных в работе LBV звёзд (см. раздел 3.1). По наблюдаемым спектральным особенностям объект J004411.36 отнесен к классу $Fe\text{II}$ эмиссионных звёзд. Тем не менее обнаруженная переменность линии $He\text{I}$ объекта может свидетельствовать о том, что это «спящая» LBV.

J004415.00+420156.2

В работе [22] звезда была классифицирована как горячий LBV кандидат. Объект был внесен в список подтверждённых V[e]-сверхгигантов в M31 [28]. Наш оптический спектр почти идентичен спектрам, приведённым [22] и [2]. Он характеризуется наличием сильных эмиссионных линий бальмеровской серии, эмиссионных линий Fe II, [Fe II], [O I], яркими эмиссиями [Ca II] 7291, 7323 Å, а также отсутствием линий He I. В спектральном распределении энергии объекта наблюдается значительный избыток в ближнем ИК-диапазоне, связанный с наличием горячей пылевой оболочки (см. раздел 3.1). Таким образом, звезда демонстрирует все признаки характерные для V[e]-феномена [104]. Наша оценка светимости объекта ($M_{\text{bol}} \leq -7.5^m$) соответствует характерным значениям светимостей V[e]-сверхгигантов [104]. Это позволяет подтвердить классификацию этого объекта как V[e]-сверхгиганта [4; 28].

J004507.65+413740.8

В работе [22] авторы предположили, что это холодная LBV звезда и отметили ее спектральную схожесть с известной LBV в M33, Var B. В нашем спектре наблюдаются следующие особенности водородных линий: присутствует H α эмиссия, линия H β заполнена, H γ - в абсорбции. Также спектр объекта J004507.65 демонстрирует абсорбционные линии Fe II и Si II (6347, 6371 Å), отсутствие линий He I. В ИК-спектре не наблюдается ни избытка, ни линий [Ca II] и Ca II. В целом оптический спектр J004507.65 похож на спектр V532 (звезда Романо [37]) 1992 г., когда эта LBV звезда находилась в максимуме блеска [92; 93]. Тем не менее нам не удалось обнаружить переменность объекта ни по нашим, ни по архивным данным. Хамфрис и др. [2] классифицировали эту звезду как промежуточный сверхгигант A5–A8 с эмиссией H α . Оцененные нами значения болометрической светимости ($M_{\text{bol}} = -10.1 \pm 0.34$) и радиуса ($R/R_{\odot} = 158 \pm 10$) позволяют классифицировать объект как теплый гипергигант.

J004621.08+421308.2

Эта звезда была отнесена к LBV кандидатам [83] и [22]. Мы не обнаружили переменности объекта по нашим и архивным данным. В работе [6] авторы заключили, что спектр звезды соответствует сверхгиганту позднего А класса. В красном диапазоне спектра J004621.08 имеет линии Ca II, [Ca II] и ^{12}CO , которые указывают на наличие разреженной туманности вокруг объекта. На это же указывает демонстрируемый объектом ИК-избыток в фильтрах *JHK*. Оптический спектр звезды характеризуется широкими эмиссиями H α и H β , большим числом эмиссионных линий Fe II, а также рядом линий [Fe II]. Однако водородные линии бальмеровской серии после H β начинают переходить в абсорбции, а в спектре, как уже отмечалось, имеются характерные для сверхгигантов А класса линии Ca II [4; 6]. Поэтому несмотря на то, что звезда демонстрирует ряд спектральных характеристик В[e]-сверхгигантов, она классифицирована как теплый гипергигант, что совпадает с выводами авторов в работе [4].

MN112

Ранее [38], найдя ИК-туманность вокруг объекта MN112 и указав на его спектральную схожесть с P Cyg, мы классифицировали эту звезду как LBV кандидат. Оптический спектр MN112 имеет широкие линии H α и H β , сильные линии He I, а также яркие линии Fe III, N II, Si II и C II. Стоит также отметить наличие большого числа сильных полос межзвёздного поглощения в спектре, свидетельствующего о большой величине межзвёздного поглощения в направлении объекта. Мы впервые получили спектр MN112 в ближнем ИК-диапазоне, в котором аналогично оптическому видны сильные линии водорода серий Пашена и Бреккетта, линии He I с профилем P Cyg, а также линии Mg II в полосе *K*. Спектр MN112 оказался практически идентичным спектру J004341.84 по температуре, хотя последняя звезда имеет большую светимость, чем MN112. Используя определенное по данным миссии Gaia [105] расстояние до MN112 $6.93_{-1.81}^{+2.74}$ кпс [97], на основании спектрального распределения энергии объекта удалось определить для него величину межзвёздного поглощения и уточнить температуру

фотосферы: $A_V = 8.4^m$, $T = 19000$ К. Спектральное сходство MN112 с P Cyg подтверждает физическую близость объектов и, соответственно, указывает на возможность классификации MN112 как LBV звезды. Поэтому, несмотря на то, что нам не удалось обнаружить переменности объекта, мы по-прежнему рассматриваем это объект как LBV кандидат и планируем подтвердить его классификацию в качестве LBV на основе новых данных в будущем.

3.3 Выводы

В данной главе по полученным спектральным и фотометрическим данным в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах, а также архивным данным для изучаемых объектов в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 были построены спектральные распределения энергии. У объектов J004417.10, J004444.52, J004415.00 обнаружены характерные для В[e]-сверхгигантов значительные избытки излучения в ближнем инфракрасном диапазоне, связанные с горячими пылевыми оболочками.

В главе также проведена оценка фундаментальных параметров звёзд на основе построенных спектральных распределений энергии. По наблюдаемым в спектрах объектов линиям и их интенсивностям были оценены эффективные температуры звёзд. Используя эти ограничения при аппроксимации спектральных распределений энергии объектов чернотельным спектром с учётом кривой межзвёздной экстинкции, были получены соответствующие оценки величин межзвёздного поглощения, радиусов и светимостей звёзд. Для LBV звёзд был предложен метод оценки их параметров, основанный на их свойстве менять блеск в оптическом диапазоне при примерно постоянной светимости. В этом случае, аппроксимируя спектральные распределения энергии в различных состояниях звезды и накладывая соответствующие ограничения на температуры и величину межзвёздного поглощения, удастся более точно определить параметры звезды в этих состояниях. Метод был апробирован на примере двух известных LBV звёзд Var A-1 и AE And: были получены оценки эффективных температур в трёх различных состояниях этих объектов. Метод был также применен для определения параметров подтверждённых LBV звёзд J004526.62 и

Таблица 17 — Параметры и классы исследовавшихся объектов в галактике М31 и звезды MN112. Верхняя граница болометрической звёздной величины для объекта J004415.00 обозначена символом « \leq » перед значением. Параметры переменных LBV звёзд приведены для краткости только для одного из состояний.

Объект	T_{sp} (К)	T_{SED} (К)	A_V (m)	R (R_{\odot})	M_{bol} (m)	Класс
J004051.59	18000–24000	22000±2000	1.5±0.1	90±10	-10.9±0.2	LBV кандидат
J004350.50	10000–15000	13000±2500	2.0±0.2	130±12	-9.4±0.2	LBV кандидат
J004417.10	15000–20000	18000±1000	1.0±0.2	70±8	-9.6±0.1	B[e]-сверхгигант
J004444.52	15000–20000	18000±2000	3.6±0.1	160±15	-11.2±0.2	B[e]-сверхгигант
J004526.62	10000–15000	12000±2000	1.3±0.1	200±20	-10.0±0.2	LBV
Var A-1	20000–27000	25000±1000	1.7±0.1	90±9	-11.5±0.1	LBV
AE And	15000–20000	18000±1000	1.0±0.2	100±10	-10.3±0.2	LBV
J004341.84	18000–22000	20300±370	1.98±0.06	87±5	-10.41±0.12	LBV
J004411.36	12000–18000	15000±1000	2.3±0.20	120±12	-9.8±0.36	FeII звезда
J004415.00	13000–17000	15000	1.1	43	\leq -7.5	B[e]-сверхгигант
J004507.65	12000–16000	14000±1000	1.0±0.12	158±10	-10.1±0.34	Теплый гипергигант
J004621.08	10000–15000	12000±1000	1.2±0.19	92±8	-8.2±0.41	Теплый гипергигант
MN112	18000–22000	19000±1000	8.4±0.19	60±24	-9.3±0.91	LBV кандидат

J004341.84 в двух различных состояниях. Оцененные значения светимостей объектов соответствуют значениям для известных LBV звёзд в галактике М31 [3].

Вторая часть главы посвящена классификации исследуемых объектов в галактике М31 и звезды MN112. По результатам проведенных спектральных и фотометрических исследований, анализа спектральных распределений энергии и на основе полученных параметров звёзд была проведена их классификация либо ее уточнение: у двух кандидатов J004526.62+415006.3, J004341.84+411112.0 подтвержден статус LBV, три звезды J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2 классифицированы как B[e]-сверхгиганты, две звезды J004507.65+413740.8, J004621.08+421308.2 — как теплые гипергиганты, звезда J004411.36+413257.2 отнесена к классу железных эмиссионных звёзд. Остальные объекты J004051.59, J004350.50, MN112, несмотря на наличие у них характерных спектральных признаков и высокую светимость, не удастся окончательно отнести к LBV звёздам, поскольку они не демонстрируют S Dor переменности. Эти звезды остаются LBV кандидатами и требуют дальнейшего изучения для подтверждения статуса LBV.

В таблице 17 суммированы результаты оценок параметров исследовавшихся объектов в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 и их классификации.

Глава 4. Спектральный атлас сверхгигантов и гипергигантов О9.5–А1 в галактике Млечный Путь

Настоящий атлас — добавочный продукт выполнявшихся в САО РАН наблюдательных программ, в которых ярчайшие звёзды Галактики, сверх- и гипергиганты ранних спектральных классов, были объектами исследования или использовались для изучения межзвёздной среды. Спектральные атласы по-прежнему находят широкое применение. Более того, в последнее время спрос на них возрос в связи с резким расширением наблюдательных возможностей. Сегодня атласы особенно востребованы в звёздной спектроскопии высокого разрешения, где с их помощью решаются как собственно астрофизические, так и методические задачи.

Атлас — хорошая форма обобщения и архивации наблюдательного материала. Часто рабочий вариант атласа изготавливается по первому полученному спектру некоторого объекта с тем, чтобы опираться на него при получении, обработке и анализе новых спектров. Но ценность атласа значительно повышается с увеличением количества включённых в него спектров, опираясь на которые удобно отождествлять линии в спектрах звёзд близких спектральных классов, а также выявлять в них различные аномалии. Если атлас демонстрирует постепенное изменение спектра с температурой или светимостью, то правильность отождествления контролируется по усилению или ослаблению линий от спектра к спектру и по изменению формы их профилей. Измерение лучевых скоростей, обычно практикуемое при изготовлении атласа и нацеленное на отождествление линий и описание кинематики атмосферы звезды, также имеет метрологический выход: попутно уточняются эффективные длины волн измеряемых линий.

Среди атласов нового поколения, использующих ПЗС-спектры, имеются как детальные описания спектров отдельных объектов, так и коллекции спектров, полученных в ограниченном интервале длин волн и с умеренным разрешением. Атлас первого типа изготовлен, например, Альбайраком и др. [106] для Денеба (А2 Ia): спектральный диапазон 3800 — 5200 Å, разрешение — до 70000, отношение сигнал-шум — не менее 1000. Второй тип хорошо представлен атласом Леннона и др. [107] — спектры 46 сверхгигантов О9–В9 в диапазоне 3950 — 4950 Å со средним разрешением 5000 и отношением сигнал-шум 150. Представляемый атлас занимает промежуточное положение и тем самым удач-

но дополняет их. Мы сопоставляем спектры двенадцати звёзд O9–A1 от 3600 до 7800 Å со средним разрешением 40000. Главных объектов девять, это сверхгиганты, в основном класса светимости Ia. К ним добавлены в качестве звёзд сравнения еще один сверхгигант (класса светимости Ib) и два карлика с узкими линиями в спектрах.

Таблица 18 — Данные об объектах и их наблюдениях

Звезда	<i>Sp</i>	<i>l</i>	<i>b</i>	<i>V</i>	Дата	Телескоп ¹
Основные объекты						
α Cam	O9.5 Ia	144	14	4.3	23.11.96	1
ϵ Ori	B0.0 Ia	205	−17	1.7	03.12.98	1
HD 13854	B1.2 Ia	134	−4	6.5	06.10.99	2
9 Cep	B2.3 Ib	102	7	4.7	14.09.97	1
55 Cyg	B3.0 Ia	86	2	4.8	15.05.97	1
67 Oph	B4.2 Ib	30	13	3.6	29.09.99	2
β Ori	B8.0 Ia	209	−25	0.1	06.10.99	2
1H Cam	A0.0 Ia	142	2	4.5	15.11.97	2
HD 12953	A1.0 Ia-0	133	−3	5.7	27.09.99	2
Звёзды сравнения						
10 Lac	O9 V	97	−17	4.9	01.09.99	2
ι Her	B3 IV	72	31	3.8	10.06.97	1
η Leo	A0 Ib	220	51	3.5	08.03.98	2

¹1 — 1-м телескоп САО РАН,

2 — 2-м телескоп обсерватории Терскол

Некоторые сведения о них приведены в таблице 18. Это:

- название звёзд и их спектральные классы по нашим оценкам (колонки 1 и 2),
- галактические координаты *l*, *b* (колонки 2 и 3 соответственно, округлены до целых градусов),
- видимые визуальные величины (колонка 3, округлены до десятых зв. вел.),
- даты наблюдений и использованные инструменты (колонка 4).

Поскольку сверхгиганты фотометрически и спектрально переменны, нужно отметить, что в колонке 3 даны средние значения, а приведенный спектральный класс является текущим на момент наблюдений.

4.1 Составление атласа и отождествление линий и полос

Спектры основных девяти объектов представлены двояко: графически как зависимости остаточной интенсивности от длины волны (собственно атлас, рисунок А.1) и в виде таблиц (таблицы 20–22), в которые включены также спектры трех звёзд сравнения. Атлас и таблицы приводятся в приложении А. Для каждого из объектов массивы $r(\lambda)$ отдельных эшелельных порядков, перекрывающиеся по λ , были соединены в единый массив, затем он был разбит на одинаковые фрагменты по 140 Å. Перекрытие порядков уменьшается с длиной волны и, начиная с $\lambda \sim 6600$ Å, уже появляются разрывы кривых $r(\lambda)$. В ближней инфракрасной области многие детали спектров потеряны в этих разрывах или заглушены многочисленными теллурическими линиями. Поэтому графическое представление спектров ограничено непрерывным интервалом 3680–6820 ÅÅ и двумя участками, 7380–7520 ÅÅ и 7680–7820 ÅÅ, содержащими важные линии. В связи с тем, что нестационарность атмосфер сверхгигантов проявляется в заметных дифференциальных сдвигах линий, все графики $r(\lambda)$ смещены по горизонтали так, чтобы положения слабых фотосферных абсорбций пришли в соответствие с их лабораторными длинами волн. При этом, конечно, рассогласовались положения межзвёздных и теллурических абсорбций.

Лабораторные длины волн, использованные непосредственно или как основа для получения их эффективных значений, взяты для звёздных и межзвёздных линий в основном из таблиц Стриганова и Одинцовой [108] и Йоханссона [109], для межзвёздных полос (DIB) – из атласа Галазутдинова и др. [110], для теллурических линий – из таблиц солнечного спектра Пирса и Брекинриджа [111]. Эффективные длины волн были опробованы и уточнены при создании нескольких атласов звёздных спектров высокого разрешения [112–114, др.], их список пополнен и в данной работе. Небольшие инструментальные сдвиги спектров объектов относительно спектров сравнения выявлены и скорректированы с помощью теллурических абсорбций O_2 и H_2O . Остаточные систематические погрешности лучевых скоростей оценены по межзвёздным линиям NaI и KI путем сравнения наших данных с надёжными высокоточными данными Мюнча [115], Хоббса [116; 117], Чаффи и Уайта [118]. Они не превышают 1 – 1.5 км/с.

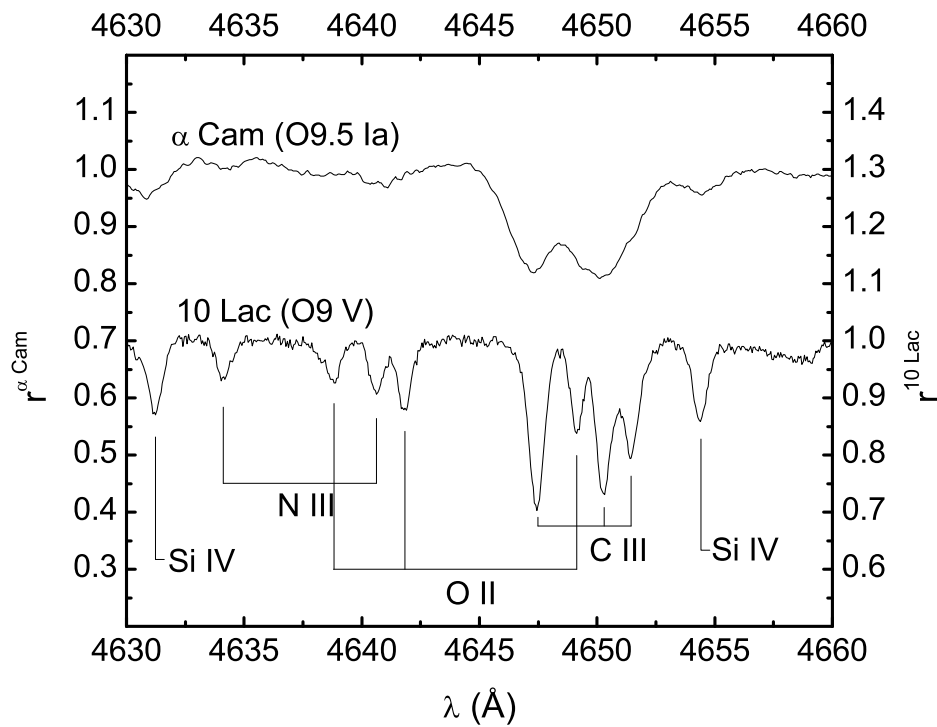


Рисунок 4.1 — Участок спектра α Cam O9.5 Ia в сравнении с тем же участком спектра 10 Lac O9 V. Положения всех линий 10 Lac и слабых фотосферных абсорбций α Cam соответствуют их лабораторным длинам волн.

Звёзды сравнения с их стационарными атмосферами и узкими линиями в спектрах выполняют несколько функций: помогают разобраться в структуре бленд, пополнить списки эффективных длин волн, увидеть ветровые аномалии профилей. Эти функции и их взаимосвязь иллюстрируются рисунками 4.1–4.3. На них для основных и вспомогательных объектов близких спектральных классов сопоставлены одни и те же небольшие участки спектров.

Рисунок 4.1 показывает, как тесные группы линий, разделённых в спектре звезды главной последовательности 10 Lac (O9 V), сливаются в широкие депрессии в спектре сверхгиганта α Cam. Из помеченных на рисунке линий у α Cam отчетливо видны только абсорбции C III, N III и Si IV, во всяком случае только по ним удастся измерить лучевые скорости, в то время как у 10 Lac скорости уверенно измеряются также и по линиям O II. Хотя звёзды различаются по абсолютной величине всего на 2^m , эффект светимости заметен. Прежде всего он сказывается на линиях C III, достигающих в подклассе O9 максимальной интенсивности. О высокой светимости α Cam и о наличии у звезды расширяющейся оболочки (ветра) свидетельствуют также широкие эмиссии в линиях N III 4634, 4641. Регистрация таких слабых и протяжённых деталей – сложная задача для эшельной спектроскопии.

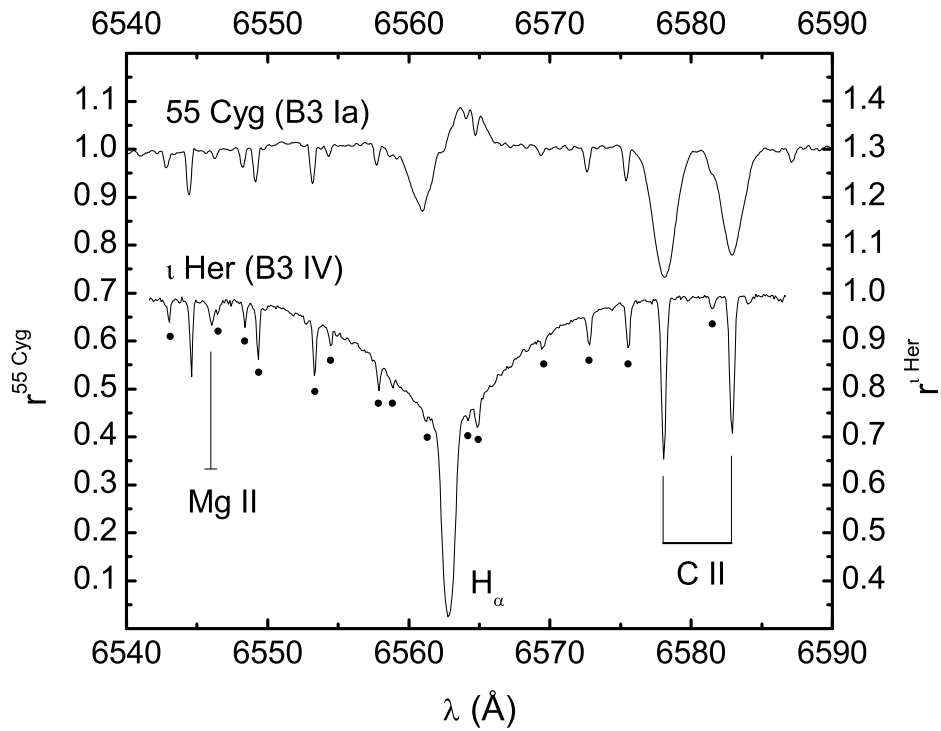


Рисунок 4.2 — То же, что на рисунке 4.1, для 55 Cyg B3 Ia и ι Her B3 IV. Точками помечены линии H_2O земной атмосферы.

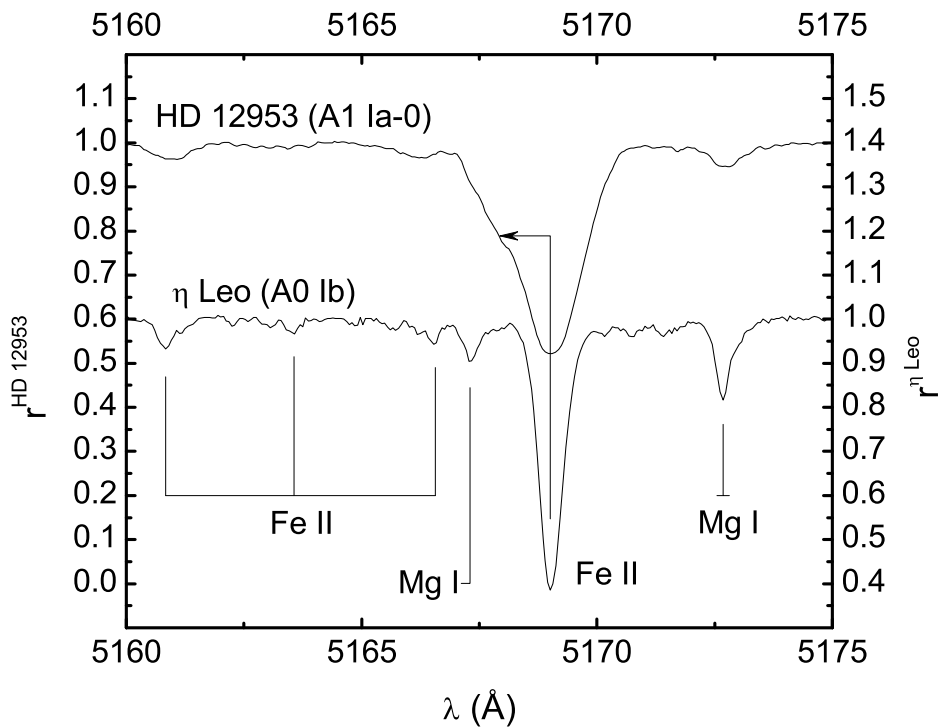


Рисунок 4.3 — То же, что на рисунке 4.1–4.2, для HD 12953 A1 Ia-0 и η Leo A0 Ib. В спектре HD 12953 стрелкой указана ветровая депрессия на синем крыле линии $\text{Fe II}(42)$ 5169 Å.

В паре 55 Cyg B3 Ia – ι Her B3 IV разность абсолютных величин больше, $\Delta M_V \sim 5^m$, и рисунок 4.2 демонстрирует эффект светимости в прямом и обратном вариантах. В спектре карлика ι Her красное крыло фотосферной абсорбции H_α дотягивается до линий C II 6578, 6583, которые много слабее её и почти так же узки, как теллурические линии. В спектре же сверхгиганта 55 Cyg абсорбции C II гораздо интенсивнее, чем у ι Her, и каждая из них сильнее синесмещенной абсорбционной составляющей ветрового профиля H_α .

Рисунок 4.3 показывает окрестности сильной линии Fe II(42) 5169 Å в спектрах HD 12953 A1 Ia-0 и η Leo A0 Ib. У первого объекта абсорбция шире, чем у второго. Нижняя половина профиля симметрична, в ней уширяющее и усиливающее действие турбуленции проявляется в чистом виде. Однако в верхней части профиля симметрия исчезает: виден резкий излом синего крыла, которое оказывается протяженнее красного. Может ли это быть следствием слияния с соседней абсорбцией Mg I 5167? Сравнение с контрольным спектром (даже не карлика, а слабого сверхгиганта) убеждает, что основная причина асимметрии – не блендирование, а ветровая депрессия на синем крыле линии, которая смещена относительно ядра на $-(70 \div 90)$ км/с. Подтверждением этого служит тот факт, что такую же необычную форму имеют профили двух других линий 42-го мультиплета Fe II, 4924 и 5018.

Для удобства сопоставления с графиками $r(\lambda)$ атласа (рисунок A.1, приложение A) в таблицах 20–22 (приложение A) вместо эквивалентных ширин приводятся центральные остаточные интенсивности. Вместе с результатами отождествления спектральных деталей звёздной и межзвёздной природы (теллурические линии исключены), их длинами волн и гелиоцентрическими лучевыми скоростями они собраны в таблицах 20, 21 и 22, соответствующих интервалам спектральных классов O9–B1, B2–B5 и B8–A1. Каждая из таблиц содержит данные для одной звезды сравнения и трех сверхгигантов. Строки с информацией об изолированных деталях, т. е. отдельных линиях или блендах, разделены пробелами. Бленды объединяют линии, профили которых перекрываются в спектре хотя бы одного объекта данной группы.

При отождествлении некоторой линии она рассматривается не изолированно, а как возможный член ансамбля для данного элемента в данной стадии ионизации. Критерии ее отнесения к ансамблю:

- длина волны,
- относительная интенсивность,

- лучевая скорость, соответствующая не только длине волны, но и интенсивности линии (как показано в разд. 5, для сверхгигантов характерно существование зависимостей $V_r(r)$),
- форма профиля (тем более существенная, чем выше светимость звезды).

Кроме того, мы могли проверить правильность отождествления, выйдя за пределы спектра данного объекта и сравнив интенсивность линии в нём и в спектрах соседних объектов атласа. Сопоставим два его фрагмента в интервалах $\lambda\lambda$ 4400–4500 Å и 6500–6600 Å. В первый из них попадает пара сильных линий He I 4472 и Mg II 4481, удобных и традиционно используемых для оценки спектрального класса, т.к. они располагаются по соседству, а их интенсивности изменяются с температурой в противоположных направлениях. Но монотонное изменение интенсивности от спектра к спектру уверенно прослеживается и у гораздо более слабых линий данного фрагмента. Так, абсорбция O II 4415 при переходе от верхней кривой к нижним сначала усиливается, а потом ослабевает, с соседней линией Fe III 4420 происходит то же самое, но с отставанием на два подкласса. Во втором фрагменте такую же эволюцию проходит дублет C II 6578, 6583. Но две спектральных детали по обеим сторонам от него ведут себя совершенно иначе. Профиль H_α при переходе от спектра к спектру изменяет форму, но не постепенно, а скачками (один из них – абсорбция у 67 Ori между P Cug-профилями у 55 Cug и β Ori). Межзвёздная полоса 6614 Å сохраняет форму профиля, но ее глубина не связана со спектральным классом (у ϵ Ori и β Ori она вообще отсутствует). Обратившись к таблице 18, мы найдем в первом случае корреляцию со светимостью звезды, а во втором – с ее галактической широтой и удаленностью.

В связи с увеличением рабочего спектрального диапазона, разрешения и отношения сигнал-шум остаются актуальными отождествление все новых линий (в основном слабых, для которых вероятность блендирования повышена) и определение их эффективных длин волн. Эти процедуры, очевидно, взаимосвязаны.

Приведем примеры определения эффективных длин волн для двух крайних вариантов бленд. Простейший случай — тесные мультиплеты одного элемента, для них искомые длины волн не зависят от спектрального класса сверхгиганта. Как видно из таблиц 20–22, для каждого из триплетов He I использовано по два значения λ , оба взяты из работы Снежко и Ченцова [119].

Меньшее значение, близкое к длине волны главного компонента, использовано для карликов 10 Lac и ι Her, в спектрах которых асимметричные профили триплетов хорошо прорисованы. Большее значение использовано для всех сверхгигантов атласа.

В тех случаях, когда бленду образуют линии разных элементов, приходится учитывать эволюцию эффективной длины волны со спектральным классом. Для абсорбции вблизи 5002 \AA , включающей тесный дублет N II 5001.14, 5001.48 и линию Fe II 5001.92, эволюция происходит особенно резко, скачкообразно. Бленду можно было бы просто отбраковать в выделенном интервале подклассов, что, однако, нежелательно, т. к. ее составляющие неравноценны. В то время как спектр N II обилен одиночными абсорбциями, линия 5001.92 \AA – одна из немногих сильных представительниц важной подгруппы линий Fe II высокого возбуждения [109]. Дублет N II постепенно ослабевает, но остается доминирующим вплоть до подкласса V7. В спектре ι Her он разрешен настолько, что скорости надежно измеряются по обоим компонентам, для сверхгигантов V2–V5, как и в случае триплетов He I, использована одна и та же длина волны, 5001.34 \AA . С подкласса V7 вклад линии Fe II становится заметным – непосредственно, по асимметрии профиля, и косвенно, по увеличению эффективной длины волны: для HD 183143 V7.7 Ia-0 до 5001.50 \AA , для β Ori V8 Ia до 5001.58 \AA , а для HD 21389 A0 Ia и HD 12953 A1 Ia-0 уже можно использовать длину волны линии Fe II.

4.2 Интенсивности линий и спектральная классификация

Чтобы проиллюстрировать использование атласа при решении некоторых задач количественной спектральной классификации, мы измерили для ряда линий помимо центральных остаточных интенсивностей также и эквивалентные ширины. Речь идёт, с одной стороны, о новых возможностях классификации, открывшихся с появлением доступа к длинноволновой области спектра и к слабым линиям, а с другой – о специфике ее применения к звездам наивысшей светимости. В связи с этим в данном разделе рассмотрено несколько дополнительных объектов, звезд-гипергигантов. Их спектры получены с помощью тех

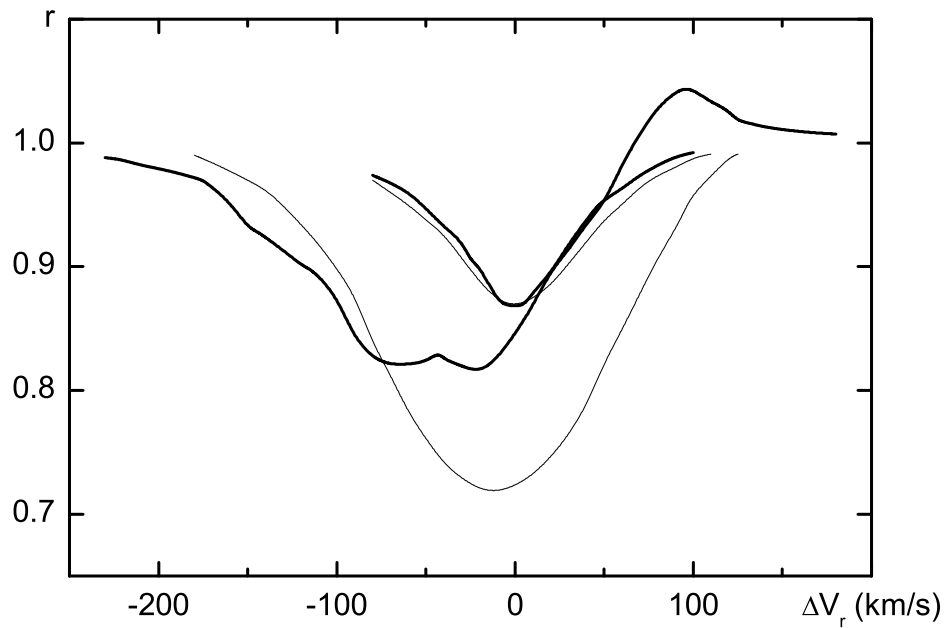


Рисунок 4.4 — Профили двух линий гелия, слабой He I 5048 и сильной He I 5876, в спектрах HD 13854 B1.2 Ia (тонкие линии) и HD 190603 B1.4 Ia-0 (жирные линии).

же спектрометров и обработаны по той же методике, что и спектры основных объектов, а спектральные классы немного скорректированы.

Традиционная спектральная классификация разрабатывалась для массового применения и потому ограничена синей частью спектра, к которой наиболее чувствительны фотопластинки, и сильными спектральными деталями, различимыми даже при низком разрешении. Любопытно отметить, что первое ограничение удачно компенсирует второе, т.к. в синей области спектра даже сильные абсорбции формируются достаточно глубоко в атмосферах звезд. Переходя в красную и далее в инфракрасную области, мы получаем возможность зондирования все более высоких слоев атмосфер и даже оснований ветров звезд высокой светимости. Однако остается необходимость и в информации об их фотосферах. Для ее получения приходится использовать в качестве классификационных критериев по возможности слабые линии.

На рисунке 4.4 для сверхгиганта из атласа, HD 13854 B1.2 Ia, и дополнительно привлечённого гипергиганта близкого спектрального класса HD 190603 B1.4 Ia-0 сравниваются профили двух линий He I. Нуль-пунктом горизонтальной оси графика служат лучевые скорости, найденные по слабым фотосферным абсорбциям, близкие к скоростям центров масс звезд. Одна из таких слабых абсорбций – линия He I 5048, ее профили в спектрах обеих звезд мало отличаются друг от друга. Другая – He I 5876 – напротив, самая сильная в видимой области

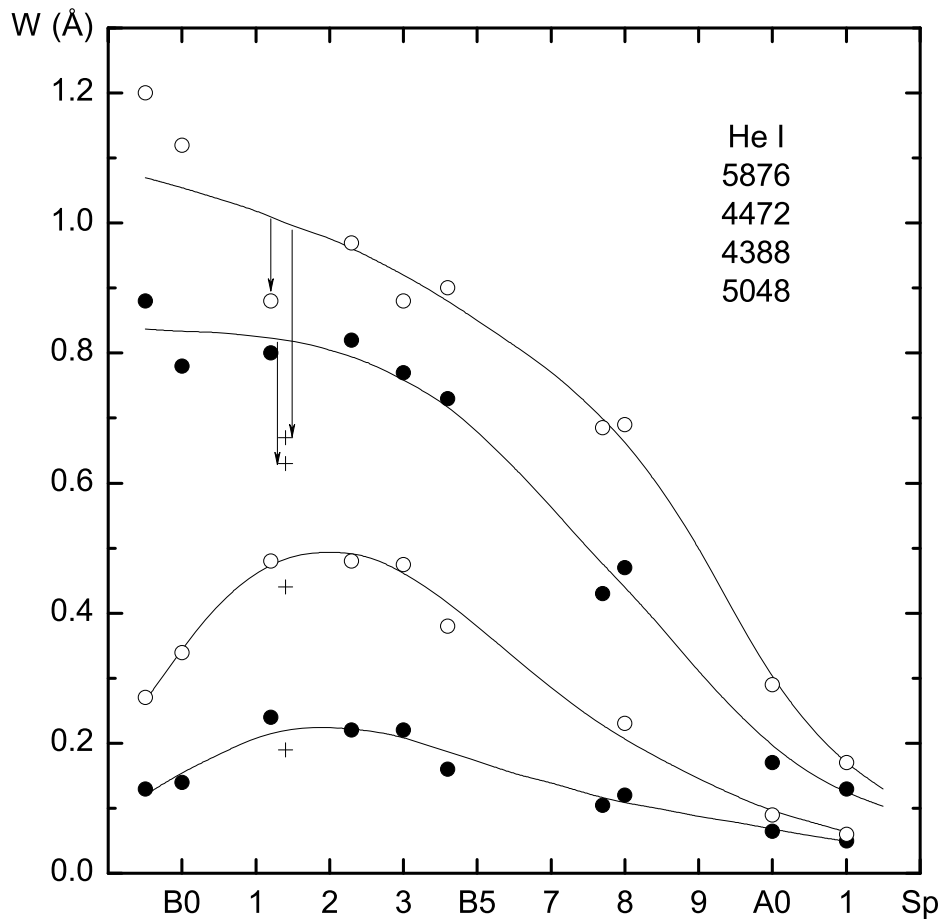


Рисунок 4.5 — Зависимости от спектрального класса эквивалентных ширин линий нейтрального гелия разной интенсивности. К объектам атласа добавлен гипергигант HD 183143 B7.7. Крестики – гипергигант HD 190603 B1.4.

спектра. У сверхгиганта эта линия – фотосферная абсорбция с небольшими ветровыми аномалиями: заметны синий сдвиг и асимметрия профиля (синее крыло чуть длиннее красного). У гипергиганта она сформирована (по крайней мере, частично) в основании ветра, о чем говорит ее P Суг-профиль с несколькими дискретными углублениями в абсорбционной составляющей. Синее крыло профиля He I 5876 у HD 190603 глубже, но эквивалентная ширина линии в целом намного меньше, чем у HD 13854.

На рисунках 4.5, 4.6 и 4.8 гипергиганты показаны крестиками, а эффекты светимости (смещения крестиков по вертикали) отмечены стрелками. Рисунок 4.5 показывает изменения эквивалентных ширин со спектральным классом $W(Sp)$ для четырёх линий He I разной интенсивности. Каждый значок соответствует одной звезде (к девяти сверхгигантам атласа добавлен гипергигант HD 183143 B7.7 Ia-0 [120]). Кривые на данном рисунке (как и на рисунках 4.6 и 4.8) получены независимо по данным из работ Леннона и др. [121], Диделона [122], Бартая и др. [123] с учётом небольших (до 10 %) различий систем W . Отклоне-

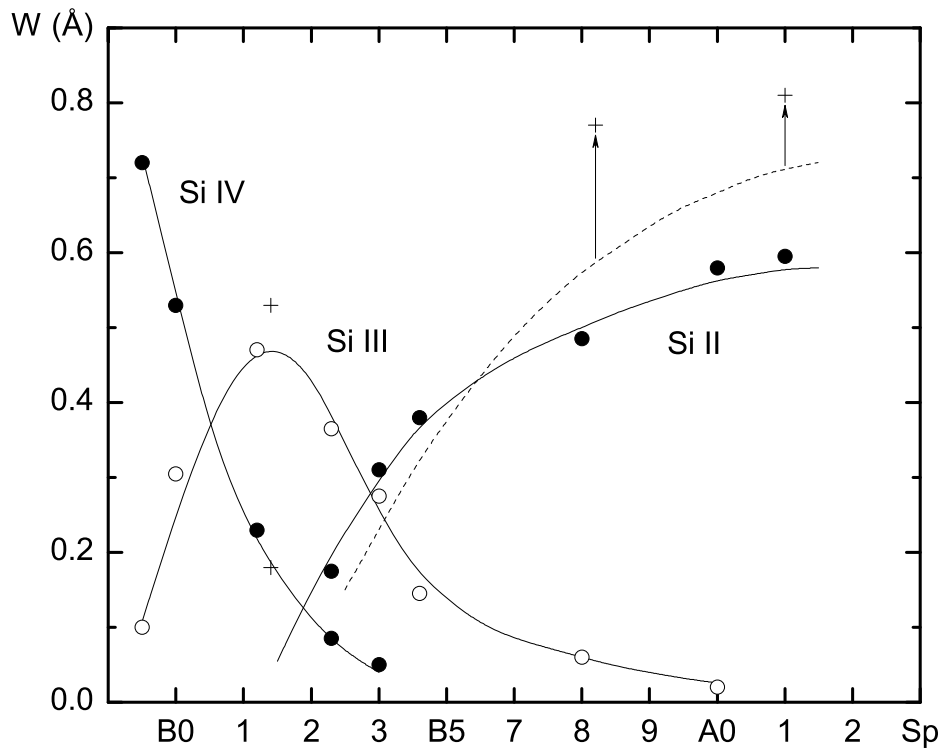


Рисунок 4.6 — То же, что на рисунке 4.5, для трех стадий ионизации кремния: Si IV 4089, Si III 4553, Si II 4128+4131 (сплошная линия) и Si II 6347 (прерывистая линия). Крестики — гипергиганты HD 190603 B1.4, HD 168607 B8.2 и HD 12953 A1.0.

ния крестиков (показывающих занижение эквивалентных ширин по сравнению с их значениями для сверхгиганта соответствующего спектрального класса) особенно велики для двух верхних кривых, относящихся к самым сильным линиям, для слабых линий они соизмеримы с общим разбросом значков. Спектральный класс HD 190603 при переходе для его определения от слабых линий к сильным оказывается все более поздним. Его оценка по He I 4388, 5047 дает B1.0, по линиям Si IV (рисунок 4.6), S II, O II, Fe III (рисунок 4.8) — B1.3, а по He I 4472 и 5876 — B5 и B8 соответственно. Та же тенденция видна для гипергигантов более поздних спектральных классов HD 168607 B8.2 Ia-0 и HD 12953 A1 Ia-0.

На рисунке 4.6 зависимости $W(Sp)$ приведены для трех стадий ионизации кремния, причем в случае Si II — для синей и красной частей спектра (дублет 4128, 4131 и линия 6347 соответственно). В спектрах гипергигантов HD 168607 и HD 12953 последняя линия аномально сильна, но ее усиление, как и ослабление абсорбций He I 4472 и 5876, — следствие того, что она формируется не только в фотосфере, но и в более холодной и расширяющейся псевдофотосфере [124]. Оптическая толщина псевдофотосферы в линиях невелика и переменна. Это поясняет рисунок 4.7, на котором сравниваются профили абсорбций Si II 6347 и

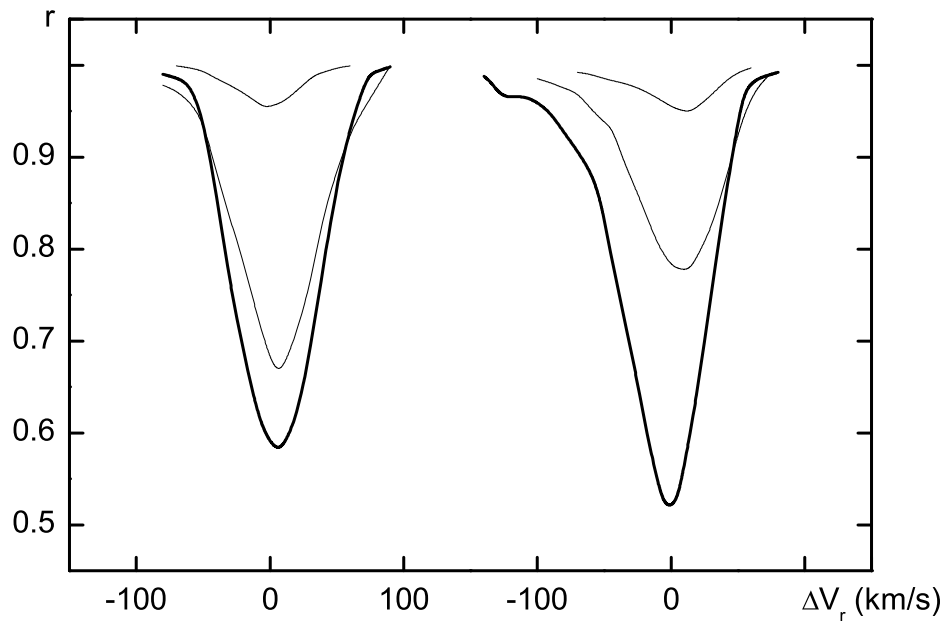


Рисунок 4.7 — Изменения со временем профилей слабой и сильных абсорбций в спектре гипергиганта HD 168607. Сверху вниз: Fe II 5260, He I 5876 (тонкие линии) и Si II 6347 (жирные линии).

He I 5876 для двух моментов наблюдений HD 168607. В первый из них обе линии лишь слегка асимметричны и по интенсивности близки друг к другу. Во второй момент линия Si II намного сильнее линии He I, профили их перестроились: синие крылья вытянуты, а красные, напротив, укорочены. Это указывает на понижение температуры псевдофотосферы, ее уплотнение и увеличение градиента скорости в ней от первого момента ко второму. В отличие от сильных линий и профиль и интенсивность приводимой на рисунке слабой абсорбции Fe II 5260 остались неизменными. Спектральный класс HD 168607 по этой и другим фотосферным линиям для обоих моментов примерно один и тот же — B8.2. Его оценки по указанным выше линиям He I и Si II дают B9.2 для первого момента и A0.1 для второго.

Сделаем в связи с рисунком 4.7 еще два замечания. Во-первых, обращает на себя внимание высокая информативность профилей достаточно сильных абсорбций. Сопоставление даже не эквивалентных ширин, а только их центральных глубин позволяет оценивать температуру в основании ветра, а по крыльям можно судить о градиенте скорости в нём. И, конечно, появление их специфической асимметрии служит индикатором усиления ветровой активности. Во-вторых, исследуя сильно покрасневшие В-гипергиганты, такие как HD 168607 или Cyg OB2-12 [125], мы вынуждены смещаться в длинноволновую область спектра, а следовательно, в наружные слои их атмосфер. Однако по

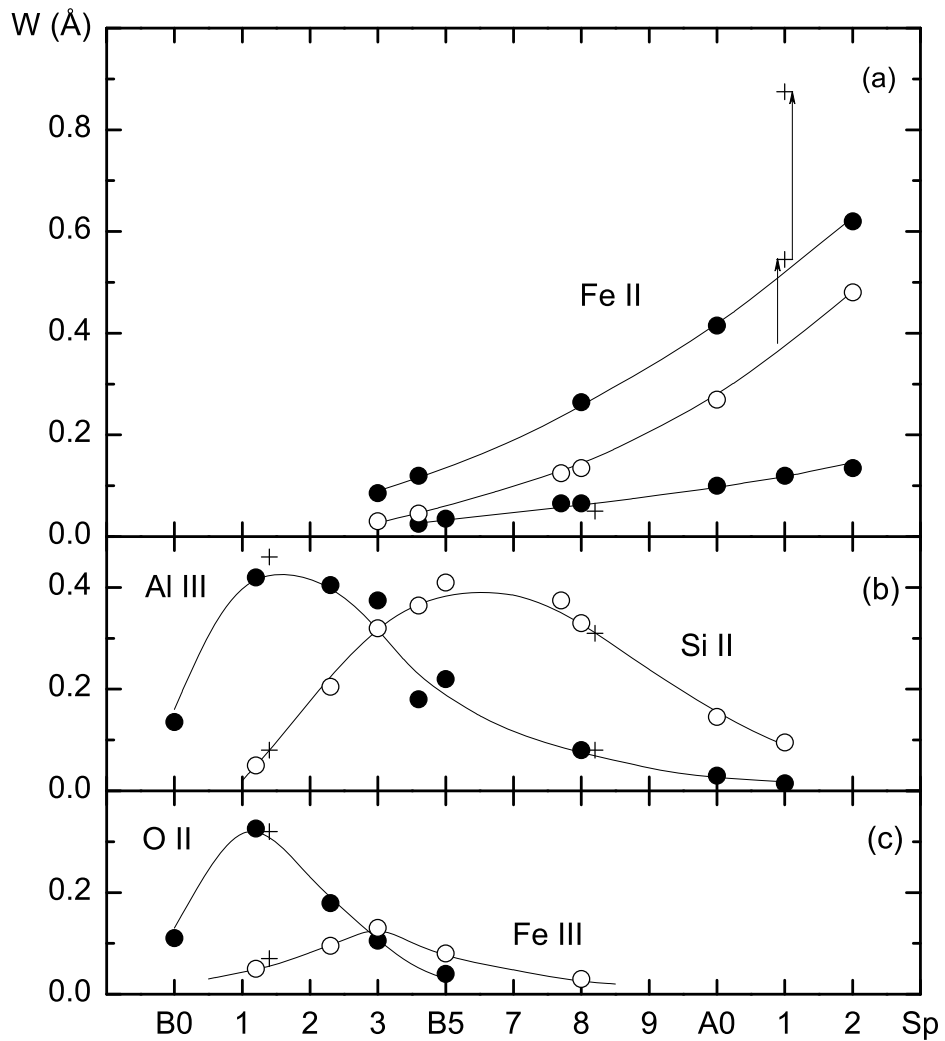


Рисунок 4.8 — То же, что на рисунке 4.5–4.6, для линий малой и средней интенсивностей. Добавлены HD 168625 B5 Ia-0 и α Cyg A2 Ia. (a) Абсорбции Fe II, сверху вниз: 5169, 4233 и 5260, потенциалы возбуждения нижних уровней: 2.9, 2.6 и 10.3 eV соответственно. (b) Пары линий Al III 5697+5723 (заполненные кружки) и Si II 5454+5640 (открытые кружки). (c) Абсорбции O II 4415 (заполненные кружки) и Fe III 4420 (открытые кружки).

крайней мере в периоды просветления их ветров (псевдофотосфер) становятся доступными для исследования и их фотосферы — благодаря слабым абсорбциям. При этом опираться можно не только на линии гелия и легких ионов, но и на абсорбции ионизованного железа высокого возбуждения (потенциал нижнего уровня около 10 eV), такие как Fe II 5260.

Рисунок 4.8 (a) показывает усиление трех абсорбций Fe II с понижением эффективной температуры сверхгиганта в интервале поздних подклассов В — ранних подклассов А. Нижняя кривая $W(Sp)$ относится к упомянутой выше линии высокого возбуждения Fe II 5260, остальные — к линиям низкого возбуж-

дения (потенциал нижнего уровня меньше 3 eV), из которых Fe II(42) 5169 – сильнейшая из линий ионизованного железа в видимой области спектра. Гипергигант HD 168607 представлен только на нижней кривой, т.к. в его спектре абсорбциями остаются лишь линии высокого возбуждения Fe II, линии же низкого возбуждения ветровые, все они, даже самые слабые, имеют профили типа P Cyg с расщепленными абсорбционными компонентами [113]. Более слабый, но качественно тот же эффект наблюдается и у самого холодного из объектов атласа, HD 12953. Как уже отмечалось в разделе 4.1 и как показывает сопоставление рисунков 4.3 и 4.8 (а), наиболее сильные абсорбции Fe II низкого возбуждения в его спектре уширены и углублены не только турбуленцией, но и радиальным градиентом скорости (ветровыми добавками).

На рисках 4.8 (b) и 4.8 (c) в качестве классификационных критериев предложено еще несколько абсорбций умеренной и малой интенсивности. В отличие от предыдущих рисунков здесь данные для гипергигантов не отклоняются систематически от зависимостей $W(Sp)$, построенных для сверхгигантов. То есть светимости не должны сказаться на оценках эффективных температур, сделанных по этим линиям. Разумеется, этими немногими примерами список подходящих линий не исчерпывается. Атлас предоставляет богатый материал для его дальнейшего расширения.

4.3 Лучевые скорости и «кинематические разрезы» атмосфер

В таблицах 20–22 (приложение А) приведены гелиоцентрические лучевые скорости, относящиеся к отдельным линиям, полосам или блэндам. Их значения округлены до целых км/с. Скорости измерены по абсорбционным ядрам профилей в целом либо (в случаях H_α и Na I) по ядрам и эмиссионным пикам их четко выделенных компонентов. Для асимметричных профилей скорости, соответствующие другим их деталям, приводятся и обсуждаются отдельно.

Данные, относящиеся к одному объекту, обобщенно и наглядно представляются графиком $V_r(r)$. Такой график показывает диапазоны глубин линий, встречающихся в данном спектре, и измеренных по ним скоростей, а главное, из него сразу видно, действительно ли они связаны между собой. Если зависимость V_r от r существует, ее можно рассматривать как "кинематический разрез"

атмосферы. Кавычками выражена оговорка: речь не идет о точной зависимости скорости расширения (или сжатия) некоторого слоя атмосферы от его радиуса. Имеется в виду лишь следующее: поскольку остаточная интенсивность абсорбции растет с оптической глубиной (а для линий близких мультиплетов их связь даже однозначна), смещение на графике в сторону меньших значений r , т.е. на наших рисунках 4.9–4.11 слева направо, соответствует подъему из нижних слоев атмосферы в верхние. Но и это остается справедливым лишь до тех пор, пока профиль абсорбции не деформируется эмиссионной добавкой. В профиле типа Р Суг его абсорбционная составляющая по мере усиления эмиссии все больше сдвигается в синюю сторону. При этом она может терять глубину. В результате, как видно из рисунков 4.9–4.11, достигнув некоторого минимального значения r , кривая $V_r(r)$ изгибается (или даже изламывается), и дальнейшему подъему в атмосфере соответствует уже перемещение по кривой вниз и влево.

На каждом из рисунков 4.9–4.11 сопоставлены зависимости $V_r(r)$ для пары объектов. У стационарных звёзд сравнения с узкими линиями в спектрах они строго горизонтальны, разброс по вертикали минимален. Для всех сверхгигантов, кроме α Сам, левые участки зависимостей ($r > 0.8$) также почти горизонтальны. По ним оценены приведенные в таблице 19 значения $V_r(r \rightarrow 1)$, которые соответствуют наиболее глубоким слоям атмосфер, еще доступным наблюдениям. Наибольший, обычно отрицательный сдвиг относительно слабых линий показывает абсорбционный компонент H_α . Величина этого сдвига указана в таблице 19 как $\Delta V_r(H_\alpha)$. Обе величины округлены до целых км/с.

Радиальный градиент скорости в атмосфере горячего сверхгиганта, определяющий величину дифференциальных сдвигов линий и влияющий на форму кривой $V_r(r)$, увеличивается как с температурой, так и со светимостью. Как видно из сопоставления рисунков 4.9, 4.10 и 4.11, точки поворота на кривых $V_r(r)$ и их нижние концы под влиянием обоих факторов смещаются вправо при переходе от α Сам к 55 Суг и далее к HD 12953.

Наиболее нагляден случай α Сам – рисунок 4.9. Значение V_r монотонно уменьшается от 20 до -5 км/с при переходе от слабых абсорбций $He II$, $C III$, $C IV$ и других ионов к сильным линиям $He I$ и H : расширением охвачены все доступные наблюдениям слои атмосферы. Дальнейшее резкое падение скорости до -126 км/с прослеживается только по водородным линиям (бальмеровский прогресс) и сопровождается увеличением r – от 0.63 у H_γ до 0.97 у H_α . Уменьшение скорости с углублением абсорбции у α Сам показывают также и линии

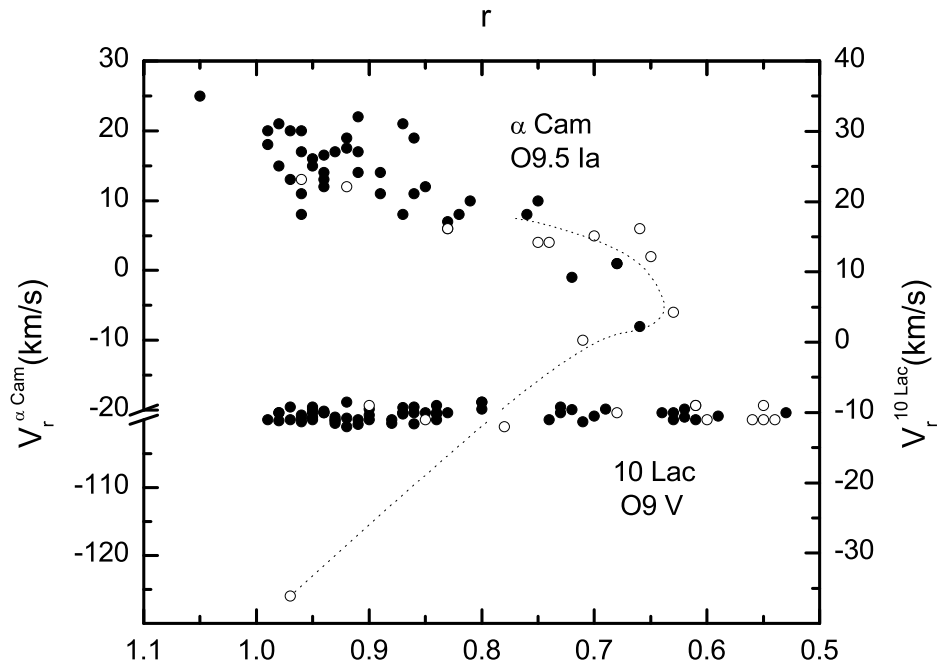


Рисунок 4.9 — Сопоставление зависимостей $V_r(r)$ для сверхгиганта $\alpha \text{ Cam}$ O9.5 Ia и карлика 10 Lac O9 V. Открытыми кружками показаны линии водорода.

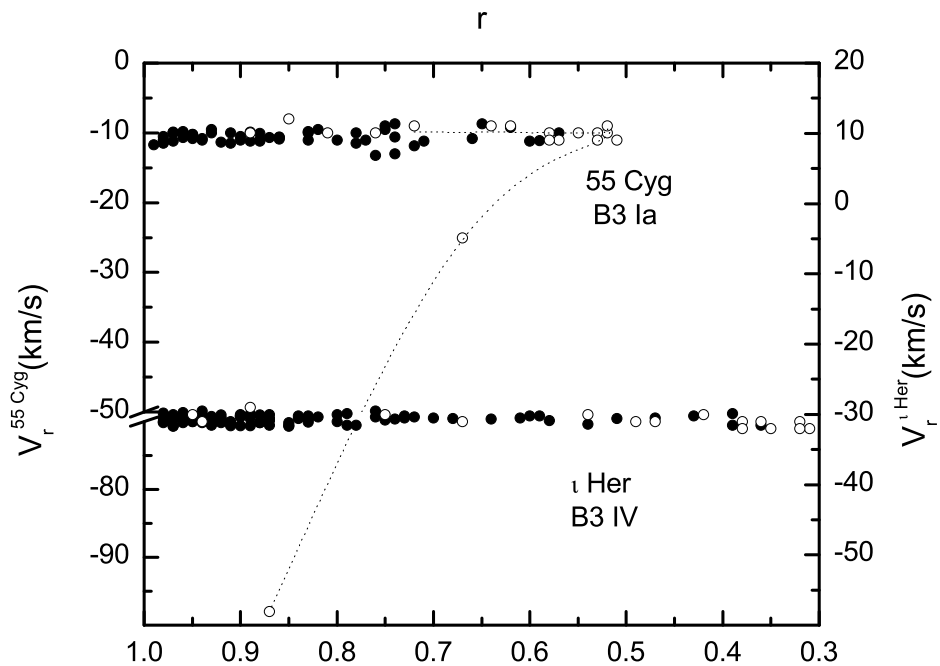


Рисунок 4.10 — То же, что на рисунке 4.9, для сверхгиганта 55 Cyg B3.0 Ia и карлика $\tau \text{ Her}$ B3 IV.

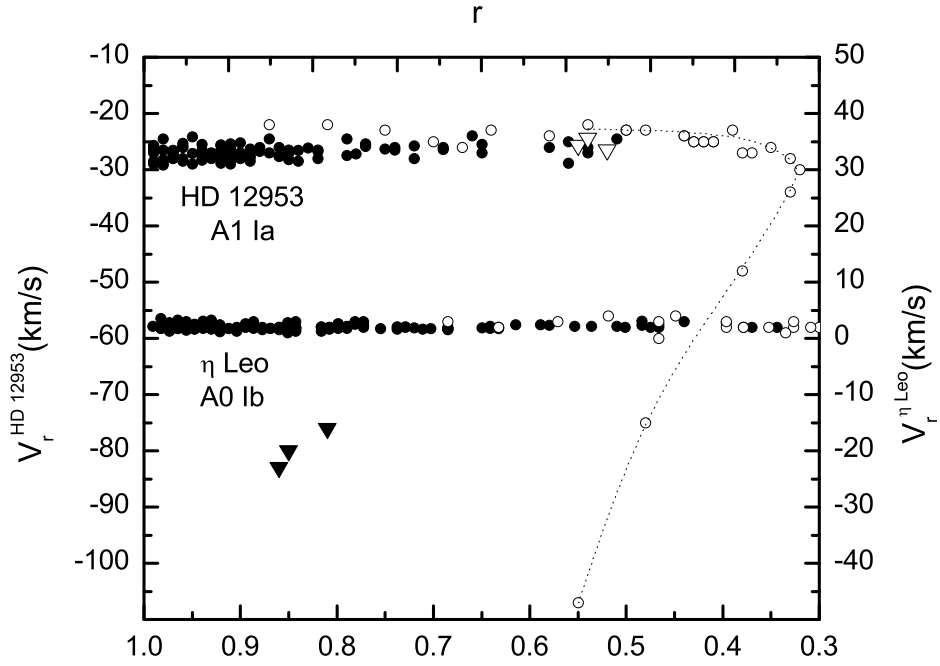


Рисунок 4.11 — То же, что на рисунке 4.9–4.10, для гипергиганта HD 12953 A1.0 Ia-0 и слабого сверхгиганта η Leo A0 Ib. Открытыми и закрытыми треугольниками показаны основные и вторичные компоненты линий Fe II(42) соответственно.

Таблица 19 — Гелиоцентрические лучевые скорости и дифференциальные сдвиги абсорбции H_α

Звезда	Sp	V_r ($r \rightarrow 1$)	ΔV_r (H_α)
Основные объекты			
α Cam	O9.5 Ia	17	-143
ϵ Ori	B0.0 Ia	27	
HD 13854	B1.2 Ia	-34	-132
9 Cep	B2.3 Ib	-15	-19
55 Cyg	B3.0 Ia	-10	-88
67 Oph	B4.2 Ib	-4	0
β Ori	B8.0 Ia	17	-43
1H Cam	A0.0 Ia	-8	-13
HD 12953	A1.0 Ia-0	-27	-80
Звезды сравнения			
10 Lac	O9 V	-11	0
ι Her	B3 IV	-30	-1
η Leo	A0 Ib	2	-2

He I – "гелиевый прогресс" у белых гипергигантов, в частности, у δ Cas A2.5 Ia-0, даже линии Fe II – "железный прогресс" [126].

Зависимость $V_r(r)$ для 55 Cyg, представленная на рисунке 4.10, отличается от таковой для α Cam. Это горизонтальная прямая с резким изломом на $r = 0.52$. Такая форма кривой $V_r(r)$ характерна для большинства наших В-сверхгигантов, причем с переходом от ранних подклассов В к поздним наблюдается отмеченное выше плавное смещение вправо точки поворота – от 0.59 для HD 13854 B1.2 Ia до 0.42 для β Ori B8.0 Ia. Исключение составили два объекта: у ϵ Ori первые члены серии Бальмера показывают изменение скорости с интенсивностью, но это не "прогресс" у 67 Ori (также, как у η Leo) скорость не зависит от интенсивности для всех линий, что естественно для сверхгигантов Ib. Кривая $V_r(r)$ для 9 Ser также отчетливо реагирует на пониженную светимость этого сверхгиганта. Профиль H_α у 9 Ser резко отличается от таковых у соседних HD 13854 и 55 Cyg. Сильно различаются и сдвиги абсорбционных компонентов H_α (4 колонка таблицы 19): у HD 13854 и 55 Cyg они составляют -143 и -88 км/с соответственно, в то время как у 9 Ser всего -19 км/с. У β Ori, как и у других сверхгигантов поздних подклассов В, заметны небольшой рост V_r с глубиной абсорбции и систематический отрицательный сдвиг линий Fe II относительно линий He I. Возможно, эти эффекты вызваны наличием в их атмосферах крупномасштабных восходящих и нисходящих потоков [127].

Рисунок 4.11 демонстрирует резкое повышение ветровой активности у HD 12953 по сравнению с η Leo. Она проявляется не только в бальмеровском прогрессе, начинающемся с H_ϵ , но и в описанной в разделе 4.1 деформации профилей линий Fe II(42): депрессии на их синих крыльях дают примерно те же скорости, что H_β (закрытые треугольники на рисунке 4.11). В свою очередь синесмещённые компоненты видны также в H_β и H_α , у последней слабый компонент смещён относительно основного, глубокого, на -80 км/с.

Таким образом, даже небольшая коллекция кривых $V_r(r)$ демонстрирует полезность их использования хотя бы при обобщении наблюдательных данных о кинематике атмосфер сверхгигантов и при отслеживании её временных изменений. Они не столь информативны, как зависимости $V_r(\tau)$, но так же индивидуальны: у каждого объекта своя кривая, хотя и переменной, но характерной для него формы. Если спектрофотометрическим паспортом звезды служит спектральный класс, то кривая $V_r(r)$ может служить ее кинематическим паспортом.

4.4 Выводы

В представленном в данной главе атласе собраны спектры высокого разрешения голубых и белых сверхгигантов, охватывающие интервал длин волн от 3600 до 7800 Å. Каждый из объектов представлен в нём единственным спектром, взятым из архивов САО РАН. Спектры объектов сопоставлены в графической и табличной форме. В них отождествлено от 200 (для α Cam, O9.5 Ia) до 1000 (для HD 12953, A1 Ia-0) звёздных и межзвёздных линий и полос, для большинства из них измерены центральные остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости. Апробирована спектральная классификация по слабым фотосферным абсорбциям. Это актуально для наиболее ярких сверхгигантов и гипергигантов, у которых области формирования сильных линий, традиционно используемых при классификации, охватывают и основания ветров. Выявлены радиальные градиенты скорости в атмосферах сверхгигантов. Приведены примеры уточнения эффективных длин волн, анализа бленд и выявления ветровых аномалий в профилях линий.

Атлас успешно выполняет свое основное назначение – показать эволюцию спектра звезды-сверхгиганта в интервале спектральных классов от O9 до A1. Сведение вместе, детальное описание и сопоставление спектров, даже полученных для других целей, дало очень ценную информацию. Мы ограничились примерами использования атласа для отождествления спектральных деталей, получения новых эффективных длин волн и классификационных критериев, качественного описания кинематики атмосфер звёзд высокой и наивысшей светимости. Можно надеяться, что найдутся и другие виды его применения.

Что касается самих объектов, то работа над атласом привела нас к необходимости изменить статус, по крайней мере, для двух из них. Это HD 13854 и HD 12953, входящие в одну и ту же ассоциацию, Peg OB1. Первая звезда до сих пор классифицировалась как B1 Iab, вторая как A1 Ia. В обоих случаях речь идет о существенном повышении класса светимости. Наши данные о лучевых скоростях, дифференциальных сдвигах и аномалиях профилей линий в согласии с приведенными в разделе 4.2 спектрофотометрическими данными позволяют считать HD 13854 сверхгигантом Ia, а HD 12953 – гипергигантом Ia-0.

Заключение

В ходе диссертационной работы были решены все поставленные задачи. Основные результаты работы заключаются в следующем.

Для выполнения задач диссертационной работы был обработан и проанализирован уже имевшийся наблюдательный материал, полученный на 6-м телескопе БТА САО РАН на многорежимном фокальном редукторе первичного фокуса SCORPIO в оптическом диапазоне и на 3.5-метровом телескопе обсерватории Апачи-Пойнт в ближнем инфракрасном диапазоне. Кроме того, были использованы архивные данные фотометрических каталогов Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System), LGGS (Local Group Galaxies Survey), 2MASS (Two Micron All-Sky Survey). Данные для спектрального атласа звёзд-сверхгигантов и гипергигантов нашей Галактики были получены на ПЗС-эшелле спектрометре в фокусах Кудэ 1-м телескопа Цейсс-1000 САО РАН и 2-м телескопа Цейсс-2000 международной обсерватории Пик Терскол.

На основе спектральной и фотометрической переменности подтвержден статус LBV для двух кандидатов J004526.62+415006.3, J004341.84+411112.0 в галактике Туманность Андромеды. Переменность блеска составила $\Delta R \approx 0.4$ для объекта J004341.84+411112.0 и $\Delta V \approx 0.8$ для объекта J004526.62+415006.3.

Для шести звёзд в галактике Туманность Андромеды проведено уточнение классификации объектов. Три звезды классифицированы как В[e]-сверхгиганты (J004417.10+411928.0, J004444.52+412804.0, J004415.00+420156.2). В их спектральных распределениях энергии были обнаружены избытки излучения в ближнем инфракрасном диапазоне, связанные с горячими пылевыми оболочками и являющиеся характерной особенностью В[e]-сверхгигантов. Две звезды J004507.65+413740.8 и J004621.08+421308.2 обладают характерными признаками тёплых гипергигантов. Объект J004411.36+413257.2 отнесён к типу FeII-эмиссионных звёзд. Подтверждение статуса LBV двух изучаемых объектов и классификация других трёх звёзд как В[e]-сверхгигантов дополняют немногочисленные списки известных звёзд этих типов, что важно для понимания их природы, эволюционного статуса и их возможной эволюционной связи.

У 12 звёзд в галактике Туманность Андромеды и звезды MN112 в галактике Млечный Путь была проведена оценка фундаментальных параметров, таких как эффективные температуры, радиусы, светимости на основе построенных спектральных распределений энергии объектов. Для LBV звёзд был предложен метод оценки их параметров, основанный на их свойстве менять блеск в оптическом диапазоне при примерно постоянной светимости. Для тех звёзд, у которых имелись наборы данных для их разных состояний, был применен предложенный метод. Определены параметры для двух известных LBV звёзд Var A-1 и AE And и двух подтверждённых нами LBV J004526.62+415006 и J004341.84+411112.0 на основе двух или более наблюдений в различных состояниях. Для всех звёзд получены оценки величин межзвёздного поглощения.

Составлен спектральный атлас девяти звёзд-сверхгигантов и гипергигантов (O9.5Ia–AIa) в нашей Галактике. Сопоставлены спектры высокого разрешения исследованных сверхгигантов и трех звёзд сравнения. Отождествлено от 200 до 1000 линий, а также межзвёздных линий и полос, для большинства из них измерены центральные остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости. Выявлены радиальные градиенты скорости в атмосферах сверхгигантов. Уточнена спектральная классификация для двух звёзд в Галактике: звезда HD 13854 классифицирована как сверхгигант Ia, а HD 12953 – как гипергигант Ia-0.

Благодарности Автор выражает благодарность Шолуховой О.Н. за руководство работой и всестороннюю помощь, в том числе организационную; Власюку В.В., под руководством которого в аспирантуре начался путь автора в астрономии; Ченцову Е.Л. за приобщение к астроспектроскопии, сотрудничество и поддержку; Фабрике С.Н. за научное наставничество и идеи; Винокурову А.С., Соловьевой Ю.Н., Валееву А.Ф., Костенкову А.А. за ценные замечания и всеобъемлющую помощь в выполнении работы; Тихонову Н.А. за важные советы; Верходановой Н.В. за моральную поддержку; своей жене Бычковой Ю.В. за тепло и заботу, а также за корректуру диссертации; всем соавторам статей за плодотворную совместную работу.

Список литературы

1. *Massey Philip*. MASSIVE STARS IN THE LOCAL GROUP: Implications for Stellar Evolution and Star Formation // *ARA&A*. — 2003. — Jan. — Vol. 41. — Pp. 15–56.
2. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. I. The Warm Hypergiants and Post-red Supergiant Evolution / Roberta M. Humphreys, Kris Davidson, Skyler Grammer et al. // *ApJ*. — 2013. — Aug. — Vol. 773. — P. 46.
3. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. II. Luminous Blue Variables, Candidate LBVs, Fe II Emission Line Stars, and Other Supergiants / Roberta M. Humphreys, Kerstin Weis, Kris Davidson et al. // *ApJ*. — 2014. — Jul. — Vol. 790, no. 1. — P. 48.
4. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. IV. Luminous Blue Variables, Candidate LBVs, B[e] Supergiants, and the Warm Hypergiants: How to Tell Them Apart / R. M. Humphreys, M. S. Gordon, J. C. Martin et al. // *ApJ*. — 2017. — Feb. — Vol. 836. — P. 64.
5. Luminous and Variable Stars in M31 and M33. V. The Upper HR Diagram / R. M. Humphreys, K. Davidson, D. Hahn et al. // *ApJ*. — 2017. — Jul. — Vol. 844. — P. 40.
6. *Gordon M. S., Humphreys R. M., Jones T. J.* Luminous and Variable Stars in M31 and M33. III. The Yellow and Red Supergiants and Post-red Supergiant Evolution // *ApJ*. — 2016. — Jul. — Vol. 825. — P. 50.
7. *van Genderen A. M.* S Doradus variables in the Galaxy and the Magellanic Clouds // *A&A*. — 2001. — Feb. — Vol. 366. — Pp. 508–531.
8. On the Social Traits of Luminous Blue Variables / Roberta M. Humphreys, Kerstin Weis, Kris Davidson, Michael S. Gordon // *ApJ*. — 2016. — Jul. — Vol. 825, no. 1. — P. 64.
9. *Humphreys R. M., Davidson K.* Studies of luminous stars in nearby galaxies. III. Comments on the evolution of the most massive stars in the Milky Way

- and the Large Magellanic Cloud. // *ApJ*. — 1979. — Sep. — Vol. 232. — Pp. 409–420.
10. *Humphreys Roberta M., Davidson Kris*. The Luminous Blue Variables: Astrophysical Geysers // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — 1994. — Oct. — Vol. 106. — Pp. 1025–1051.
 11. *Maeder André, Meynet Georges*. The Evolution of Rotating Stars // *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. — 2000. — Jan. — Vol. 38. — Pp. 143–190.
 12. Red Supergiants, Luminous Blue Variables and Wolf-Rayet stars: the single massive star perspective / Georges Meynet, Cyril Georgy, Raphael Hirschi et al. // *Bulletin de la Societe Royale des Sciences de Liege*. — 2011. — Jan. — Vol. 80. — Pp. 266–278.
 13. *Smith Nathan, Tombleson Ryan*. Luminous blue variables are antisocial: their isolation implies that they are kicked mass gainers in binary evolution // *MNRAS*. — 2015. — Feb. — Vol. 447, no. 1. — Pp. 598–617.
 14. *Smith Nathan*. The isolation of luminous blue variables: on subdividing the sample // *MNRAS*. — 2016. — Sep. — Vol. 461, no. 3. — Pp. 3353–3360.
 15. Modelling luminous-blue-variable isolation / Mojgan Aghakhanloo, Jeremiah W. Murphy, Nathan Smith, Renée Hložek // *MNRAS*. — 2017. — Nov. — Vol. 472, no. 1. — Pp. 591–603.
 16. *Tutukov A. V., Cherepashchuk A. M.* The evolution of close binary stars // *Astronomy Reports*. — 2016. — May. — Vol. 60, no. 5. — Pp. 461–476.
 17. *Tutukov A. V., Cherepashchuk A. M.* Evolution of close binary stars: theory and observations // *Physics Uspekhi*. — 2020. — Mar. — Vol. 63, no. 3. — Pp. 209–244.
 18. *Thorne K. S., Zytkov A. N.* Stars with degenerate neutron cores. I. Structure of equilibrium models. // *ApJ*. — 1977. — Mar. — Vol. 212. — Pp. 832–858.
 19. Infrared helium emission lines from Cygnus X-3 suggesting a Wolf-Rayet star companion / M. H. van Kerkwijk, P. A. Charles, T. R. Geballe et al. // *Nature*. — 1992. — Feb. — Vol. 355, no. 6362. — Pp. 703–705.

20. *Cherepashchuk Anatol M., Moffat Anthony F. J.* Cygnus X-3 as a Benchmark for Fundamental Properties of Wolf-Rayet Stars // *ApJ*. — 1994. — Mar. — Vol. 424. — P. L53.
21. *Vink Jorick S.* Eta Carinae and the Luminous Blue Variables // Eta Carinae and the Supernova Impostors / Ed. by Kris Davidson, Roberta M. Humphreys. — Vol. 384 of *Astrophysics and Space Science Library*. — 2012. — Jan. — P. 221.
22. A Survey of Local Group Galaxies Currently Forming Stars. III. A Search for Luminous Blue Variables and Other H α Emission-Line Stars / Philip Massey, Reagin T. McNeill, K. A. G. Olsen et al. // *AJ*. — 2007. — Dec. — Vol. 134. — Pp. 2474–2503.
23. *Richardson Noel D., Mehner Andrea.* The 2018 Census of Luminous Blue Variables in the Local Group // *Research Notes of the American Astronomical Society*. — 2018. — Jul. — Vol. 2, no. 3. — P. 121.
24. *Aret A., Kraus M., Šlechta M.* Spectroscopic survey of emission-line stars - I. B[e] stars // *MNRAS*. — 2016. — Feb. — Vol. 456. — Pp. 1424–1437.
25. Discovery of the First B[e] Supergiants in M 31 / M. Kraus, L. S. Cidale, M. L. Arias et al. // *ApJ*. — 2014. — Jan. — Vol. 780. — P. L10.
26. The hybrid spectrum of the LMC hypergiant R 126. / F. J. Zickgraf, B. Wolf, O. Stahl et al. // *A&A*. — 1985. — Feb. — Vol. 143. — Pp. 421–430.
27. Probing the ejecta of evolved massive stars in transition. A VLT/SINFONI K-band survey / M. E. Oksala, M. Kraus, L. S. Cidale et al. // *A&A*. — 2013. — Oct. — Vol. 558. — P. A17.
28. *Kraus Michaela.* A Census of B[e] Supergiants // *Galaxies*. — 2019. — Vol. 7, no. 4. — URL: <https://www.mdpi.com/2075-4434/7/4/83>.
29. *Fabrika S.* New LBV-like stars in M33 // Thermal and Ionization Aspects of Flows from Hot Stars / Ed. by H. Lamers, A. Sagar. — Vol. 204 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. — 2000. — P. 57.
30. *de Wit W. J., Oudmaijer R. D., Vink J. S.* Dusty Blue Supergiants: News from High-Angular Resolution Observations // *Advances in Astronomy*. — 2014. — Jan. — Vol. 2014. — P. 270848.

31. *van Genderen A. M., Sterken C.* Light variations of massive stars (alpha Cyg variables). XVIII. The B[e] supergiants S 18 in the SMC and R 66 = HDE 268835 and R 126 = HD 37974 in the LMC // *A&A*. — 2002. — May. — Vol. 386. — Pp. 926–935.
32. R 127 : an S DOR type variable intermediate between Of and WN. / O. Stahl, B. Wolf, G. Klare et al. // *A&A*. — 1983. — Nov. — Vol. 127. — Pp. 49–62.
33. *Stahl O., Wolf B.* New observational results of the LMC-S DOR variable R 127 during outburst. // *A&A*. — 1986. — Jan. — Vol. 154. — Pp. 243–248.
34. Spectroscopy of the present extraordinary bright outburst phase of the LMC S DOR variable R 127. / B. Wolf, O. Stahl, J. Smolinski, A. Casatella // *A&AS*. — 1988. — Aug. — Vol. 74. — Pp. 239–245.
35. *Stahl O.* The relationship of the variable stars AG CAr and HDE 269582 to the Ofpe/WN9 objects. // *A&A*. — 1986. — Aug. — Vol. 164. — Pp. 321–327.
36. *Bohannon Bruce, Walborn Nolan R.* The Ofpe/WN9 Class in the Large Magellanic Cloud // *PASP*. — 1989. — May. — Vol. 101. — P. 520.
37. *Romano G.* A new variable star in M33. // *A&A*. — 1978. — Jul. — Vol. 67. — P. 291.
38. MN112: a new Galactic candidate luminous blue variable / V. V. Gvaramadze, A. Y. Kniazev, S. Fabrika et al. // *MNRAS*. — 2010. — Jun. — Vol. 405. — Pp. 520–524.
39. A Survey of Local Group Galaxies Currently Forming Stars. I. UBVRI Photometry of Stars in M31 and M33 / Philip Massey, K. A. G. Olsen, Paul W. Hodge et al. // *AJ*. — 2006. — May. — Vol. 131. — Pp. 2478–2496.
40. *Afanasiev V. L., Moiseev A. V.* The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope // *Astronomy Letters*. — 2005. — Mar. — Vol. 31. — Pp. 194–204.
41. Mass producing an efficient NIR spectrograph / J. C. Wilson, C. P. Henderson, T. L. Herter et al. // *Ground-based Instrumentation for Astronomy* / Ed. by A. F. M. Moorwood, M. Iye. — Vol. 5492 of *Proc. SPIE*. — 2004. — Sep. — Pp. 1295–1305.

42. *Cushing Michael C., Vacca William D., Rayner John T.* Spextool: A Spectral Extraction Package for SpeX, a 0.8-5.5 Micron Cross-Dispersed Spectrograph // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — 2004. — Apr. — Vol. 116. — Pp. 362–376.
43. *Vacca William D., Cushing Michael C., Rayner John T.* A Method of Correcting Near-Infrared Spectra for Telluric Absorption // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. — 2003. — Mar. — Vol. 115. — Pp. 389–409.
44. *Musaev F. A.* The coudé echelle spectrometer of the 1-m Special Astrophysical Observatory telescope // *Astronomy Letters*. — 1996. — Sep. — Vol. 22, no. 5. — Pp. 715–719.
45. Кудэ-эшеле-спектрометр для 2-м телескопа на пике Терскол / Ф. А. Мусаев, Г. А. Галазутдинов, А. В. Сергеев и др. // *Кинематика и физика небесных тел*. — 1999. — Т. 15, № 3. — С. 282–287.
46. *Галазутдинов Г. А.* Препринт САО РАН № 92. — 1992.
47. *Tody Doug.* The IRAF Data Reduction and Analysis System // Instrumentation in astronomy VI / Ed. by David L. Crawford. — Vol. 627 of *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*. — 1986. — Jan. — P. 733.
48. *Tody Doug.* IRAF in the Nineties // Astronomical Data Analysis Software and Systems II / Ed. by R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden, J. Barnes. — Vol. 52 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. — 1993. — Jan. — P. 173.
49. *Massey P., Neugent K. F., Smart B. M.* VizieR Online Data Catalog: Revised LGGS UBVRi photometry of M31 and M33 stars (Massey+, 2016) // *VizieR Online Data Catalog*. — 2016. — Sep. — P. J/AJ/152/62.
50. *Simons D. A., Tokunaga A.* The Mauna Kea Observatories Near-Infrared Filter Set. I. Defining Optimal 1-5 Micron Bandpasses // *PASP*. — 2002. — Feb. — Vol. 114, no. 792. — Pp. 169–179.
51. *Tokunaga A. T., Simons D. A., Vacca W. D.* The Mauna Kea Observatories Near-Infrared Filter Set. II. Specifications for a New JHKL'M' Filter Set

- for Infrared Astronomy // *PASP.* — 2002. — Feb. — Vol. 114, no. 792. — Pp. 180–186.
52. *Tokunaga A. T., Vacca W. D.* The Mauna Kea Observatories Near-Infrared Filter Set. III. Isophotal Wavelengths and Absolute Calibration // *PASP.* — 2005. — Apr. — Vol. 117, no. 830. — Pp. 421–426.
53. VizieR Online Data Catalog: 2MASS 6X Point Source Working Database / Catalog (Cutri+ 2006) / R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. van Dyk et al. // *VizieR Online Data Catalog.* — 2012. — Feb. — P. II/281.
54. *Landolt A. U.* UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator // *AJ.* — 1992. — Jul. — Vol. 104. — Pp. 340–371.
55. *Stetson Peter B.* DAOPHOT: A Computer Program for Crowded-Field Stellar Photometry // *PASP.* — 1987. — Mar. — Vol. 99. — P. 191.
56. *Stetson Peter B., Davis Lindsey E., Crabtree Dennis R.* Future development of the DAOPHOT crowded-field photometry package. // CCDs in astronomy / Ed. by George H. Jacoby. — Vol. 8 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series.* — 1990. — Jan. — Pp. 289–304.
57. ASTRONIRCAM—the infrared camera-spectrograph for the 2.5-m telescope of SAI Caucasian observatory / A. E. Nadjip, A. M. Tatarnikov, D. W. Toomey et al. // *Astrophysical Bulletin.* — 2017. — Jul. — Vol. 72, no. 3. — Pp. 349–362.
58. The Caucasian Mountain Observatory of the Sternberg Astronomical Institute: First Six Years of Operation / N. Shatsky, A. Belinski, A. Dodin et al. // *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century* / Ed. by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, D. O. Kudryavtsev. — 2020. — Dec. — Pp. 127–132.
59. JHK observations of faint standard stars in the Mauna Kea Observatories near-infrared photometric system / S. K. Leggett, M. J. Currie, W. P. Varricatt et al. // *MNRAS.* — 2006. — Dec. — Vol. 373, no. 2. — Pp. 781–792.
60. A catalogue of the brightest stars in the field of M 31. / E. M. Berkhuijsen, R. M. Humphreys, F. D. Ghigo, W. Zumach // *A&AS.* — 1988. — Nov. — Vol. 76. — Pp. 65–99.

61. BVRI CCD photometry of 361,281 objects in the field of M 31 / E. A. Magnier, W. H. G. Lewin, J. van Paradijs et al. // *A&AS*. — 1992. — Dec. — Vol. 96. — Pp. 379–388.
62. DIRECT Distances to Nearby Galaxies Using Detached Eclipsing Binaries and Cepheids. III. Variables in the Field M31C / K. Z. Stanek, J. Kaluzny, M. Krockenberger et al. // *AJ*. — 1999. — Jun. — Vol. 117, no. 6. — Pp. 2810–2830.
63. The DIRECT Project: Catalogs of Stellar Objects in Nearby Galaxies. II. Eastern Arm and NGC 206 in M31 / B. J. Mochejska, J. Kaluzny, K. Z. Stanek, D. D. Sasselov // *AJ*. — 2001. — Sep. — Vol. 122, no. 3. — Pp. 1383–1385.
64. *Vilardell F., Ribas I., Jordi C.* Eclipsing binaries suitable for distance determination in the Andromeda galaxy // *A&A*. — 2006. — Nov. — Vol. 459, no. 1. — Pp. 321–331.
65. The Pan-STARRS1 Surveys / K. C. Chambers, E. A. Magnier, N. Metcalfe et al. // *ArXiv e-prints*. — 2016. — Dec. — P. arXiv:1612.05560.
66. IUE and ground-based observations of the Hubble-Sandage variables in M 31 and M 33. / R. M. Humphreys, C. Blaha, S. D’Odorico et al. // *ApJ*. — 1984. — Mar. — Vol. 278. — Pp. 124–136.
67. The Two Micron All Sky Survey (2MASS) / M. F. Skrutskie, R. M. Cutri, R. Stiening et al. // *AJ*. — 2006. — Feb. — Vol. 131, no. 2. — Pp. 1163–1183.
68. VizieR Online Data Catalog: 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+2003) / R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. van Dyk et al. // *VizieR Online Data Catalog*. — 2003. — Jun. — P. II/246.
69. *Martin John C., Humphreys Roberta M.* Multi-epoch BVRI Photometry of Luminous Stars in M31 and M33 // *AJ*. — 2017. — Sep. — Vol. 154, no. 3. — P. 81.
70. The Pan-STARRS1 Photometric System / J. L. Tonry, C. W. Stubbs, K. R. Lykke et al. // *ApJ*. — 2012. — May. — Vol. 750, no. 2. — P. 99.
71. *Horne K.* An optimal extraction algorithm for CCD spectroscopy // *PASP*. — 1986. — Jun. — Vol. 98. — Pp. 609–617.

72. *Buie M. W., Grundy W. M.* The Distribution and Physical State of H₂O on Charon // *Icarus*. — 2000. — Dec. — Vol. 148. — Pp. 324–339.
73. *Hynes R. I.* An optimal extraction of spatially blended spectra // *A&A*. — 2002. — Feb. — Vol. 382. — Pp. 752–757.
74. MIDAS - ESO's new image processing system / K. Banse, P. Crane, P. Grosbol et al. // *The Messenger*. — 1983. — Mar. — Vol. 31. — Pp. 26–28.
75. *Wells D. C., Greisen E. W., Harten R. H.* FITS - a Flexible Image Transport System // *A&AS*. — 1981. — Jun. — Vol. 44. — P. 363.
76. *Moffat A. F. J.* A Theoretical Investigation of Focal Stellar Images in the Photographic Emulsion and Application to Photographic Photometry // *A&A*. — 1969. — Dec. — Vol. 3. — P. 455.
77. New luminous blue variable candidates in NGC 4736 / Y. Solovyeva, A. Vinokurov, S. Fabrika et al. // *MNRAS*. — 2019. — Mar. — Vol. 484, no. 1. — Pp. L24–L28.
78. New luminous blue variable candidates in the NGC 247 galaxy / Y. Solovyeva, A. Vinokurov, A. Sarkisyan et al. // *MNRAS*. — 2020. — Oct. — Vol. 497, no. 4. — Pp. 4834–4842.
79. Search for LBVs in the Local Volume galaxies: study of four stars in NGC 4449 / Y. Solovyeva, A. Vinokurov, A. Sarkisyan et al. // *MNRAS*. — 2021. — Nov. — Vol. 507, no. 3. — Pp. 4352–4366.
80. *Vinokurov A., Atapin K., Solovyeva Y.* Optical Counterpart to the Ultraluminous X-Ray Source in the UGC 6456 Galaxy // *ApJ*. — 2020. — Apr. — Vol. 893, no. 2. — P. L28.
81. Optical counterparts of ULXs in two dwarf galaxies: NGC 4861 and NGC 4449 / M. Ozdogan Ela, A. Akyuz, N. Aksaker et al. // *MNRAS*. — 2021. — Jul. — Vol. 505, no. 1. — Pp. 771–782.
82. DIRECT Distances to Nearby Galaxies Using Detached Eclipsing Binaries and Cepheids. IX. Variables in the Field M31Y Discovered with Image Subtraction / A. Z. Bonanos, K. Z. Stanek, D. D. Sasselov et al. // *AJ*. — 2003. — Jul. — Vol. 126, no. 1. — Pp. 175–186.

83. *King N. L., Walterbos R. A. M., Braun R.* Discovery of Candidate Luminous Blue Variables in M31 // *ApJ*. — 1998. — Nov. — Vol. 507. — Pp. 210–220.
84. Near-Infrared Spectra of LBV; Be and B[e] Stars: Does Axisymmetry Provide a Morphological Link? / P. W. Morris, R. H. M. Voors, H. J. G. L. M. Lamers, Ph. R. J. Eenens // *Luminous Blue Variables: Massive Stars in Transition* / Ed. by Antonella Nota, Henny Lamers. — Vol. 120 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. — 1997. — Jan. — P. 20.
85. The supergiant B[e] star LHA 115-S 18 - binary and/or luminous blue variable? / J. S. Clark, E. S. Bartlett, M. J. Coe et al. // *A&A*. — 2013. — Dec. — Vol. 560. — P. A10.
86. *Humphreys Roberta M., Martin John C., Gordon Michael S.* A New Luminous Blue Variable in M31 // *PASP*. — 2015. — Apr. — Vol. 127, no. 950. — P. 347.
87. HST and groundbased observations of the ‘Hubble-Sandage’ variables in M 31 and M 33. / T. Szeifert, R. M. Humphreys, K. Davidson et al. // *A&A*. — 1996. — Oct. — Vol. 314. — Pp. 131–145.
88. Modelling spectra of MN112 / A. Kostenkov, S. Fabrika, O. Sholukhova et al. // *MNRAS*. — 2020. — Aug. — Vol. 496, no. 4. — Pp. 5455–5462.
89. Long-term spectroscopic monitoring of P Cygni-type stars. I. Spectral atlas of P Cygni. / O. Stahl, H. Mandel, B. Wolf et al. // *A&AS*. — 1993. — May. — Vol. 99. — Pp. 167–177.
90. Active Luminous Blue Variables in the Large Magellanic Cloud / Nolan R. Walborn, Roberto C. Gamen, Nidia I. Morrell et al. // *AJ*. — 2017. — Jul. — Vol. 154, no. 1. — P. 15.
91. Periods, period changes and the nature of the microvariations of Luminous Blue Variables / H. J. G. L. M. Lamers, M. V. Bastiaanse, C. Aerts, H. W. W. Spoon // *A&A*. — 1998. — Jul. — Vol. 335. — Pp. 605–621.
92. *Szeifert T.* LBVs and a late WN-star in M 31 and M 33 // *Liege International Astrophysical Colloquia* / Ed. by J. M. Vreux, A. Detal, D. Fraipont-Caro et al. — Vol. 33 of *Liege International Astrophysical Colloquia*. — 1996. — P. 459.

93. Spectral variability of LBV star V 532 (Romano's star) / O. N. Sholukhova, S. N. Fabrika, A. V. Zharova et al. // *Astrophysical Bulletin*. — 2011. — Apr. — Vol. 66. — Pp. 123–143.
94. *Fitzpatrick Edward L.* Correcting for the Effects of Interstellar Extinction // *PASP*. — 1999. — Jan. — Vol. 111, no. 755. — Pp. 63–75.
95. *Jacoby G. H., Hunter D. A., Christian C. A.* A library of stellar spectra. // *ApJS*. — 1984. — Oct. — Vol. 56. — Pp. 257–281.
96. *Riess Adam G., Fliri Jürgen, Valls-Gabaud David.* Cepheid Period-Luminosity Relations in the Near-infrared and the Distance to M31 from the Hubble Space Telescope Wide Field Camera 3 // *ApJ*. — 2012. — Feb. — Vol. 745. — P. 156.
97. Estimating Distance from Parallaxes. IV. Distances to 1.33 Billion Stars in Gaia Data Release 2 / C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau et al. // *AJ*. — 2018. — Aug. — Vol. 156. — P. 58.
98. *Valeev A. F., Sholukhova O., Fabrika S.* A new luminous variable in M33 // *MNRAS*. — 2009. — Jun. — Vol. 396, no. 1. — Pp. L21–L25.
99. *Massey P.* The Discovery of a P Cygni Analog in M31 // *ApJ*. — 2006. — Feb. — Vol. 638. — Pp. L93–L96.
100. B(e)-supergiants of the Magellanic Clouds. / F. J. Zickgraf, B. Wolf, O. Stahl et al. // *A&A*. — 1986. — Jul. — Vol. 163. — Pp. 119–134.
101. S 18 - A new B(e) supergiant in the Small Magellanic Cloud with evidence for an excretion disk / F.-J. Zickgraf, B. Wolf, O. Stahl, R. M. Humphreys // *A&A*. — 1989. — Aug. — Vol. 220. — Pp. 206–214.
102. CHIANTI - an atomic database for emission lines / K. P. Dere, E. Landi, H. E. Mason et al. // *A&AS*. — 1997. — Oct. — Vol. 125. — Pp. 149–173.
103. CHIANTI—An Atomic Database for Emission Lines. XIII. Soft X-Ray Improvements and Other Changes / E. Landi, P. R. Young, K. P. Dere et al. // *ApJ*. — 2013. — Feb. — Vol. 763, no. 2. — P. 86.
104. An improved classification of B[e]-type stars / Henny J. G. L. M. Lamers, Franz-Josef Zickgraf, Dolf de Winter et al. // *A&A*. — 1998. — Dec. — Vol. 340. — Pp. 117–128.

105. The Gaia mission / Gaia Collaboration, T. Prusti, J. H. J. de Bruijne et al. // *A&A*. — 2016. — Nov. — Vol. 595. — P. A1.
106. A spectroscopic atlas of Deneb (A2 Iae) lambda lambda 3826-5212 / B. Albayrak, A. F. Gulliver, S. J. Adelman et al. // *A&A*. — 2003. — Mar. — Vol. 400. — Pp. 1043–1049.
107. *Lennon D. J., Dufton P. L., Fitzsimmons A.* Galactic B-supergiants. I. an atlas of O9-B9 supergiant spectra from 3950Å to 4950 Å. // *A&AS*. — 1992. — Sep. — Vol. 94. — Pp. 569–586.
108. *Стриганов Ф. Р., Одинцова Г. А.* Таблицы спектральных линий атомов и ионов. — Москва: Энергоиздат, 1982. — 312 с.
109. *Johansson S.* The spectrum and term system of Fe II. // *Phys. Scr.* — 1978. — Jan. — Vol. 18. — P. 217.
110. Narrow Diffuse Interstellar Bands: A Survey with Precise Wavelengths / G. A. Galazutdinov, F. A. Musaev, J. Krełowski, G. A. H. Walker // *PASP*. — 2000. — May. — Vol. 112, no. 771. — Pp. 648–690.
111. *Pierce A. K., Breckinridge J. B.* The Kitt Peak table of photographic solar spectrum wavelengths. — 1973. — Kitt Peak Contribution No. 559.
112. *Chentsov E. L., Musaev F. A., Galazutdinov G. A.* Spectral atlas of the white hypergiant 6 Cas. // *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory*. — 1996. — Jan. — Vol. 39. — Pp. 101–123.
113. An atlas of spectra of B6-A2 hypergiants and supergiants from 4800 to 6700 Å / E. L. Chentsov, S. V. Ermakov, V. G. Klochkova et al. // *A&A*. — 2003. — Jan. — Vol. 397. — Pp. 1035–1042.
114. *Клочкова В. Г., Ченцов Е. Л., Таволжанская Н. С., Проскурова Г. А.* Препринт САО РАН № 183. — 2003.
115. *Münch Guido.* Interstellar Absorption Lines in Distant Stars. I. Northern Milky way. // *ApJ*. — 1957. — Jan. — Vol. 125. — P. 42.
116. *Hobbs L. M.* Interferometric Studies of Interstellar Sodium Lines // *ApJ*. — 1969. — Jul. — Vol. 157. — P. 135.

117. *Hobbs L. M.* Observations of interstellar lines of Na I, and/or Ca II toward 47 stars. // *ApJS*. — 1978. — Oct. — Vol. 38. — Pp. 129–146.
118. *Chaffee F. H. Jr., White R. E.* A survey of interstellar neutral potassium .I. Abundances and physical conditions in clouds toward 188 early-type stars. // *ApJS*. — 1982. — Nov. — Vol. 50. — Pp. 169–198.
119. *Snezhko L. I., Chentsov E. L.* The application of model atmospheres for determination of effective wavelengths of the He I triplets in stellar spectra. // *Astrofizicheskie Issledovaniia Izvestiya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*. — 1973. — Jan. — Vol. 5. — Pp. 94–99.
120. *Chentsov E. L.* HD 183143: A Hypergiant // *Astronomy Letters*. — 2004. — May. — Vol. 30. — Pp. 325–331.
121. *Lennon D. J., Dufton P. L., Fitzsimmons A.* Galactic B-supergiants. II. Line strengths in the visible. Evidence for evolutionary effects? // *A&AS*. — 1993. — Jan. — Vol. 97. — Pp. 559–586.
122. *Didelon P.* Largeurs equivalentes de raies spectrales dans les etoiles B. // *A&AS*. — 1982. — Nov. — Vol. 50. — Pp. 199–207.
123. Hypergiant 6 Cas and association Cas OB5. / R. A. Bartaya, K. B. Chargeishvili, E. L. Chentsov, Z. U. Shkhagosheva // *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory*. — 1994. — Jan. — Vol. 38. — Pp. 103–118.
124. *Chentsov E. L., Gorda E. S.* Spatial Closeness of the White Hypergiants HD 168607 and HD 168625 // *Astronomy Letters*. — 2004. — Jul. — Vol. 30. — Pp. 461–468.
125. *Klochkova V. G., Chentsov E. L.* The Optical Spectrum of an LBV Candidate in the Cyg OB2 Association // *Astronomy Reports*. — 2004. — Dec. — Vol. 48, no. 12. — Pp. 1005–1018.
126. *Chentsov E. L.* Unstable Wind of 6 Cassiopeiae // *Ap&SS*. — 1995. — Oct. — Vol. 232, no. 2. — Pp. 217–232.
127. *Chentsov Eugene.* On the Variable Winds of BA Supergiants // IAU Colloq. 169: Variable and Non-spherical Stellar Winds in Luminous Hot Stars / Ed.

by Bernhard Wolf, Otmar Stahl, Alex W. Fullerton. — 1999. — Vol. 523. — P. 206.

Приложение А

Графическое и табличное представление спектрального атласа сверхгигантов и гипергигантов O9.5–A1 в галактике Млечный Путь

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
HeI(31)	3587.28	0.90		0.90				0.84	-40:
HeI(30)	3599.33							0.97	-34:
AIII(1)	3601.7							0.95	
AIII(1)	3612.35								
HeI(6)	3613.64	0.86	-11	0.95	21			0.88	-37
SIII(1)	3631.97							0.94	-25:
HeI(28)	3634.25	0.85	-11	0.89	7			0.82	-38
NeII(1)	3664.07	0.89	-9	0.97	5:				
H20	3682.81				8:			0.94	
H19	3686.83			0.96	13:			0.93	-37:
H18	3691.56			0.94				0.88	-30:
NeII(1)	3694.21	0.83	-11	0.93	12:			0.94	-34
H17	3697.15			0.92	12:			0.86	-36
OIII(21)	3698.70	0.92	-7:						
OIII(14)	3702.75	0.92	-12:						
OIII(21)	3703.37	0.88	-11						
H16	3703.856	0.78		0.81		0.79		0.77	
HeI(25)	3705.02	0.76	-11						
OIII(14)	3707.24	0.93	-8					0.96	
SIII(1)	3709.33							0.86	
NeII(1)	3709.62	0.90	-13:						
H15	3711.97	0.87		0.86		0.85		0.75	
OII(3)	3712.75								
NeII(5)	3713.08	0.84	-13:						
OIII(14)	3715.08	0.89	-11	0.93				0.90	-33
H14	3721.94	0.90	-9:	0.83	6	0.84	29:	0.74	-33
OIII(14)	3725.30	0.96	-11:						
NeII(5)	3727.11	0.85		0.92		0.90	23:	0.84	-36
OII(3)	3727.33								
HeI(24)	3732.87	0.92							
H13	3734.37	0.85:	-11	0.77	4	0.80		0.71	-30
NeII(1)	3734.94								
OII(3)	3749.49		-9						
H12	3750.15	0.78	-12	0.74	4	0.74	20	0.65	
OIII(2)	3754.67	0.73	-9	0.86		0.93	30:	0.95	
OIII(2)	3757.21	0.74	-9	0.83		0.90	28		
OIII(2)	3759.87	0.62	-10	0.75	10	0.86	31	0.93	-38:
SiIV(3)	3762.44	0.84	-10	0.93		0.97		0.95	

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (*продолжение*)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
NeII(1)	3766.26	0.90	-11	0.94		0.90			
HeI(65)	3768.78								
H11	3770.63	0.73		0.75	4	0.70	30	0.67	
NIII(4)	3771.05								
SiIV(3)	3773.15		-13:						
OIII(2)	3774.00		-8	0.95		0.90			
NeII(1)	3777.13	0.90	-7	0.97		0.92		0.95	-34:
SIII(5)	3778.87							0.95	-31
OIII(2)	3791.26	0.80	-8	0.87		0.90	28:	0.95	-36:
SiIII(5)	3791.41								
H10	3797.90	0.68	-10	0.70	5	0.66	28	0.62	-31
HeI(63)	3805.74			0.97		0.93		0.87	-35:
SiIII(5)	3806.54	0.90	-11						
HeI(22)	3819.61	0.63	-10						
	3819.64			0.76	8	0.75	25	0.66	-36
NeII(39)	3829.75					0.80		0.95	
HeI(62)	3833.55								
H9	3835.38	0.61	-9	0.68		0.68	30	0.61	-33
HeI(61)	3838.10								
SIII(5)	3838.28							0.85	-36:
HeII(4)	3858.07			0.96	15				
HeI(20)	3867.48	0.87	-9						
	3867.50			0.94	14:	0.93	25:	0.88	-32:
HeI(60)	3871.79			0.97	10:	0.95		0.88	-34
CII(33)	3876.3:							0.96	
OII(12)	3882.2:			0.97		0.94		0.89	
HeI(2)	3888.65								
H8	3889.05	0.60	-11:	0.66	6:	0.67	28:	0.63	
OII(17)	3911.96	0.93	-8			0.93	31:	0.91	-35:
CII(4)	3918.98							0.91	-33
OII(17)	3919.28								
CII(4)	3920.69					0.97		0.94	-37
SiIII	3924.47			0.96		0.94		0.92	-30:
HeI(58)	3926.53	0.96		0.96		0.91	29	0.87	-30:
SIII(8)	3928.54							0.94	
CaII(1)	3933.66	0.69	-30		-17:	0.76	9	0.31	-52
		0.55	-11	0.20	-3	0.76	24	0.13	-11
NIII(8)	3934.43	0.95							
HeI(57)	3935.91					0.98	30:		
NIII(8)	3938.52	0.97	-12:						
OII(6)	3945.05					0.95	25:	0.92	-38:
OII(6)	3954.37							0.90	-38
NII(6)	3955.85							0.93	-30:
OIII(17)	3961.59	0.84	-10	0.94		0.94	30:		
HeI(5)	3964.73	0.74	-11	0.94	13	0.87	23	0.78	-34

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (*продолжение*)

Линия (мульти- плет)	λ (\AA)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
CaII(1)	3968.47		-31 -12		-14: -3		10: 22:	0.5: 0.3:	-52 -12
He ϵ	3970.07	0.56	-11	0.65	2	0.65	30	0.57	-35
ОП(6)	3973.26		-12:					0.8:	-36:
ОП(6)	3982.72	0.97	-10					0.89	-33:
NII(12)	3995.00	0.95		0.97		0.95	20	0.78	-34
NIII(16)	3998.63	0.94	-8	0.98					
NIII(16)	4003.58	0.92	-12	0.97					
HeI(55)	4009.27	0.88	-7	0.94	12	0.90	27	0.80	-33
HeI(18)	4026.19 4026.23	0.59	-8	0.72	0	0.72	20	0.64	-33
NII(39)	4035.08	0.98	-9					0.94	-32:
NII(39)	4041.31	0.96	-11			0.98		0.88	-35:
NII(39)	4043.53	0.97						0.96	-32:
CIII(16)	4067.94	0.87	-10						
CIII(16)	4068.91	0.84	-10						
OII(10)	4069.8:					0.85	26:	0.83	-34:
OII(10)	4072.16	0.88	-10	0.96		0.90	23	0.85	-33
OII(10)	4075.87	0.85	-10	0.95		0.90	26	0.81	-35
OII(10)	4078.86	0.95	-12:	0.99	15:	0.97	21	0.95	-33:
FeIII(19)	4083.01	0.95	-9:	0.97	21:	0.98	22:		
OIII(23)	4081.10								
OII(49)	4083.91	0.94	-10:					0.95	-38:
OII(10)	4085.12	0.95	-10					0.92	
SiIV(1)	4088.85	0.61	-9	0.68	1	0.67	29	0.84	
OII(10)	4092.94	0.95	-9					0.95	-38
NIII(1)	4097.33	0.6:	-10	0.74	2	0.81	29	0.88	-36
H δ	4101.74	0.54	-11	0.62		0.63		0.57	-35
NIII(1)	4103.43	0.64							
OII(20)	4105.00							0.9:	-38:
OII(20)	4110.49								
OII(21)	4112.03							0.95	-36:
SiIV(1)	4116.10	0.69	-10	0.79	3	0.75	27	0.89	-35
OII(20)	4119.22	0.90	-11			0.97		0.86	-35:
HeI(16)	4120.82	0.80	-9	0.92	9	0.97	22:	0.81	-38:
OII(19)	4132.81	0.93	-12			0.97	26:	0.94	-35
HeI(53)	4143.76	0.81	-7	0.91	14	0.88	27	0.80	-34
CIII(21)	4152.51	0.93	-10:						
OII(19)	4153.30	0.93	-9:	0.98	13:	0.95	22:	0.92	-35:
CIII(21)	4156.5:								
OII(19)	4156.54	0.92	-10	0.98	17:	0.98		0.97	
CIII(21)	4162.86	0.90	-7	0.98	25:	0.98			
HeI(52)	4168.97	0.93	-10	0.97	14	0.96		0.93	-32:
OII(19)	4169.23								
NII(43)	4171.61							0.97	-36:

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (*продолжение*)

Линия (мульти- плет)	λ (\AA)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
NI(42)	4176.16							0.95	-37:
NI(50)	4179.67							0.97	-34:
OII(36)	4185.46	0.95	-10					0.94	-32
СIII(18)	4186.90	0.85	-10	0.96	11:	0.95			
OII(36)	4189.79	0.93	-11	0.99		0.95	25:	0.93	-36
NI(6)	4195.76	0.94	-10	0.97		0.99			
HeII(3)	4199.83			0.91	21:	0.94		0.96	
NI(6)	4200.10	0.87	-12						
SiIV(5)	4212.41	0.90	-11	0.99		0.97			
NeII(52)	4219.75	0.96	-12	0.99					
NI(33)	4227.74							0.94	-36
CH+	4232.55			0.92	-3			0.98	-49:
								0.96	-10
NI(48)	4236.97:							0.93	-39:
NI(48)	4241.78	0.98	-12:	0.98		0.98	30:	0.92	-35
SIII(4)	4253.47	0.93		0.97	23:				
OII(101)	4253.8:					0.92		0.85	
СII(6)	4267.14	0.94	-10	0.97	12:	0.93	25	0.90	-34
OII(67)	4275.52	0.94				0.97	25:	0.96	-32:
OII(67)	4282.96	0.97	-9:						
SIII(4)	4284.89	0.97	-9			0.95			
OII(78)	4285.70	0.98	-11:					0.91	
OII(54)	4288.83	0.97	-9:					0.98	-34:
OII(55)	4291.25	0.96	-12:					0.98	-35:
OII(54)	4294.82	0.96	-11			0.98	28:	0.96	
CH	4300.82			0.96	-4				
OII(54)	4303.82	0.94		0.99	20:	0.97	31	0.95	-34
OII(2)	4317.14	0.94	-10	0.98	16	0.95	27	0.87	-32
OII(2)	4319.63	0.93	-11	0.98	21:	0.94	23	0.85	-32
СIII(7)	4325.56	0.94	-8						
OII(2)	4325.77			0.98		0.97		0.95	-37
OII(41)	4327.48	0.99	-11:			0.98		0.97	
SiIV(4)	4328.18	0.97	-12						
OII(2)	4336.87							0.94	-35
H γ	4340.47	0.55	-11	0.63	-6	0.63	33	0.62	-40
OII(2)	4345.56		-12:			0.95	21	0.88	-35
OII(16)	4347.43							0.97	-31:
OII(2)	4349.43	0.86	-12	0.96		0.92	28	0.77	-34
OII(16)	4351.27	0.95	-11			0.96	26:	0.91	-38
SIII(7)	4354.52							0.97	
SIII(4)	4361.48					0.98	25:	0.94	-30
OII(2)	4366.89	0.91	-12	0.96		0.93	23:	0.86	-34
OII(26)	4369.28							0.98	-33:
NI(17)	4379.11	0.87		0.93	16	0.94	29:	0.98	

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (*продолжение*)

Линия (мульти- плет)	λ (\AA)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
HeI(51)	4387.93	0.73	-8	0.88	7	0.83	20	0.74	-34
NeII(57)	4391.99	0.95	-14:	0.99					
OII(26)	4395.95	0.98	-8:			0.97	28:	0.94	-39
NeII(56)	4397.99	0.97	-7			0.98			
NeII(57)	4409.30	0.95	-10:						
NeII(57)	4413.2:	0.97	-11:						
OII(5)	4414.91	0.93	-12	0.98		0.93	24	0.78	-36
OII(5)	4416.98	0.97	-8	0.98		0.93	25	0.82	-37
FeIII(4)	4419.59							0.96	-30:
NII(56)	4427.24								
NII(55)	4427.96							0.98	
NeII(57)	4428.6:	0.96							
NeII(56)	4430.93								
FeIII(4)	4430.95	0.97	-15:						
NII(55)	4431.82							0.98	
NII(55)	4432.74							0.95	-30:
HeI(50)	4437.55	0.92	-8	0.98	10	0.96	24	0.92	-36
NII(55)	4442.02							0.97	-29:
NII(15)	4447.03			0.98		0.97		0.90	-30
OII(35)	4448.21	0.97	-13:					0.97	
OII(5)	4452.38	0.98				0.98	26:	0.94	-35
OII(94)	4465.45								
OII(87)	4466.32	0.98	-10			0.98		0.97	
HeI(14)	4471.50	0.53	-10						
	4471.52			0.68	1	0.67	25	0.63	-37
OII(88)	4477.88	0.99	-13:			0.99		0.98	-38:
MgII(2)	4481.22	0.88	-11	0.96	8	0.95	21	0.89	-33
SIV(16)	4485.61			1.06	28:	1.02	29:		
SIV(14)	4504.10			1.04	16:	1.03			
NIII(3)	4510.91	0.87	-10	0.92	19	0.97	26:		
AlIII(3)	4512.56	0.97	-12			0.99		0.98	-28:
NIII(3)	4514.86	0.83	-10	0.91	16	0.96	27:		
CHII(9)	4516.77	0.96	-15:						
NIII(3)	4518.15	0.95	-11	0.96	17	0.98			
NIII(3)	4523.58	0.93	-12	0.95	16	0.97			
AlIII(3)	4529.1:	0.96				0.97	27:	0.96	
NII(59)	4530.41					0.97		0.95	-38
NIII(3)	4534.58	0.94	-9:	0.96	19	0.97			
NIII(13)	4535.05	0.96							
HeII(2)	4541.59	0.84	-9	0.89	14	0.94	30	0.98	
NIII(12)	4544.85	0.97	-11:						
NIII(13)	4546.32	0.98		0.99					
SiIII(2)	4552.62	0.88	-12	0.95		0.85	23:	0.72	-33
SiIII(2)	4567.82	0.91	-11	0.96		0.88	22	0.74	-31

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (*продолжение*)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SiIII(2)	4574.76	0.96	-12	0.97		0.93	22:	0.84	-35
OII(15)	4590.97	0.95	-12:	0.98	15	0.94	28	0.85	-36
OII(15)	4596.17	0.96	-11			0.96	26	0.90	-35
NII(5)	4601.48							0.89	-33:
OII(93)	4602.11	0.96	-11:	0.99	14:	0.98	22:	0.91	
NII(5)	4607.15					0.99		0.89	-31
OII(93)	4609.42	0.95	-9:			0.97		0.96	
OII(92)	4610.14								
NII(5)	4613.87	0.99						0.92	-36
NII(5)	4621.39							0.92	-35
NII(5)	4630.54					0.94	26:	0.81	-35
SiIV(6)	4631.24	0.86	-13	0.93					
NIII(2)	4634.14	0.93	-12	0.99	18:	0.99	28:	0.97	-32:
SiIII(13)	4638.28	0.96	-9:	0.97	15:				
OII(1)	4638.85	0.93	-13:			0.95		0.86	-37
NIII(2)	4640.64	0.91	-12	0.96	17:				
OII(1)	4641.81	0.88	-11			0.88	21	0.76	-31:
NIII(2)	4641.85								
NII(5)	4643.09	0.98	-10:					0.8:	
CIII(1)	4647.42	0.70	-10	0.82	8	0.75		0.90	
OII(1)	4649.14	0.84	-11					0.69	-31:
CIII(1)	4650.25	0.73	-10	0.81	10:	0.73	24		
OII(1)	4651.47	0.79	-12:					0.80	-37:
SiIV(7)	4654.32	0.86	-8	0.96	20	0.95	23		
NII(11)	4654.53							0.97	-38:
OII(1)	4661.64	0.92	-11	0.98		0.92	21	0.83	-35
CIII(5)	4663.64	0.98	-9:						
CIII(5)	4665.86	0.93	-10	0.98	20:	0.98	28		
NII(11)	4667.21	0.97						0.97	-32:
OII(90)	4669.4:	0.98	-10:					0.97	
OII(1)	4673.75							0.96	-34
CIII(5)	4673.95	0.97		0.99		0.96	28		
NII(11)	4674.91								
OII(1)	4676.23	0.93	-11	0.98		0.92	28	0.89	-35
HeII(1)	4685.71	0.61	-11	0.94	9	0.91	43	0.98	-33
NII(61)	4694.64	0.98	-12:					0.97	-37:
OII(1)	4696.36	0.99				0.99		0.97	-33:
OII(25)	4699.21	0.96	-11			0.96	20	0.93	-38
OII(40)	4703.18	0.98	-11:			0.99		0.98	
OII(25)	4705.36	0.93	-13			0.96	27:	0.90	-33
OII(24)	4710.04	0.97	-12			0.97	25:	0.96	-33
HeI(12)	4713.15	0.72	-10						
	4713.18			0.86	11	0.85	23	0.79	-34
SiIII	4716.65							0.98	-38:
NII(20)	4779.72							0.96	

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
NII(20)	4788.13							0.96	-29
NII(20)	4803.29							0.94	-37
SiIII(9)	4813.33							0.96	-36
SiIII(9)	4819.72	0.99				0.97	25	0.95	-36
SiIII(9)	4828.97					0.98	29	0.93	-31
H β	4861.33	0.55	-9	0.71	-10	0.71	55	0.68	-53
NII(9)	4867.15			0.96		0.97	24:		
OII(28)	4890.93					0.98		0.98	-37
OII(28)	4906.88	0.98	-10:			0.96	22	0.96	-34
HeI(48)	4921.93	0.66	-9	0.83	7	0.78	28	0.68	-34
OII(28)	4924.60	0.98						0.95	
OII(33)	4941.12							0.97	-31:
OII(33)	4943.06	0.96	-12			0.98		0.94	-40:
OII(33)	4955.78					0.98	26:	0.98	-39:
NII(24)	4987.37							0.98	-30:
NII(24)	4994.36							0.97	-32
NII(19)	5001.35:					0.98		0.89	-36:
NII(19)	5005.15	0.98	-10			0.99		0.90	-31
NII(24)	5007.33	0.98						0.96	-33:
NII(4)	5010.62							0.90	-34
HeI(4)	5015.68	0.71	-11	0.85	12	0.84	25	0.81	-32
NII(45)	5045.10					0.98	24:	0.87	-36
HeI(47)	5047.74	0.87	-10	0.96	10	0.93	24	0.88	-32
FeIII(5)	5063.45							0.98	-39:
FeIII(5)	5073.90							0.96	-35:
FeIII(5)	5086.72							0.97	
FeIII(5)	5127.5:							0.94	-32
CII(16)	5133.12							0.98	-31:
CII(16)	5143.49							0.98	
CII(16)	5145.16							0.97	-31:
CII(16)	5151.09							0.98	
FeIII(5)	5156.12							0.94	
OII(32)	5160.02							0.96	
SII	5160.08								
OII(32)	5176.00							0.98	-34
OII(32)	5190.56							0.99	
FeIII(5)	5193.89							0.99	
OII(32)	5206.73	0.98	-12:			0.99		0.98	-36
SII	5219.32					0.96		0.93	
CIII(23)	5249.11	0.98	-12:						
CIII(4)	5253.58	0.99							
OIII(19)	5268.22	0.97							
CIII(4)	5272.53	0.98							

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (\AA)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
DIB	5404.50							0.98	-26
HeII(2)	5411.52	0.80	-8	0.86	19	0.93	25		
NII(29)	5452.08							0.98	
SII(6)	5453.83								
NII(29)	5454.21							0.98	-37:
NII(29)	5462.59							0.99	
NII(29)	5495.67							0.97	-32
DIB	5508.35							0.99	-19:
CII(10)	5535.35								
NII(63)	5535.36							0.98	-34
FeIII(68)	5573.47							0.99	-37:
OIII(5)	5592.37	0.81	-13	0.89	11	0.93	24		
DIB	5609.73							0.98	-17:
NII(3)	5666.63							0.85	-34
NII(3)	5676.02							0.86	-31
NII(3)	5679.56					0.97	26:	0.78	-33
NII(3)	5686.21							0.91	-32
CIII(2)	5695.92			1.13	12:	1.03			
AlIII(2)	5696.60	0.98						0.89	-35
DIB	5705.20							0.99	
NII(3)	5710.77					0.99	24:	0.91	
AlIII(2)	5722.73	0.98				0.99		0.92	-31
NII(3)	5730.65							0.99	
SiIII(4)	5739.73	0.98	-8:			0.96	28	0.75	-31
NII(9)	5747.30							0.98	
NII(9)	5767.44							0.98	-35
DIB	5780.37	0.97		0.94	-2	0.99	19:	0.87	-13
DIB	5796.96			0.96	-1			0.94	-10
CIV(1)	5801.33	0.86	-9	0.92	18	0.96	32		
CIV(1)	5811.98	0.90	-10	0.94	16	0.97	33:		
FeIII(114)	5833.93							0.96	
DIB	5849.80			0.98	-3:			0.98	-22
HeI(11)	5875.65	0.48	-9						
	5875.72			0.66	-8	0.68	28	0.71	-47
NaI(1)	5889.95	0.78	-32	0.27	-18:	0.86:	5:	0.15	-51
		0.17	-10	0.05	-3	0.54	12	0.02	-12
						0.48	23		
NaI(1)	5895.92	0.88	-33	0.41	-19:	0.86:	4:	0.31	-49
		0.31	-11	0.12	-3	0.70	12	0.05	-12
						0.62	24		
NII(28)	5927.81							0.98	-32:
NII(28)	5931.78							0.96	-34:
NII(28)	5941.65							0.93	
DIB	6195.96			0.97	-4			0.95	-11

Продолжение на следующей странице

Таблица 20 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах 10 Lac, α Cam, ϵ Ori, HD 13854 (*продолжение*)

Линия (мульти- плет)	λ (\AA)	10 Lac		α Cam		ϵ Ori		HD 13854	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
DIB	6203.08			0.97	-5:			0.96	-16
HeII(7)	6233.8:			0.98	10:				
DIB	6269.75			0.97	-4:			0.96	-15
DIB	6283.85	0.97		0.94	-2:			0.83	-14:
DIB	6375.95			0.98	-2			0.98	-9:
DIB	6379.29			0.95	-4			0.94	-14:
NII(2)	6379.61								
NeI(1)	6402.25							0.98	
HeII(7)	6406.44			0.87	20				
H α	6562.81	0.60	-11	0.97	-126			0.89	-166
				1.18	120	1.10	-24	1.18	10:
CII(2)	6578.05					0.98		0.94	-23
CII(2)	6582.88					0.99		0.95	-28
NII(31)	6610.57							0.98	
DIB	6613.56	0.98	-13	0.92	-3	0.98		0.91	-16
OII(4)	6640.90							0.97	-32
DIB	6660.64			0.98	-2			0.98	-10
HeI(46)	6678.15	0.62	-11	0.80	1	0.75	27	0.67	-35
HeII(7)	6683.20			0.98					
OII(4)	6721.35							0.93	-31
HeI(10)	7065.32	0.63	-11:	0.76	-2:	0.79	23	0.82	-33:
HeI(45)	7281.35	0.74		0.89		0.89	27:		
HeII(6)	7592.75	0.95							
KI(1)	7698.97	0.95	-11	0.95	-18	0.98	25	0.83	-45
				0.82	-3			0.92	-20
								0.88	-8

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph

Линия (мульти- плет)	λ (\AA)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
HeI(31)	3587.29	0.90	-31	0.86	-18:	0.82	-12	0.90	-3:
SiIII(7)	3590.47			0.96		0.96			
FeIII(36)	3599.49			0.95	-16:				
FeIII(36)	3600.93			0.92	-17:				
AlIII(1)	3601.63	0.94	-31	0.89		0.89			
AlIII(1)	3601.93	0.97	-31						
FeIII(36)	3603.88			0.93	-14:	0.94	-9:		
AlIII(1)	3612.36	0.95	-29	0.94		0.93	-10:		

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
HeI(6)	3613.64	0.83	-31	0.86	-20:	0.84	-15:		
SIII(1)	3631.97					0.96	-14:		
HeI(28)	3634.23 3634.25	0.86	-31	0.83	-17	0.83	-11	0.87	-4:
HeI(27)	3651.99	0.96	-30:	0.96		0.95	-12:	0.95	
SII(16)	3669.04	0.96	-29						
H25	3669.46						-9:		
H24	3671.48						-10:		
H23	3673.76						-10		
H22	3676.36						-8:	0.95	-3:
H21	3679.35					0.89	-10:	0.93	
H20	3682.81			0.90	-17:	0.85	-8:	0.87	-3:
H19	3686.83	0.95	-30:	0.87	-14	0.81	-10:	0.85	-2:
H18	3691.56	0.94	-31	0.83	-16	0.76	-10	0.79	-1:
H17	3697.15	0.89	-29:	0.79	-18:	0.72	-9	0.72	-2:
H16	3703.85	0.80		0.75		0.67		0.66:	
HeI(25)	3705.01 3705.02		-30:	0.69		0.62		0.65:	
OIII(14)	3707.24		-30:						
H15	3711.97	0.75	-30:	0.72	-13:	0.64	-9:	0.60	-3:
SIII(6)	3717.72					0.96			
H14	3721.94	0.67	-31	0.66	-15	0.62	-9	0.55	-4
OII(3)	3727.33			0.89	-16:	0.92	-10:		
H13	3734.37	0.54	-30:	0.62	-17:	0.58	-10	0.48	-4:
H12	3750.15	0.49	-31	0.58	-19	0.58	-11	0.47	-4
H11	3770.63	0.47	-31	0.58	-17:	0.55	-10	0.51	-4:
HeI(64)	3784.86					0.91	-7	0.93	-4:
SiIII(5)	3791.41		-29		-15:	0.90	-8	0.94	
H10	3797.90	0.42	-30			0.52	-10	0.46	-5:
HeI(63)	3805.74								
SiIII(5)	3806.54		-31:	0.82		0.83		0.87	-5:
HeI(22)	3819.61 3819.64	0.46	-29	0.60	-18	0.59	-11	0.58	-6
NII(30)	3829.79					0.96	-7:	0.93	
H9	3835.38	0.38	-32	0.53	-18	0.53	-10	0.43	-3
HeI(61)	3838.10					0.85			
NII(30)	3838.37								
NII(30)	3842.18					0.96:			
NII(30)	3847.41					0.97:		0.97:	
SiII(1)	3853.66	0.75	-31			0.96		0.85	-5:
SiII(1)	3856.02	0.58	-31	0.89	-13:	0.89	-14:	0.74	-6
SII(41)	3860.11	0.97	-31:						
SII(50)	3860.61	0.96	-31:					0.97	

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SiII(1)	3862.60	0.60	-31			0.92	-13:	0.77	-6
HeI(20)	3867.48	0.66	-29						
	3867.50			0.84	-17	0.80	-11	0.79	-5:
HeI(60)	3871.79			0.86	-13	0.82	-9	0.87	
CII(33)	3876.13:	0.86	-30:	0.93		0.95:		0.92	
CII(33)	3876.41	0.90	-32:						
CII(33)	3876.66	0.92							
OII(12)	3882.20				-16:	0.93	-14:	0.93	
HeI(2)	3888.65		-29:						
H8	3889.05	0.36	-31	0.52	-17:	0.51	-11	0.43	-7
OII(17)	3911.96	0.93:	-31:	0.94	-17:	0.95			
OII(17)	3912.09								
CII(4)	3918.98	0.70	-33	0.84	-15:	0.86	-11	0.83	-3
NII(17)	3919.00								
OII(17)	3919.29	0.95	-32						
CII(4)	3920.69	0.65	-34	0.82	-18	0.83	-14	0.79	-6
SII(55)	3923.46	0.89	-32					0.95	-3:
SiIII	3924.47	0.93	-31	0.93	-15			0.96:	
HeI(58)	3926.53	0.84		0.81	-12:	0.78	-9:	0.80	
SIII(8)	3928.54	0.94:		0.95					
ArII(10)	3928.62								
SII(29)	3931.92	0.95	-32:						
SII(55)	3933.27	0.87	-31						-5:
CaII(1)	3933.66	0.47	-31	0.20	-18	0.11	-13	0.27	-14
			-20:						5:
HeI(57)	3935.91	0.94		0.97	-14:	0.96	-8:	0.92	
OII(6)	3945.05	0.94	-31	0.93	-13:	0.96	-13:		
OII(6)	3954.37	0.91	-32	0.93	-14:	0.95		0.96	-5:
NII(6)	3955.85	0.94	-31	0.92	-17:	0.88	-11	0.94	-3
HeI(5)	3964.73		-31	0.73	-15	0.70	-12		-3
CaII(1)	3968.47		-30		-17		-13		-14
			-20:						6:
He ϵ	3970.07	0.35	-32	0.51	-20	0.52	-9	0.39	-4
OII(6)	3973.26				-16:		-14		
OII(6)	3982.72	0.95	-32			0.96	-11		
SII(45)	3990.91	0.95	-30:	0.98					
SII(29)	3993.50	0.94	-31:					0.98	
NII(12)	3995.00	0.80	-31	0.79	-17	0.74	-11	0.86	-5
SII(59)	3998.76	0.93	-31						
SII(45)	4003.87	0.97	-30						
FeIII(45)	4005.02	0.94	-31	0.96	-12:	0.96	-11	0.96	
HeI(55)	4009.27	0.72	-25	0.77	-18	0.72	-12	0.76	-6
FeIII(45)	4022.35	0.95	-31:	0.98	-19:				
HeI(54)	4023.97					0.97	-12:	0.94	

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
HeI(18)	4026.19	0.42	-29						
	4026.23			0.60	-19	0.60	-11	0.56	-4
SII(45)	4028.75		-31						
SII(59)	4032.78	0.93	-31					0.98	
NII(39)	4035.08	0.95	-29	0.95		0.94	-9:	0.97	
FeIII(45)	4039.12					0.97	-9:		
NII(39)	4041.31	0.92	-32	0.94	-15	0.90	-12:	0.95	-3:
NII(39)	4043.53	0.94	-31	0.96	-12:	0.93	-12:	0.97	-3:
OII(10)	4069.64	0.92	-32						-4
OII(10)	4069.90	0.91	-32	0.88		0.93			-5:
OII(10)	4072.16	0.89	-32	0.89	-14	0.93	-10	0.94	-5
NII(38)	4073.04			0.96		0.97	-12:		
CII(36)	4074.52	0.92	-31:	0.97					
CII(36)	4074.85	0.94	-32						
CII(36)	4075.40	0.96	-29						
CII(36)	4075.85	0.84	-31	0.87	-13:	0.93	-11:	0.93	-6
OII(10)	4075.87								
CII(36)	4076.14	0.96	-31:						
OII(10)	4078.86	0.95	-31:	0.98	-12:	0.97	-12:	0.98	
OII(49)	4083.91	0.98	-31:						
OII(10)	4085.12	0.96	-29:	0.96		0.98	-12:		
OII(48)	4089.30	0.94	-30:	0.93		0.97			
H δ	4101.74	0.38	-31	0.51	-20	0.53	-11	0.39	-4
OII(20)	4105.00						-12:		
OII(20)	4110.50			0.96	-15:				
OII(21)	4112.03		-30:	0.95	-12:				
OII(20)	4119.22	0.93	-31	0.93	-15:	0.94	-12:	0.95	-3:
OII(20)	4120.28	0.95	-29						
HeI(16)	4120.82	0.61	-30						
	4120.84			0.77	-18	0.78	-11	0.76	-4
FeIII(118)	4122.98			0.97				0.96	-4:
SiII(3)	4128.07	0.74	-31	0.91	-18	0.87	-13	0.77	-4
SiII(3)	4130.89	0.72	-30	0.90	-14	0.87	-13	0.76	-5
OII(19)	4132.81	0.97	-30	0.96				0.98	
FeIII(118)	4137.76	0.96	-30:	0.97	-14:	0.97		0.99:	
FeIII(118)	4139.35	0.96	-30:					0.99:	
SII(44)	4142.26		-29:					0.97	-5:
HeI(53)	4143.76	0.63	-28	0.74	-16	0.71	-11	0.72	-4
SII(44)	4145.07		-31					0.95	-6:
SII(64)	4146.91	0.94	-31						
AlIII(5)	4149.92	0.95	-29:	0.99:				0.97	
AlIII(5)	4150.17	0.96	-29:						
SII(44)	4153.06	0.80	-30	0.93		0.93		0.91	-6
OII(19)	4153.30	0.95	-32:						

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
OII(19)	4156.54	0.97	-30					0.98:	
SII(64)	4162.31	0.97	-29:						
SII(44)	4162.67	0.83	-30	0.97	-15:	0.95	-11:	0.90	-4
FeIII(118)	4164.73	0.93	-30:	0.97		0.96	-10:	0.98	
SII(64)	4165.10	0.97	-30						
FeIII(118)	4166.84	0.97	-32:						
SII(44)	4168.37	0.93	-30						
HeI(52)	4168.97	0.82	-27	0.91	-12	0.91	-12	0.91	-2
NII(43)	4171.61	0.98		0.99:		0.98:		0.98	
SII(65)	4174.00	0.92	-30						
SII(65)	4174.27	0.89	-30	0.98:				0.94	-5:
NII(42)	4176.16	0.97	-29:	0.96	-18:	0.95		0.97	-7:
NII(50)	4179.67							0.98	
OII(36)	4185.46	0.95	-31	0.96	-17:	0.97	-11:		
SII	4185.92	0.98	-30:						
SII(36)	4189.68	0.92	-29:					0.97	
OII(36)	4189.79			0.94	-15:	0.97	-12:		
NII	4199.98					0.97	-10:		
SII(44)	4217.18	0.95	-29:					0.97	-4:
PIII(3)	4222.20	0.93	-29	0.96		0.97	-12:		
FeIII	4222.27							0.98:	
CaI(2)	4226.73			0.94	-16	0.94	-15		
NII(33)	4227.74	0.97	-31	0.96	-15	0.95	-13	0.97	-6:
SII(67)	4230.95	0.96	-30						
CH+	4232.55			0.93	-15	0.83	-13		
FeII(27)	4233.17	0.94	-31	0.98	-15:	0.98		0.94	-5:
NII(48)	4236.98:	0.96	-30:	0.94		0.94	-11:	0.96	
NII(48)	4241.78	0.94	-30:	0.93	-17	0.92	-13	0.96	-6:
PIII(3)	4246.72	0.97	-29:						
SIII(4)	4253.47	0.93		0.89					
OII(101)	4253.74	0.97				0.93		0.97	
OII(101)	4253.98								
SII(66)	4257.38	0.96	-30:						
SII(67)	4259.15	0.96	-30:						
СII(6)	4267.14	0.62	-30	0.77	-13	0.78	-11	0.75	-3
SII(49)	4267.76	0.90	-30						
SII(49)	4269.72	0.94	-30	0.98				0.97	-3:
FeIII(121)	4273.40	0.95	-31:						
OII(67)	4275.52	0.97	-29	0.96					
ArII(32)	4277.53	0.97:	-31:	0.98:					
SII(49)	4278.50	0.95	-30:						
SII(49)	4282.60	0.95	-30						
ArII(7)	4282.90	0.98		0.97					
SIII(4)	4284.89	0.96		0.95		0.96			

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SII(49)	4294.40	0.87	-30	0.96		0.97		0.93	-5
OII(54)	4294.82	0.98							
FeIII(121)	4296.85	0.96	-29			0.97	-12:		
CH	4300.32			0.92	-16	0.90	-15		
FeII(27)	4303.17							0.97	-5
OII(54)	4303.82	0.98		0.97	-16:				
FeIII(121)	4304.78	0.98	-31:	0.98					
FeIII(121)	4310.36	0.97	-30:	0.98					
OII(78)	4313.43	0.90	-31:	0.98					
OII(2)	4317.14	0.93	-30	0.89	-15	0.94	-11	0.97	-3:
SII(49)	4318.65	0.96	-31					0.98	
OII(2)	4319.63	0.93	-30	0.88	-15	0.93	-12	0.97	-6
OII(2)	4325.77		-30	0.96	-16			0.98:	
H γ	4340.47	0.32	-32	0.52	-21	0.57	-11	0.41	-4
OII(2)	4345.56				-14	0.92	-11:		
OII(16)	4347.43		-31:	0.95	-12:	0.95			
ArII(7)	4348.06		-30					0.96	-4
OII(2)	4349.43		-31	0.84	-14	0.89	-12	0.95	-3
OII(16)	4351.27		-32	0.93	-15:	0.95	-10:		
FeII(27)	4351.76		-31	0.98				0.95	-4
FeIII(4)	4352.57		-31:			0.96	-9		
SIII(7)	4354.52		-29:	0.97	-13				
SIII(4)	4361.48	0.98		0.96	-15	0.97	-10	0.98	
OII(2)	4366.90	0.93	-31	0.89	-15	0.93	-10	0.97	-4
CII(45)	4368.26	0.97	-30					0.98	-4
OII(26)	4369.28	0.98:		0.98	-13	0.98:		0.99	-3:
ArII(39)	4370.75	0.98	-30						
ArII(1)	4371.33	0.96	-31					0.97	
FeIII(122)	4372.31					0.96	-8:		
CII(45)	4372.35	0.97	-30:	0.95				0.98	
CII(45)	4372.49								
FeIII(122)	4372.81								
CII(45)	4374.27	0.94	-29	0.98				0.98	
ArII(7)	4379.67	0.97	-30:					0.98	-4:
FeIII(4)	4382.51	0.95	-31			0.97:	-12:	0.97	-5
MgII(10)	4384.64	0.92	-30					0.97	
HeI(51)	4387.93	0.54	-28	0.68	-16	0.66	-11	0.68	-3
MgII(10)	4390.56	0.86	-30					0.95	-5
FeIII(4)	4395.76	0.93	-31			0.94	-10:	0.95	-4
OII(26)	4395.95			0.94	-16				
ArII(1)	4400.10	0.98	-30:						
ArII(1)	4400.99	0.97	-31						
SII(43)	4402.84	0.99:	-29:						
CII(40)	4409.98	0.97	-30					0.98:	
CII(39)	4411.16	0.96	-30:						

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
СII(39)	4411.51	0.95	-30:	0.98:				0.96	
ОII(5)	4414.91	0.89	-31	0.87	-15	0.89	-11	0.95	-4
ОII(5)	4416.98	0.91	-31	0.90	-15	0.91	-10	0.95	-5
FeIII(4)	4419.60	0.88	-31	0.92	-16	0.91	-8	0.92	-6
ArII(7)	4426.00	0.93	-30					0.96	
NII(56)	4427.24	0.98	-30:						
MgII(9)	4427.99	0.96	-30					0.98	-4:
ArII(7)	4430.19	0.97	-31:					0.99:	
FeIII(4)	4431.02	0.92	-32	0.96	-16:	0.93	-10:	0.96	-3
SII(43)	4432.37	0.96	-30					0.99:	
NII(55)	4432.74	0.96:	-31	0.97:	-14:	0.95		0.97	-6
NII(55)	4433.48	0.99:	-30:						
MgII(9)	4433.99	0.94	-31			0.97:		0.97:	
HeI(50)	4437.55	0.76	-29	0.89	-17	0.89	-12	0.89	-3
NII(15)	4447.03	0.92	-31	0.91	-14	0.89	-10	0.95	-3
ОII(5)	4452.38	0.97	-30:	0.95	-13	0.98	-10	0.97:	
SII(43)	4456.39	0.97	-31						
SII(43)	4463.58	0.92	-31			0.98:		0.96	-3
SII	4464.43	0.93	-30					0.98	-2
[HeI]	4469.92		-28					0.93:	
HeI(14)	4471.48	0.39	-30						
	4471.52			0.58	-18	0.57	-10	0.52	-3
AlIII(8)	4479.94	0.93	-30	0.94:		0.94:		0.96:	-4:
MgII(4)	4481.22	0.51	-31	0.80	-19	0.76	-14	0.62	-4
ArII(39)	4481.81	0.97	-32:						
SII(43)	4483.43	0.94	-30					0.97	-4:
SII(43)	4486.64	0.98	-31:					0.99:	
FeII(37)	4491.40	0.98						0.98	-3:
SII(53)	4497.85	0.98	-32:						
DIB	4501.80					0.97			
NII(21)	4507.56	0.98	-31			0.97	-10:		
FeII(38)	4508.28	0.97	-31					0.97	-4:
AlIII(3)	4512.56	0.90	-30	0.96	-18:	0.96	-10:	0.96	-3:
FeII(37)	4515.33	0.99:	-32:					0.98	-2:
FeII(37)	4520.23	0.98	-31					0.98	-4
FeII(38)	4522.63	0.97	-31					0.96	-3
SII(42)	4524.72	0.97	-31						
SII(42)	4524.95	0.88	-30	0.98		0.99:		0.95	-4:
AlIII(3)	4528.94	0.98	-29:						
AlIII(3)	4529.19	0.88	-30	0.93		0.93	-12:	0.94	
NII(59)	4530.41	0.96	-30	0.95		0.95	-13:	0.98	-2:
FeII(37)								0.97	-3
ArII(15)	4545.05	0.98	-29					0.99:	
FeII(38)	4549.47	0.93	-29	0.98	-13:	0.97	-13:	0.93	-4

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SiIII(2)	4552.62	0.73	-30	0.73	-14	0.78	-10	0.84	-4
FeII(37)	4555.89	0.99	-30					0.97	-5:
CrII(44)	4558.64							0.99	-3:
SiIII(2)	4567.82	0.79	-30	0.77	-14	0.82	-9	0.87	-2
SiIII(2)	4574.76	0.86	-30	0.87	-15	0.89	-11	0.93	-5
FeII(26)	4580.06							0.98:	
FeII(38)	4583.85	0.93	-31	0.99		0.98		0.93	-5
CrII(44)	4588.20							0.97	
ArII(31)	4589.90	0.96	-31						
CrII(44)	4589.94							0.99:	
OII(15)	4590.97	0.94	-31	0.91	-15	0.95	-9:	0.98	-3
OII(15)	4596.17	0.96	-30	0.93	-15	0.96	-11:	0.97	-3
NII(5)	4601.48	0.94	-31	0.89	-15	0.87	-11	0.94	-2
OII(93)	4602.11	0.98	-32:						
NII(5)	4607.16	0.94	-31	0.91	-17	0.87	-11	0.94	-3
ArII(31)	4609.57	0.97	-32:	0.97		0.98		0.98	
NII(5)	4613.87	0.95	-31	0.94		0.91	-11	0.96	-6:
NII(5)	4621.39	0.95	-30	0.95	-15	0.90	-12	0.96	-5
FeII(37)	4629.33	0.98	-32:					0.98	-4:
NII(5)	4630.54	0.87	-31	0.83	-15	0.78	-10	0.90	-3
OII(1)	4638.85	0.92	-31	0.91	-14	0.94	-11	0.96	-3
OII(1)	4641.81	0.90	-31	0.85	-13	0.89	-11	0.95	-3
NII(5)	4643.09	0.92	-31	0.88:	-15:	0.86	-12:	0.93	-4
SII(36)	4648.17	0.98	-31:						
OII(1)	4649.14	0.87	-31	0.81	-13	0.88	-11	0.93	-4
OII(1)	4650.84	0.94	-31	0.89	-14	0.95	-12	0.97	-4
NII(11)	4654.53	0.99	-31:	0.97		0.99		0.99	
SII(9)	4656.78	0.94	-31					0.97	
ArII(15)	4657.90	0.97	-31					0.99	-3:
OII(1)	4661.64	0.91	-30	0.90	-13	0.94	-12	0.97	
AlII(2)	4663.06	0.93	-32					0.96	-3
NII(11)	4667.21					0.98	-11:		
SII(36)	4668.58	0.97	-31						
OII(1)	4673.75	0.98	-32:	0.97	-14:	0.98			
OII(1)	4676.23	0.93	-31	0.92	-14	0.95	-10:	0.98	-4:
NII(62)	4678.14	0.98	-30:	0.97		0.98	-10:		
NII(61)	4694.64			0.98	-17:	0.98	-9:	0.99:	
OII(1)	4696.36	0.98:		0.98					
OII(25.40)	4699.21	0.96	-32:	0.96	-18:	0.98		0.99	
OII(58)	4701.23			0.99	-17:				
OII(40)	4703.18			0.98	-14:				

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
OII(25)	4705.36	0.96	-30	0.94	-13	0.97		0.98	-1
OII(24)	4710.04	0.98	-32:	0.97	-13				
HeI(12)	4713.15 4713.18	0.59	-30	0.75	-18	0.77	-11	0.74	-3
SII(9)	4716.27	0.87	-31	0.97		0.96		0.94	-4:
SIII	4716.65	0.97	-30						
DIB	4726.27			0.96		0.97			
ArII(14)	4726.87	0.97	-29					0.98	-2:
ArII(6)	4735.91	0.96	-30					0.98	
CH(1)	4737.97	0.98	-30						
MgII(18)	4739.65							0.98	
CH(1)	4744.77	0.98	-32						
SII(35)	4755.09	0.97	-32					0.99	-4:
DIB	4762.67					0.98			
ArII(15)	4764.87	0.97	-29:						
SII(8)	4779.09	0.98	-29:						
NII(20)	4779.72	0.99	-30	0.97		0.96	-12:	0.98	-4:
NII(20)	4788.13	0.98	-30	0.97	-16:	0.95	-10	0.98	
SII(46)	4792.01	0.96	-31					0.98	-3
NII(20)	4793.65			0.98		0.98	-10:		
NII(20)	4803.29	0.96	-31	0.95	-19:	0.94		0.97	
ArII(6)	4806.02	0.94	-30	0.98		0.97	-10	0.96	-4
SiIII(9)	4813.33	0.97	-30	0.96	-14	0.96	-10:	0.98	
SII(9)	4815.55	0.80	-30	0.98		0.95	-11	0.90	-4
SII(15)	4819.58		-29:					0.97	-4
SiIII(9)	4819.72	0.95	-30:	0.94	-15	0.95	-10:		
SII(52)	4824.07	0.95	-32:					0.98	-3
CrII(30)	4824.14								-6:
SiIII(9)	4828.97	0.96	-30	0.95	-14	0.95	-11:	0.98	-2:
ArII(6)	4847.81							0.98	-2:
MgII(25)	4851.08							0.99	
H β	4861.33	0.31	-32	0.57	-23	0.67	-25	0.45	-5
ArII(14)	4879.86		-30	0.98		0.96	-12:	0.98	
SII(15)	4885.65	0.94	-31:	0.99	-17:	0.98		0.96	-5:
NII(1)	4895.11							0.99	-5:
SII(46)	4900.51	0.98	-30						
SII	4902.44	0.97	-31					0.99:	
OII(28)	4906.88	0.98	-31	0.97		0.98		0.98	-4:
SII(15)	4917.21	0.85	-32	0.97	-17:	0.96	-11	0.94	-5
HeI(48)	4921.93	0.47	-31	0.63	-16	0.62	-9	0.63	-3
FeII(42)	4923.92		-30	0.95		0.92		0.86	-2
SII(7)	4924.12		-32						

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SII(7)	4925.35	0.85	-31					0.93	-5:
ArII(6)	4933.21			0.98	-14:				
OII(33)	4941.12	0.98	-31	0.97	-17:	0.99	-8:		
SII(7)	4942.47	0.96	-30	0.96					
OII(33)	4943.06	0.98	-32:			0.97		0.98	
OII(33)	4955.78	0.98	-32:	0.99					
DIB	4963.90				-15:	0.97	-18:		
ArII(14)	4965.08	0.97	-29:						
NII(24)	4987.37			0.99		0.98	-11:	0.99	
NII(64)	4991.24	0.98	-29:						
SII(7)	4991.97	0.89	-31	0.99	-13:	0.98	-11:	0.95	-3
SII	4993.50	0.96	-31					0.98	
NII(24.64)	4994.36	0.98	-32:	0.96	-12	0.95	-12:	0.97	-3
NII(19)	5001.14	0.95	-29:						
NII(19)	5001.48	0.94	-30	0.86	-15:	0.84		0.92	
NII(4)	5002.70	0.98	-30			0.94		0.97	
NII(19.6)	5005.15	0.92	-30	0.89	-15	0.86	-11	0.94	-3
SII(57)	5006.73	0.96	-32:					0.98	
NII(24)	5007.33	0.96	-31	0.95	-17	0.93	-12	0.96	-4
SII(7)	5009.56	0.87	-31					0.93	-5:
NII(4)	5010.62	0.96	-31	0.92	-17	0.90	-10	0.95	-4:
SII(15)	5014.07	0.78	-32			0.95		0.90	-5
HeI(4)	5015.68	0.54	-31	0.74	-17	0.74	-8	0.70	-4
FeII(42)	5018.44	0.83	-31	0.98		0.95	-10:	0.88	-5
NII(19)	5025.66	0.98	-30:	0.98	-14:	0.97	-11:	0.99	
SII(1)	5027.22	0.91	-32	0.99	-16	0.98	-9:	0.95	-5
SII(7)	5032.45	0.78	-32	0.95		0.92		0.89	-4
FeII	5035.71							0.98	-5:
NII(19)	5040.72			0.97	-13:				
SiII(5)	5041.03	0.83	-31			0.95		0.88	-4
NII(4)	5045.10	0.95	-31	0.90	-17	0.86	-11	0.95	-2
SII(15)	5047.29	0.94	-31:						
HeI(47)	5047.74	0.73	-31	0.84	-16	0.84	-12	0.84	-5
SiII(5)	5055.96	0.82	-29	0.97		0.95		0.83	
SiII(5)	5056.31	0.95	-30						
FeIII(5)	5063.46	0.97	-31:	0.97	-18:	0.97	-10	0.99	
FeIII(5)	5073.90	0.94	-32:	0.97		0.94		0.97	-5:
FeIII(5)	5086.72	0.94	-32:	0.96	-15:	0.96	-9:	0.98	-3:
FeII	5093.56							0.99	-2:
FeII	5097.27							0.99	-5:
FeII(35)	5100.74							0.98	-2:
SII(7)	5103.34	0.92	-31	0.98				0.96	-5
CII(12)	5121.82	0.95	-29:					0.99	-2:

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
СII	5225.20	0.98	-30:						
FeIII(5)	5127.35	0.90	-30	0.95		0.92		0.94	
СII(16)	5133.12	0.92	-31	0.96	-15:	0.97	-9	0.97	-4:
СII(16)	5139.17	0.97	-31:	0.99					
SII(1)	5142.34	0.96	-31:					0.97	-3
СII(16)	5143.49	0.93	-31	0.99				0.98	-2:
СII(16)	5145.16	0.90	-31	0.96	-16	0.97	-11	0.96	-3
СII(16)	5151.09	0.93	-31	0.97	-16	0.98		0.98	-4:
FeIII(5)	5156.12	0.90	-31	0.93	-15:	0.91	-7:	0.94	-3
OII(32)	5160.02	0.99		0.97	-10:	0.98	-12:	0.99	
FeII(42)	5169.03	0.84	-31	0.97	-16	0.95	-11	0.86	-5
FeIII(5)	5193.89	0.97	-32:	0.98		0.97	-11:	0.97	-2:
FeII(49)	5197.58	0.98	-32					0.98	-5:
SII(39)	5201.02	0.92	-31	0.99		0.99	-12:	0.96	-3
SiII	5202.41	0.96	-30					0.99	-3:
SII(39)	5212.62	0.90	-30	0.98	-17:	0.98	-11:	0.94	-5
FeII	5216.85							0.99	-4
FeII	5227.49	0.98						0.97	-4:
FeII(49)	5234.62	0.98	-31:			0.98		0.98	
FeIII(113)	5235.66	0.99	-32:	0.98	-15:				
FeIII(113)	5243.31	0.95	-30:	0.97	-18:	0.97	-13:	0.97	-4:
FeII	5247.95							0.99	-2:
FeII	5260.26	0.97	-29:					0.97	-4:
FeII	5264.18							0.97	-2
MgII(17)	5264.22								
FeII(48)	5264.80	0.95	-31:						
FeIII(15)	5270.59					0.97			
FeIII(113)	5272.00					0.97	-9:		
FeII(185)	5272.40							0.99	
FeII(49)	5276.00	0.98	-31					0.97	-3:
FeIII(113)	5276.47	0.99	-31:	0.99		0.98	-10:		
FeIII(113)	5282.29	0.98	-32:	0.98	-16:	0.98	-12:	0.99	
FeIII(113)	5299.90	0.98				0.99	-9:	0.99	-4:
FeIII(113)	5302.60			0.99				0.99	-4:
FeIII(113)	5306.60					0.99	-10:		
FeII(49.48)	5316.65	0.96	-30	0.99		0.97	-11:	0.95	
SII(38)	5320.73	0.88	-31			0.95	-11:	0.93	-6
OI(12)	5329.10	0.98	-29:			0.96		0.99	
OI(12)	5329.69	0.98	-32:						
OI(12)	5330.74	0.97	-29					0.99	-5
FeII	5339.59							0.98	-5
SII(38)	5345.72	0.89	-32	0.99		0.98	-12:	0.94	-6
FeII(48)	5862.86							0.98	

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
NII(23)	5383.71	0.99							
FeII	5387.07							0.99	-4
MgII(24)	5401.54	0.98	-30:					0.98	-2:
DIB	5404.50			0.98	-14:	0.98	-11:	0.99	
ClII(2)	5423.51	0.98	-32						
PII(6)	5425.91							0.99	-3
SII(6)	5428.67	0.85	-31	0.98	-15:	0.97	-10	0.93	-6
FeII	5429.99							0.99	
SII(6)	5432.82	0.79	-32	0.96	-16	0.93	-12:	0.88	-5
SII(6)	5453.83	0.79	-30	0.93	-15	0.88	-10	0.84	-4
NII(29)	5462.59			0.99	-14:				
SII(6)	5473.62	0.86	-31	0.98		0.97	-11:	0.93	-5:
NII(29)	5478.10			0.99	-17:				
NII(29)	5480.06			0.98	-14:				
FeII	5482.31							0.99	
DIB	5494.10			0.98	-14	0.98	-17:		
NII(29)	5495.67	0.99	-30	0.97	-17:	0.96	-12:	0.99	
FeII	5506.20	0.98	-29:					0.98	-4
SII(6)	5509.72	0.89	-32:	0.98	-18:	0.96	-12:	0.93	-4
OI(25)	5512.70							0.99	
SII(11)	5526.25	0.97	-32					0.98	-3
CII(10)	5535.35	0.98	-30	0.99	-15:	0.98	-12:		
SII(6)	5556.01	0.96	-32:					0.98	-4
SII(6)	5564.98	0.92	-32:	0.98	-17	0.97	-10	0.95	-5
FeIII(68)	5573.47	0.99	-30	0.99		0.99	-11:		
SII(11)	5578.89	0.96	-32	0.99		0.99	-11:	0.97	-7:
SII(11)	5606.15	0.85	-31	0.98	-16:	0.96	-12:	0.91	-6
SII(11)	5616.64	0.95	-32					0.98	-4
SII(14)	5639.97	0.81	-29	0.93		0.90	-11:	0.83	
SII(11)	5640.33	0.89	-30						
SII(6)	5645.67	0.98	-31					0.98	-6:
SII(14)	5647.03	0.85	-31	0.96	-17:	0.94	-12:	0.89	-7:
CII(15)	5648.07	0.96	-29			0.98			
SII(11)	5659.99	0.90	-32	0.98		0.97	-12:	0.94	-5
CII(15)	5662.47	0.95	-31	0.99		0.99		0.99	
SII(11)	5664.78	0.92	-32			0.98	-11:	0.96	-6
NII(3)	5666.63	0.95	-31	0.88	-16	0.83	-10	0.94	-4
SiII	5669.56	0.98	-31					0.99	-2:
NII(3)	5676.02	0.97	-31	0.90	-15	0.87	-9	0.97	-6
NII(3)	5679.56	0.91	-31	0.81	-15	0.75	-10	0.91	-4
NII(3)	5686.21	0.97	-31	0.94	-17	0.90	-11	0.98	-3
AlIII(2)	5696.60	0.88	-31	0.85	-16	0.83	-11	0.90	-4

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
DIB	5705.20			0.98	-21:	0.97	-17:		
NII(3)	5710.77	0.97	-32	0.92	-15	0.89	-11	0.96	-2:
AlIII(2)	5722.73	0.93	-31	0.90	-17:	0.90	-12	0.94	-4
NII(3)	5730.65					0.98		0.99	
SiIII(4)	5739.73	0.90	-30	0.82	-13	0.86	-9:	0.93	-4
NII(9)	5747.30			0.98	-14:	0.96	-8:	0.99	
DIB	5766.16					0.99	-18:		
DIB	5772.60					0.99	-17:		
DIB	5780.37			0.89	-13	0.87	-14:	0.95	-15
DIB	5796.96			0.92	-13	0.90	-13	0.97	-14
SiII(8)	5800.47							0.99	
SiII(8)	5806.74							0.98	
SII(14)	5819.27	0.93	-31					0.97	-6
FeIII(114)	5833.93	0.97	-32	0.95	-14	0.95	-12	0.97	-3:
DIB	5849.80			0.96	-14	0.97	-16	0.98	-18
NeI(6)	5852.49	0.93	-31					0.97	-7
SiII(8)	5868.40							0.97	-6
HeI(11)	5875.62	0.39	-30						
	5875.72			0.63	-21	0.65	-9	0.50	-4
NaI(1)	5889.95	0.41	-18		-35:	0.91	-34:	0.05	-14
				0.09	-17	0.01	-11		
NaI(1)	5895.92	0.64	-18	0.10	-17	0.02	-12	0.10	-14
SiII(4)	5957.56	0.92	-32					0.92	-6:
SiII(4)	5978.93	0.90	-30					0.93	-6:
FeIII(117)	5999.54	0.99	-29:					0.98	
PII(5)	6024.18	0.98	-32:					0.99	-4:
NeI(3)	6030.00	0.96	-31					0.99	
PII(5)	6043.12	0.98	-32:					0.98	-5:
OI(22)	6046.44							0.99	-4:
NeI(3)	6074.34	0.92	-31	0.99		0.99	-11:	0.97	-3
DIB	6089.78					0.98	-14:	0.99	-14:
CII(24)	6095.29	0.98	-31:						
NeI(3)	6096.16	0.98	-30			0.98	-9:	0.96	-5
CII(24)	6098.51	0.97	-29					0.99	
SII(26)	6102.28	0.99	-29:						
DIB	6113.20					0.98	-16:	0.99	
NeI(1)	6143.06	0.84	-30	0.97		0.96	-13:	0.93	-5
FeII(74)	6147.74							0.99	
FeII(74)	6149.25							0.99	
CII	6151.43	0.98		0.98	-17:	0.99		0.99	
OI(10)	6155.98	0.96	-31			0.99			
OI(10)	6156.77	0.94	-30			0.99		0.97	

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
OI(10)	6158.18	0.93	-30					0.96	-6:
NeI(5)	6163.59	0.93	-30	0.99		0.98	-11:	0.98	-4
DIB	6195.96			0.94	-15	0.92	-15	0.97	-14
DIB	6203.08			0.96	-15	0.95	-15	0.98	-17
NeI(1)	6217.28	0.97	-30					0.99:	
FeII(74)	6238.39							0.99	
FeII(74)	6747.55	0.99						0.98	-7:
NeI(5)	6266.50	0.88	-31			0.97	-11:	0.96	-5
DIB	6269.75			0.97	-15:	0.94	-17:	0.98	-19
DIB	6283.85			0.90	-14:	0.86		0.95	-15:
SII(26)	6286.96	0.94	-30						
SII(19)	6305.48	0.94	-29			0.97	-10		
SII(26)	6312.66	0.96	-29			0.98	-12	0.97	-5
FeII	6317.99	0.98	-32:						
ArII	6324.42	0.97	-29						
NeI(1)	6334.43	0.87	-31	0.98	-14	0.97		0.95	-3
SiII(2)	6347.10	0.64	-31	0.95	-20	0.87	-11:	0.73	-5
DIB	6353.34					0.98	-13:		
SiII(2)	6371.36	0.72	-30	0.96	-17	0.90	-11	0.78	-6
DIB	6375.95			0.98	-14	0.97	-16:		
DIB	6379.29			0.91	-16	0.90	-15	0.96	-16
NeI(3)	6382.99	0.89	-30	0.98		0.98	-11:	0.96	-6
SII(19)	6384.89	0.98	-29					0.99	-6
SII(19)	6397.36	0.97	-28	0.98		0.98		0.97	-3:
SII(19)	6397.99	0.98	-28					0.99	
NeI(1)	6402.25	0.76	-30	0.95	-17	0.92	-11	0.87	-6
SII(19)	6413.71	0.98	-29					0.98	
DIB	6425.70			0.98	-18:				
OI(9)	6453.60							0.98	
OI(9)	6454.45								
OI(9)	6455.98		-29:						
FeII(74)	6456.38							0.97	
NII(8)	6482.05	0.97		0.92	-15:	0.87	-9:	0.96	-4:
NeI(3)	6506.53	0.82	-30	0.98	-13:	0.97	-10	0.93	-5
MgII(23)	6545.97	0.93	-28:					0.97	-6:
H α	6562.81	0.32	-31	0.77	-34	0.87	-98	0.59	-4
				1.03		1.10	48		
CII(2)	6578.05	0.65	-31	0.78	-17	0.73	-8	0.74	-3
CII(2)	6582.88	0.72	-30	0.80	-19	0.78	-10	0.79	-3
NeI(6)	6598.95	0.91	-30			0.98		0.96	-5:
NII(31)	6610.57					0.96	-9		
DIB	6613.56			0.90	-16	0.87	-17	0.96	-16

Продолжение на следующей странице

Таблица 21 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах ι Her, 9 Cep, 55 Cyg, 67 Oph (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	ι Her		9 Cep		55 Cyg		67 Oph	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SiII	6660.52							0.96	-6:
DIB	6660.64			0.96	-13:	0.96	-14		-13:
SiII	6671.88	0.95	-32:	0.98		0.98	-8:	0.95	-4
HeI(46)	6678.15	0.43	-30	0.63	-18:	0.62	-8	0.56	-3
DIB	6699.26			0.98	-15:	0.97	-13	0.97	
OII(4)	6721.35			0.97	-14:				
CII(14)	6779.93	0.96	-30	0.98		0.98		0.98	
CII(14)	6780.61	0.98	-31:						
CII(14)	6783.90	0.95	-30:	0.97	-15:	0.97	-12:	0.98	
CII(14)	6787.22	0.98	-30:						
CII(14)	6791.47	0.97	-29:	0.99				0.99	
NeI(1)	7032.41							0.95	-5:
HeI(10)	7065.19	0.50	-29:						
	7065.32			0.75	-20:	0.76	-8:	0.70	-4
CII(20)	7119.90	0.98	-29:						
HeI(45)	7281.35	0.64	-29	0.78	-17:	0.75	-9:		
NI(3)	7442.39							0.97	-5
NI(3)	7468.31					0.97	-12:	0.98	-5:
FeII	7495.63							1.01	-3:
FeII	7506.53							1.02	
FeII	7513.17					1.03	-8	1.03	-5
KI(1)	7664.87		-18:	0.24	-12	0.44	-13		
KI(1)	7698.97	0.96	-19	0.49	-13	0.65	-13	0.89	-14
OI(1)	7771.94	0.60	-30	0.89	-24	0.84	-6:	0.74	-5
OI(1)	7774.17	0.62	-31	0.89		0.84		0.76	
OI(1)	7775.39	0.68	-31					0.79	
HeI(69)	7816.14					0.96	-9:	0.98	

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
ScII(3)	3572.52	0.95:						0.97:	
ScII(3)	3576.34								
NiII(4)	3576.76	0.81		0.93	15:	0.88	-5:	0.84	-25:
ScII(3)	3580.93	0.90:						0.95	-29:
CrII(13)	3585.32	0.75:						0.78	-27:
CrII(13)	3585.51	0.77						0.80:	-28:
HeI(31)	3587.29			0.92:	16:				

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
ScII(3)	3589.63								
VII(4)	3589.76	0.92						0.90	-29:
ScII(3)	3590.47								
CrII(13)	3603.62								
CrII(13)	3603.82	0.83						0.86	
FeI(23)	3608.87	0.93:						0.89	-26:
CrII(13)	3613.22	0.88						0.92	
FeII(112)	3614.88	0.93						0.87	-23:
FeI(23)	3618.77	0.93							
FeII(144)	3621.27	0.83				0.96:		0.86	-23:
TiII(52)	3624.82	0.90						0.90	
FeII(144)	3624.89								
CrII(12)	3631.48	0.82				0.92:			
CrII(12)	3631.68							0.80	-25
FeII(112)	3632.29							0.93:	
HeI(28)	3634.25			0.92	21:				
TiII(52)	3641.33							0.90	-25:
FeI(23)	3647.84	0.93:							
ScII(2)	3651.80	0.91:							
TiII(75)	3659.76	0.93:						0.94:	
TiII(75)	3662.23	0.93:						0.94:	
H28	3664.68	0.93:						0.90:	
H27	3666.10	0.93:						0.88:	
H26	3667.68	0.91:				0.90:		0.87	-22:
H25	3669.46	0.87:				0.89:		0.81	-22:
H24	3671.48	0.85:				0.88:	-8:	0.75	-23
H23	3673.76	0.81:		0.81	14:	0.85:		0.70	-25:
H22	3676.36	0.77:		0.79	17:	0.78	-5:	0.67	-26
CrII(12)	3677.85:	0.73				0.82	-11:	0.73	-25:
H21	3679.35	0.69		0.73	16	0.76	-7	0.64	-23
H20	3682.81	0.64	3:	0.72	16	0.75	-10:	0.58	-24
TiII(14)	3685.19	0.60	2			0.86	-6:	0.64	-25
H19	3686.83	0.58	2:	0.68	17:	0.70	-6:	0.54	-22
H18	3691.56	0.51	3:	0.63	15	0.66:	-5:	0.50	-23
H17	3697.15	0.45	4:	0.57	14:	0.64	-6:	0.48	-23
H16	3703.85	0.39	3	0.56	15:	0.56	-5:	0.44	-24
HeI(25)	3705.22								
CaII(3)	3706.02					0.85:	-5	0.70:	-27
H15	3711.97	0.37	4	0.53	16	0.56	-6	0.43	-25
CrII(12)	3712.92								
CrII(20)	3715.17			0.94:		0.93:	-5:	0.78	-24:
VII(15)	3715.47							0.83:	
H14	3721.94	0.31	3	0.52	16	0.54	-5	0.41	-25
FeII(130)	3725.30								-27:

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeI(385)	3726.92	0.84				0.92	-6:	0.80	
FeI(387)	3727.09								
VII(21)	3727.35								
CrII(117)	3727.37	0.82				0.95	-9:		
H13	3734.37	0.26	2	0.50	15	0.52	-7	0.42	-25
CaII(3)	3736.89			0.85:	16:	0.75	-11	0.65	-27
FeI(5)	3737.13								
CrII(20)	3738.38					0.91	-11:	0.87	
FeII(15)	3741.56								
TiII(72)	3741.64	0.60	3	0.97		0.90	-8	0.77	
FeI(21)	3743.36	0.89	2					0.95	-29
FeI(5)	3745.55							0.88	-26
FeII(14)	3746.56							0.86	-24
FeII(154)	3748.49								-24:
H12	3750.15	0.29	2	0.47	15	0.51	-4	0.39	-23
CrII(20)	3754.56	0.78	3					0.87	-23:
FeII(154)	3755.57	0.83	2					0.90:	-27:
TiII(72)	3757.68	0.76	2					0.84	-27
FeI(21)	3758.23	0.81							
TiII(13)	3759.29	0.47	3	0.85		0.77	-6	0.54	-24
FeII(154)	3759.45							0.50:	-25:
TiII(13)	3761.32	0.52	2	0.92		0.82	-9	0.62	-26
TiII(107)	3761.87	0.82							
FeII(192)	3762.88	0.79	2			0.89		0.84	
FeII(29)	3764.09	0.72	3:			0.89		0.81	
FeI(608)	3765.54	0.84	2					0.90	-27
FeI(21)	3767.19	0.90:	1:					0.94:	-25:
H11	3770.63	0.31	2	0.48	16:	0.50	-5:	0.38	-27
TiII(72)	3776.05	0.95	1					0.94	-25:
VII(21)	3778.36	0.94						0.95	
FeII(23)	3779.58	0.89	2					0.94	-25:
FeII(130)	3781.51	0.89	2					0.95	-28:
FeII(14)	3783.34	0.64	2	0.96	14:	0.89	-8	0.79	-24
HeI(64)	3784.86			0.96	19:				
TiII(12)	3786.33	0.93	2						
FeI(21)	3787.88	0.95	3:						
H10	3797.90	0.23	2	0.46	15	0.50	-6	0.37	-27
HeI(63)	3805.74			0.94:					
SiIII(5)	3806.54			0.92:					
TiII(12)	3813.39	0.93							-25:
FeII(153)	3814.12	0.71	2	0.97		0.92	-8:	0.81	-24
TiII(12)	3814.58	0.88	1						
VII(166)	3815.33							0.94	-26:
FeI(45)	3815.84	0.81	2					0.92	-28:
HeI(22)	3819.64	0.82	3	0.72	16	0.86	-7:	0.87	-28:
FeI(20)	3820.42	0.76	2					0.87	-28:

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII(14)	3821.93	0.84	2					0.91	-26
FeI(4)	3824.44	0.91							
FeII(29)	3824.92	0.69	2	0.97		0.95	-9:	0.85	-26
FeI(20)	3825.88	0.77	2					0.91	-31
FeII(153)	3827.08	0.79	3	0.97	13:			0.88	-27:
FeI(45)	3827.82	0.85	2					0.93	
MgI(3)	3829.35	0.78	2					0.92	
MgI(3)	3832.30		2					0.86	-31:
H9	3835.38	0.23	3	0.47	17	0.41	-5	0.35	-26
MgI(3)	3838.29						-11:	0.80:	-30
FeI(20)	3840.44		2					0.94	-24:
FeI(45)	3841.05	0.95	2					0.94	-26:
FeII(127)	3845.18	0.75	3			0.93	-10:	0.87	-29:
NII(30)	3847.41			0.99					
MgII(5)	3848.21	0.81				0.94	-5:	0.92	-29
NiII(11)	3849.58	0.72				0.89	-8:	0.82	-30:
FeI(20)	3849.97	0.92							
MgII(5)	3850.39	0.87				0.94		0.92	
SiII(1)	3853.66	0.56	3	0.82	12	0.71	-8	0.72	-28
SiII(1)	3856.02	0.36	3	0.73	13	0.58	-6	0.54	-27
FeI(4)	3859.91	0.82	3					0.93:	-28:
SII(50)	3860.61			0.98					
SiII(1)	3862.60	0.40	2	0.73	13	0.59	-7	0.55	-26
FeII(127)	3863.97	0.89	1			0.95:	-9:		-27
CrII(167)	3865.59	0.79	2			0.96:		0.90	-30:
VII(11)	3866.72	0.95	1:					0.96	
HeI(20)	3867.50	0.92	1	0.88	15	0.94	-6:	0.96	-26:
HeI(60)	3871.79	0.98		0.89	18:	0.94	-9:	0.96	
FeII(29)	3872.76	0.83	2			0.94	-10:	0.93	-26:
CN	3874.00							0.90	-16:
CN	3874.61							0.82	-16
FeI(20)	3878.02	0.95						0.95:	
FeI(4)	3878.57	0.92	2						
VII(33)	3878.71							0.94	-24:
OII(12)	3882.20			0.96:					
HeI(2)	3888.65								
H8	3889.05	0.17	2	0.42	14:	0.44	-6:	0.33	-28
FeI(4)	3895.66	0.95:						0.96	
VII(33)	3899.13	0.96						0.96	-30:
TiII(34)	3900.54	0.58	2	0.96	13:	0.91	-8	0.77	-26
FeI(45)	3902.95	0.96	2:						
VII(11)	3903.25	0.96						0.96	
CrII(167)	3905.64	0.78							
FeII(173)	3906.02	0.71	2:	0.96		0.89	-10	0.82	-29:
TiII(34)	3913.46	0.63	2	0.99		0.90	-8:	0.77	-27

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII(3)	3914.51	0.82	2			0.94	-7:	0.89	-28:
VII(10)	3916.40	0.96	2:						
FeII(191)	3918.51	0.91	3:					0.95	
CII(4)	3918.98	0.93	1:	0.90	15	0.96	-7:		
CII(20)	3920.69	0.86		0.86		0.93		0.95	
HeI(58)	3926.53	0.96		0.88	18	0.93	-7	0.97	-24:
FeI(4)	3927.92	0.96	4					0.98:	
FeII(3)	3930.30	0.80	2			0.96	-8	0.90	-26
SII(29)	3931.92								
TiII(34)	3932.01	0.93	2	0.97:		0.96	-6:	0.92:	-27:
SII(30)	3932.29								
SII(55)	3933.27								
CaII(1)	3933.66	0.12	2	0.43	12	0.09	-7	0.22	-55
								0.06	-16
HeI(57)	3935.91			0.94	17				
FeII(173)	3935.95	0.75	3			0.88	-7	0.84	-29:
FeII(3)	3838.30	0.74	1			0.93		0.85	-25
FeII(190)	3938.96	0.80	2:			0.92	-8:	0.85	-29:
AlI(1)	3944.01	0.90	1					0.97	
FeII(3)	3945.21	0.85	2			0.95	-10:	0.90	-29
OI(3)	3947.46:	0.94	3:			0.97		0.93	-25:
VII(10)	3951.96							0.97	-27:
NII(6)	3955.85			0.99					
FeII(212)	3960.90	0.91	1:	0.99				0.93	
AlI(1)	3961.52	0.84	2						
SII(45)	3963.11			0.98	18				
HeI(5)	3964.73	0.88:		0.80	16	0.92	-9:	0.89	-30:
CaII(1)	3968.47		2		16		-6		-57
									-15
He ϵ	3970.07	0.21	2	0.43	16	0.36	-6	0.32	-30
FeII(29)	3974.16		1				-6:	0.85	-27
FeII(191)	3975.03							0.89	-29:
CrII(183)	3979.52	0.87	3					0.94	-24
TiII(11)	3981.99	0.98	3:					0.97	-29:
SII(29)	3993.50			0.99:					
NII(12)	3995.00	0.97	3:	0.91	16	0.97		0.97	-26:
VII(9)	3997.11	0.98:						0.98	
FeII(29)	4002.07	0.85	2	0.98	15:	0.95		0.93	
FeII(190)	4002.55	0.84				0.96			
CrII(194)	4003.33	0.92						0.97	
FeI(43)	4005.24	0.94	2						
VII(32)	4005.70	0.93	3					0.96	-28
HeI(55)	4009.27	0.94		0.82	16	0.90	-8:	0.94	-26:
FeII(126)	4012.46	0.83	2:			0.97	-6:	0.92	-28

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
NiII(12)	4015.47	0.87	3			0.94	-9:	0.94	-26:
VII(32)	4023.38	0.94	2					0.97	
HeI(54)	4023.97			0.96					
FeII(127)	4024.55	0.79	2			0.94	-7	0.88	-26
HeI(18)	4026.22	0.77	2	0.69	16	0.85	-6	0.90	-28
TiII(87)	4028.34	0.90	1					0.97	-25:
SII(45)	4028.75			0.96					
FeII(151)	4031.44	0.94	2					0.97	-27
SII(59)	4032.78			0.98:					
FeII(126)	4032.95	0.85	1:			0.94	-8	0.91	-29
NII(39)	4035.08			0.97					
VII(32)	4035.61	0.94	2					0.98	-26:
CrII(194)	4038.03	0.93						0.97	-24:
NII(39)	4041.31			0.97	16:				
NII(39)	4043.53			0.98					
FeII(172)	4044.01	0.91	3			0.98	-11:	0.95	-26:
FeI(43)	4045.81	0.82	2			0.98		0.92	-28
FeII(172)	4048.83	0.84	3			0.95	-8:	0.94	-30:
CrII(193)	4049.14								
FeII(172)	4051.21	0.98	2					0.98	
CrII(19)	4051.97	0.94	1					0.94	-28
TiII(87)	4053.83	0.89				0.98		0.94	
CrII(19)	4054.08								
FeII(212)	4057.46	0.90				0.97		0.96	
MgI(16)	4057.50								
CrII(19)	4061.77							0.98	
FeII(189)	4061.79	0.97	1:						
FeI(43)	4063.59	0.85	2			0.97		0.95	-30
NiII(11)	4067.03	0.71	2	0.95	14:	0.88	-8	0.83	-25
OII(10)	4069.64								
OII(10)	4069.90			0.97					
FeII(22)	4070.03	0.95				0.98		0.97	-24:
CrII(193)	4070.90	0.94						0.98	
FeI(43)	4071.74	0.88	2					0.96	-26
OII(10)	4072.16			0.98					
CrII(26)	4072.56	0.95	3						
SiII	4075.45	0.87	1			0.95	-10:	0.96	-24
OII(10)	4075.87			0.98					
SiII	4076.78	0.89	1			0.97	-7:	0.96	-29
SrII(1)	4077.72	0.89	2			0.98	-9:	0.95	-30
CrII(165)	4082.29	0.97	2						
FeII(28)	4087.28	0.97							
FeII(39)	4088.75	0.98							
H δ	4101.74	0.21	2	0.44	16	0.36	-6	0.33	-34
CaII(17)	4109.83							0.98	-27:
CrII(18)	4110.99	0.90	1			0.98	-8:	0.95	-24:
FeII(188)	4111.90	0.94						0.97	-25:

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
CrII(18)	4113.22	0.96	2						
OII(20)	4119.22			0.96					
FeII(21)	4119.52	0.95	3					0.97	-29:
HeI(16)	4120.84	0.93	5	0.86	17	0.93	-5	0.97	-26:
FeII(28)	4122.66	0.74	3			0.90	-7	0.88	-26
FeIII(48)	4122.98			0.98					
FeII(22)	4124.78	0.93	3					0.96	
SiII(3)	4128.07	0.51	2	0.75	14	0.66	-7	0.65	-27
FeII(27)	4128.74	0.81	1			0.95:		0.90:	
SiII(3)	4130.89	0.50	2	0.73	14	0.65	-6	0.67	-25
FeI(43)	4132.06	0.96	3:						
FeII(150)	4138.21	0.96						0.98	
FeII(39)	4138.40								
SII(44)	4142.26	0.98		0.96					
FeI(523)	4143.42	0.93							
HeI(53)	4143.76			0.83	16	0.93	-7	0.94	-27
FeI(43)	4143.87	0.88							
SII(44)	4145.07	0.95		0.95	15:	0.98		0.98	
CrII(162)	4145.76	0.88	3					0.95	-28:
SII(44)	4153.06	0.95		0.93	17:	0.96	-8	0.97	-28:
FeII(39)	4160.62	0.97							
TiII(21)	4161.52	0.98	2:						
SII(44)	4162.67	0.94		0.93	14:			0.96	-24:
TiII(105)	4163.64	0.82	2			0.98	-7:	0.90	-28
MgI(15)	4167.27	0.98	4			0.99	-8:		
SII(44)	4168.37	0.99		0.98					
HeI(52)	4168.97	0.98	3:	0.95	14:	0.97	-11:		
TiII(105)	4171.90	0.85	2			0.98		0.93	-27
FeII(27)	4173.46	0.54	2	0.94	12	0.81	-7	0.69	-26
TiII(105)	4174.07	0.95							
SII(65)	4174.27			0.95					
FeII(21)	4177.68	0.74	2	0.98		0.94	-6	0.86	-24
FeII(32)	4178.85	0.52	2	0.95	11:	0.78	-8	0.66	-24
TiII(21)	4184.31	0.98	1:						
FeI(152)	4187.04	0.96	3						
FeI(152)	4187.80	0.89	4			0.97	-5:	0.96	-25
NiII(10)	4192.07	0.97	2:					0.97	-27:
CrII(161)	4195.41	0.95	2:			0.98		0.99	-28:
FeI(693)	4196.21	0.98	1:						
FeI(693)	4198.27	0.97	1:					0.98	
FeI(522)	4199.09	0.97	3						
FeI(42)	4202.03	0.95	2:			0.98		0.98	
VII(25)	4202.34	0.96							
VII(37)	4205.07	0.98							

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
CrII(26)	4207.35	0.98	2:						
Sr(1)	4215.52	0.93	3			0.98		0.97	-28:
CrII(18)	4217.05	0.99							
SII(44)	4217.18			0.98					
CrII(162)	4224.85	0.91	3					0.95	-28:
CaI(2)	4226.70					0.96	-5:	0.96	-15
FeI(693)	4227.43	0.96	1					0.99	
CH+	4232.55						-11:		
FeII(27)	4233.17	0.39	2	0.86	13	0.66	-8	0.56	-29
FeI(152)	4235.94	0.98	3:						
NII(48)	4236.91			0.98					
NII(48)	4237.05								
FeI(693)	4238.81	0.97	2						
NII(48)	4241.78			0.97					
CrII(31)	4242.37	0.73	2			0.94	-8	0.87	-26
MgII(20)	4242.47								
MnII(7)	4244.26	0.97							
NiII(9)	4244.79	0.94				0.98		0.98	
ScII(7)	4246.83	0.88	1			0.97	-5:	0.92	-26
FeI(693)	4247.43	0.98						0.98	
FeI(152)	4250.12	0.97	1:					0.98	
FeI(42)	4250.78	0.95							
CrII(31)	4252.63	0.88	1			0.98	-10:	0.96	-28:
MnII(7)	4253.02	0.95							
VII(18)	4254.41	0.95				0.98		0.97	-27:
CrII(192)	4256.16							0.98	
FeII(28)	4258.15	0.79	3			0.95	-6:	0.88	-27
FeI(152)	4260.47	0.93	2					0.97	-28:
CrII(31)	4261.92	0.79	2			0.96	-7:	0.90	-29
FeII	4263.90	0.93	2			0.97	-10:	0.98	-29
CII(6)	4267.14	0.95	3	0.83	17	0.91	-8	0.94	-27:
SII(49)	4267.76								
CrII(31)	4269.29	0.93	1			0.98		0.97	-28:
SII(49)	4269.72			0.99					
FeI(152)	4271.15	0.97	2						
FeI(42)	4271.76	0.91	2			0.98		0.97	-29
FeII(27)	4273.32	0.77	3			0.94	-9	0.88	-27
CrI(1)	4274.80	0.97							
CrII(31)	4275.55	0.83	2			0.97	-9:	0.92	-26
FeII(32)	4278.15	0.88	1			0.96	-6:	0.96	
FeI(71)	4282.40	0.96							
SII(49)	4282.60			0.99					
CrII(31)	4284.20	0.89	1			0.97	-8	0.94	-30:
VII(23)	4286.13	0.95						0.98:	
FeII	4286.31								

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
TiII(20)	4287.88	0.96						0.98:	
TiII(41)	4290.21	0.80	2			0.97	-9:	0.90	-26
TiII(20)	4294.10	0.78	2					0.87	-27
SII(49)	4294.40			0.95	12	0.95			
FeII(28)	4296.57	0.66	2	0.99		0.89	-8	0.79	-28
FeI(152)	4299.23	0.99	3:						
TiII(41)	4300.04	0.69	2	0.98	10:	0.93	-7:	0.82	-28
CH	4300.32						-14:	0.79	-15
TiII(41)	4301.92	0.88	3			0.98	-5:	0.91	-24:
FeII(27)	4303.17	0.54	2	0.95	12	0.79	-7	0.70	-27
SrII(3)	4305.45							0.98	-27:
TiII(41)	4307.89	0.80	1			0.98	-10:	0.91	-30
TiII(41)	4312.86	0.83	4			0.96		0.91	-30:
ScII(15)	4314.09								
FeII(32)	4314.30	0.80	1			0.94	-5:	0.89	-28
TiII(41)	4314.98	0.84	2			0.96		0.90	-31:
TiII(94)	4316.80	0.98				0.98	-5:		
OII(2)	4317.14			0.99	13:				
OII(2)	4319.63			0.98					
FeII(220)	4319.72	0.96						0.99	
ScII(15)	4320.74								
TiII(41)	4320.95	0.95				0.98		0.96	-27:
ScII(15)	4325.01	0.97				0.97			
FeI(42)	4325.76	0.87				0.95		0.93	
MnII(6)	4326.76	0.97							
TiII(20)	4337.92		2						-24:
H γ	4340.47	0.20	2	0.49	13	0.37	-8	0.38	-48
TiII(20)	4344.29								
OII(2)	4345.56			0.98					
OII(2)	4349.43			0.98	13:				
FeII(27)	4351.77	0.47	2	0.91	12	0.74	-7	0.61	-26
FeIII	4352.57			0.98:					
FeII(213)	4354.36	0.92				0.98	-8:	0.96	-29:
FeII	4357.57	0.88	2			0.96	-8	0.94	-29:
FeII	4361.25	0.93	1:					0.96	-25:
NiII(9)	4362.09	0.91	1			0.96	-10:	0.95	-28
FeI(414)	4367.58								
TiII(104)	4367.66	0.95	1					0.96	-29:
OI(5)	4368.23	0.91	2			0.97	-6:	0.96	-29:
FeII(28)	4369.40	0.85	2			0.97	-8:	0.92	-28
TiII(93)	4374.82	0.97				0.99			
FeI(41)	4383.54	0.83	3					0.94:	-28:
FeII(32)	4384.32	0.80:	2:					0.86:	
MgII(10)	4384.64	0.78:	1:	0.96		0.95:	-8:		
FeII(27)	4385.38	0.58	3	0.95		0.82	-8	0.75	-26

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
TiII(104)	4386.85	0.94	4:			0.97			
HeI(51)	4387.93	0.92	3	0.81	17	0.89	-6	0.93	-25:
MgII(10)	4390.56	0.74	3	0.95		0.91	-6:	0.90	-28
TiII(51)	4394.06	0.97	2					0.98:	
TiII(19)	4395.03	0.70	2	0.98		0.94	-8:	0.83	-27
FeIII(4)	4395.76			0.97					
TiII(61)	4395.84	0.94	1						
TiII(51)	4399.77	0.88	1			0.98		0.94	-30
FeII	4402.88	0.93	2			0.97	-10:	0.96	-20:
FeI(41)	4404.75	0.90	2			0.99:	-5:	0.97	-27
TiII(61)	4409.24	0.98:							
TiII(61)	4409.52	0.96	2			0.98:	-9:		
TiII(115)	4411.08	0.95	1					0.97:	
CII(39)	4411.51			0.98					
FeII(32)	4413.59	0.93	1			0.98:	-7:	0.96	-24:
OII(5)	4414.91			0.98	15:				
FeI(41)	4415.12	0.95	1:						
FeII(27)	4416.82	0.60	2	0.95	18	0.84	-7	0.72	-25
TiII(40)	4417.72	0.90	2			0.97:		0.90:	-28:
FeIII(4)	4419.60	0.98:		0.95	15	0.97	-8:		
TiII(93)	4421.94	0.97	1:					0.97	
MgII(9)	4427.99	0.90	2			0.96:	-6:	0.99:	-26:
FeIII(4)	4431.02			0.96	18:	0.97	-7:		
MgII(9)	4433.99	0.85	1	0.99		0.97	-9	0.96	-28
MgII(19)	4436.49	0.95		0.98:		0.99:	-9:	0.98	-27:
HeI(50)	4437.55	0.97	3	0.94	15	0.97	-8	0.99:	
TiII(19)	4443.80	0.76	2			0.96	-7:	0.86	-27
TiII(31)	4444.56	0.96						0.96:	
FeII(187)	4446.23	0.97	2					0.98	-26:
NII(15)	4447.03			0.97	16:				
FeII(222)	4449.66	0.97				0.99			
TiII(19)	4450.48	0.93	1			0.98	-8	0.98:	
FeII	4451.55	0.86	1			0.95	-8	0.95	-28:
FeII	4455.26	0.90	2			0.96		0.94	-28:
FeII(26)	4461.43								
FeI(2)	4461.65	0.90	3			0.96	-6:	0.93	-29:
SII(43)	4463.58			0.98	16:				
TiII(40)	4464.45	0.95	2					0.97	
FeI(350)	4466.55	0.98	2:						
TiII(31)	4468.49	0.74	2			0.95	-7	0.89	-29
HeI(14)	4471.52	0.79	1	0.66	19	0.80	-6	0.86	-28
FeII(37)	4472.92	0.83	2			0.97	-8	0.93	-28
FeII(171)	4474.19	0.98	3:						
FeI(350)	4476.04	0.98	3						

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
MgII(4)	4481.22	0.26	2	0.58	15	0.44	-6	0.41	-25
SII(43)	4483.43			0.98	13:				
TiII(115)	4488.33	0.94	2			0.98:		0.97:	
FeII(37)	4489.17	0.69	2	0.98		0.90	-6	0.84	-26
FeII(37)	4491.40	0.64	2	0.97	10	0.88	-8	0.83	-27
TiII(18)	4493.52	0.95	2			0.98		0.98:	-27:
TiII(31)	4501.27	0.78	2	0.97		0.96	-5:	0.86	-28
FeII(38)	4508.28	0.53	2	0.94	14:	0.80	-7	0.69	-26
AlIII(3)	4512.56			0.97	16				
FeII(37)	4515.34	0.58	2	0.95	11	0.83	-8	0.74	-26
FeII(37)	4520.22	0.58	2	0.96	14	0.84	-8	0.74	-27
FeII(38)	4522.63	0.49	2	0.92	13	0.74	-7	0.65	-26
TiII(60)	4524.69	0.98				0.97	-8:	0.98	
SII(40)	4524.95			0.97	14				
VII(56)	4528.51	0.98							
FeI(68)	4528.61								
AlIII(3)	4529.19			0.97	15:				
TiII(82)	4529.49	0.96	2					0.98	-29
TiII(50)	4533.97	0.67	4:			0.90	-6	0.81	-27
FeII(37)	4534.16			0.97	11:				
CrII(39)	4539.62	0.97	1:						
FeII(38)	4541.52	0.70	2	0.98		0.90	-8	0.84	-27
TiII(30)	4545.14	0.98				0.99			
FeII(38)	4549.47	0.42	5:	0.87	10	0.69	-8	0.56	-26
TiII(82)	4549.63								
SiIII(2)	4552.62	0.99		0.93	12	0.98	-8:	0.99	
BaII(1)	4554.03	0.99	2:						
CrII(44)	4554.99	0.82	2			0.97	-8:	0.90	
FeII(37)	4555.89	0.54	2	0.93	10	0.79	-8	0.69	-26
CrII(44)	4558.64	0.59	2	0.96	14	0.85	-9	0.73	-28
TiII(50)	4563.76	0.79	2			0.96	-8	0.90	-28
VII(56)	4564.58	0.98							
CrII(39)	4565.77	0.92				0.98		0.97	-31:
SiIII(2)	4567.82			0.93	16	0.98	-5		
TiII(82)	4571.97	0.70	2	0.99		0.93	-9	0.84	-27
SiIII(2)	4574.76			0.97	18:				
FeII(38)	4576.34	0.70	2	0.98	10:	0.91	-8	0.82	-27
FeII	4579.52	0.93	1:						
FeII(26)	4580.06	0.89	2:	0.99		0.97		0.95	-25:
FeII(37)	4582.83	0.76	2			0.93	-8:		-25:
FeII(38)	4583.83	0.44	2	0.88	10:	0.69	-7	0.58	-26
CrII(44)	4588.20	0.64	2	0.96	13	0.88	-9	0.77	-28
CrII(44)	4589.89	0.93	3:			0.98	-7:	0.96	-27:
TiII(50)	4589.94								

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
CrII(44)	4592.05	0.81	3			0.96	-8:	0.90	-30:
FeII(38)	4595.68	0.97				0.98:			
FeI	4596.02	0.85				0.95	-8:	0.92	-30:
FeIII	4596.09			0.98	16				
FeII(219)	4598.53	0.95	1					0.98	-30
FeII(43)	4601.37	0.97	2:					0.99	
NII(5)	4601.48			0.97					
NII(5)	4607.16			0.97	15				
NII(5)	4613.87			0.98	16:				
CrII(44)	4616.62	0.85	1			0.97	-9:	0.93	-29
CrII(44)	4618.82	0.71	1			0.93	-10:	0.84	-28
FeII(38)	4620.51	0.80	1			0.95	-9	0.90	-28
NII(5)	4621.39			0.98	16:				
SiII	4621.42	0.96	2			0.99		0.97	
SiII	4621.72	0.95:							
SII	4624.12			0.98					
FeII(186)	4625.91	0.94	1:			0.99:		0.98	
FeII(219)	4628.82	0.95	1:						
FeII(37)	4629.33	0.56	2	0.96	9	0.82	-8	0.72	-26
NII(5)	4630.54			0.94	14				
FeII(219)	4631.90	0.98	2					0.98	-29:
CrII(44)	4634.07	0.73	2	0.98	12:	0.94	-7:	0.87	-26
FeII(186)	4635.31	0.77	3	0.97	14:	0.90	-7	0.87	-27
FeI(822)	4638.02	0.93				0.98:		0.97	-28:
NII(5)	4643.09			0.97	17				
SII	4648.17			0.98					
FeII(25)	4648.93	0.97	2						
OII(1)	4649.14			0.96	12				
OII(1)	4650.84			0.98	14:				
SII(9)	4656.78			0.98	15:				
FeII(43)	4656.98	0.88	2			0.96	-8:	0.94	-27:
TiII(59)	4657.20							0.95	-28:
OII(1)	4661.64			0.99	16:				
AlII(2)	4663.06	0.85	1	0.97	12:	0.93	-8	0.92	-28
FeII(44)	4663.70	0.92	1			0.98	-9	0.95	-29:
FeII(26)	4665.80	0.97				0.98		0.97	
FeII(37)	4666.75	0.80	1			0.95	-9:	0.89	-26
FeII(25)	4670.17	0.91	2:			0.98	-8:	0.96	-27
OII(1)	4676.23			0.99					
CrII(177)	4697.62	0.98	1:						
MgI(11)	4702.99	0.98	3:					0.99	
OII(25)	4705.36			0.99:					
TiII(49)	4708.67	0.99	2:						
HeI(12)	4713.19	0.91	2	0.83	15	0.91	-8	0.94	-26

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелиоцентрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SII(9)	4716.27	0.97		0.94	13	0.96	-8	0.97	-29:
FeII(54)	4720.13	0.98	2:						
FeII(43)	4731.47	0.76	1	0.99	9:	0.94	-9:	0.90	-29
ArII(6)	4735.91			0.99	15:				
MnII(5)	4738.29	0.98	1:						
MgII(18)	4739.64	0.92		0.99		0.98	-8:	0.98	-30:
SII(35)	4755.09			0.99					
MnII(5)	4755.72	0.95	1:			0.98	-8:	0.97	-24:
SII	4763.37			0.99	15:				
MnII(5)	4764.70	0.96	3:			0.99		0.98	-30:
TiII(92)	4779.98	0.95	2			0.98	-7:	0.97	-26
DIB	4780.04						-10:	0.98	
NII(20)	4788.13			0.99	15:				
SII(46)	4792.01			0.99:					
TiII(17)	4798.53	0.99							
NII(20)	4803.29			0.99					
TiII(92)	4805.09	0.94	1			0.99		0.97	-27:
ArII(6)	4806.02			0.98					
FeII(169)	4810.76	0.97							
CrII(30)	4812.35	0.93	2			0.98	-8:	0.97	-27
SII(9)	4815.55	0.95	4	0.92	14	0.95	-8:	0.96	-27:
SII(15)	4819.58			0.99	16:				
SiIII(9)	4819.72				10:				
SII(52)	4824.07				16:				
CrII(30)	4824.14	0.67	2	0.97	12:	0.92	-9	0.83	-26
FeII	4826.68	0.97	2					0.98	
FeII(30)	4833.19	0.98							
CrII(30)	4836.24	0.91	1:	0.98	13			0.96	-25:
FeII	4843.30	0.98	2:					0.99	
ArII(6)	4847.81			0.98					
CrII(30)	4848.25	0.75	2			0.94	-8	0.87	-26
MgII(25)	4851.08		3:			0.98	-8:	0.98	-28:
CrII(30)	4856.19		2:					0.96	
H β	4861.33	0.24	1	0.61	8	0.44	-10	0.48	-75
CrII(30)	4864.32		2				-9:		-28:
FeII(25)	4871.27		2:			0.98:		0.97	-28:
TiII(114)	4874.01	0.97	1					0.98	-29:
CrII(30)	4876.40	0.78	3	0.99		0.95	-8:	0.89	-26
FeII	4883.28	0.98							
SII(46)	4883.67			0.99	13:				
CrII(30)	4884.60	0.94	2					0.99	-30:
SII(15)	4885.65			0.97	14				
FeI(318)	4890.76	0.99							

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeI(318)	4891.49	0.97	1:						
FeII(81)	4893.81	0.97	1					0.99	-25:
NII(1)	4895.11			0.99					
CrII(190)	4901.65	0.97						0.98	-28:
OII(28)	4906.88			0.99					
FeII	4908.15	0.96	1:			0.98	-8:	0.98	-30:
TiII(114)	4911.19	0.95	2					0.97	-31:
CrII(190)	4912.49	0.98						0.98	
FeII(218)	4913.30	0.93	2			0.98		0.97	-29
SII(15)	4917.21	0.98	1:	0.96	13	0.97	-9:	0.99	-26
FeI(318)	4919.00	0.98						0.99:	
FeI(318)	4920.50	0.95	2					0.99	-28:
HeI(48)	4921.93	0.90	3	0.74	17	0.87	-7		-25:
FeII(42)	4923.92	0.41	3	0.81	16	0.64	-6	0.54	-27
SII(7)	4925.35	0.96	1:	0.94	16:	0.97	-8		
BaII(1)	4934.08	0.99	3:						
SII(7)	4942.47			0.99	13:				
FeII	4948.10	0.96	1:			0.99		0.98	-26:
FeII	4948.80	0.95	1:			0.98	-8:	0.98	
FeII	4951.59	0.91	2	0.98	14:	0.96	-7:	0.96	-28
CrII	4952.78	0.97							
FeII(168)	4953.98	0.96	2			0.99		0.98	
FeI(318)	4957.59	0.93	1					0.97	-30
FeII	4958.82	0.98	2						
DIB	4963.90					0.98	-8:		
OI(14)	4967.38	0.99	2:						
OI(14)	4967.88	0.97	1						
OI(14)	4968.79	0.96	2			0.99		0.99	
FeII	4969.36	0.98	4						
FeII	4977.03	0.94	2					0.98	-27:
FeII	4984.50	0.93	2			0.97	-9:	0.97	-30:
FeII	4990.50	0.91	2			0.98		0.96	-28
FeII(25)	4991.11	0.98	1:						
FeII	4991.46						-9:		
SII(7)	4991.97	0.96	3:	0.96	15	0.96	-7	0.97	
FeII(36)	4993.35	0.89	1			0.97	-6	0.95	-25
SII	4993.50			0.99					
FeII	4999.16	0.96	2			0.99		0.98	-27:
FeII(25)	5000.73	0.99	2:						
NII(19)	5001.14								
NII(19)	5001.48			0.94					
FeII	5001.92	0.77	3	0.96		0.90	-7	0.88	-25
FeII	5004.20	0.86	1			0.94		0.93	-28
NII(19,6)	5005.15			0.97					

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
SII(57)	5006.73			0.98					
FeII	5006.84	0.96	1:					0.98	
FeII	5007.45					0.98			
FeII	5007.74	0.96						0.98	
FeII	5009.00	0.97	3						
SII(7)	5009.56	0.98	1	0.95	16:	0.97		0.98	
FeII	5010.05	0.98				0.99		0.98	
TiII(113)	5010.21								
NII(4)	5010.62			0.97					
SII(7)	5014.07	0.97	1	0.93	16	0.95	-8	0.97	-29
HeI(4)	5015.68	0.89	3	0.80	17	0.89	-8	0.91	-26
FeII(42)	5018.44	0.41	2	0.80	13	0.62	-5	0.55	-27
FeII(168)	5019.46	0.95							
FeII	5021.59	0.94				0.98		0.98	-28:
FeII	5022.42	0.95	3:						
FeII	5022.79	0.94	2			0.98		0.97	
FeII	5026.80	0.96	3:						
SII(1)	5027.22	0.97	1	0.96	14	0.97		0.98	
FeII	5030.64	0.87	2	0.99		0.98	-9	0.94	-27
FeI	5031.89	0.98	1:						
SII(7)	5032.45			0.91	14	0.90	-5:	0.95	-24:
FeII	5032.71	0.92	2						
FeII	5035.71	0.84	1	0.96	14:	0.94	-8	0.92	-30
FeII	5036.71							0.97	-26:
FeII(36)	5036.94	0.98	2:						
SiII(5)	5041.03	0.64	2	0.85	14	0.77	-8	0.78	-27
NII(4)	5045.10			0.98	17:				
FeII	5045.11	0.94	1			0.98	-6:	0.98	
FeII	5047.64	0.91	3:			0.94	-7:	0.96	-27:
HeI(47)	5047.71			0.90	13				
SiII(5)	5056.06:	0.58	2:	0.82	14	0.70	-7	0.71	-27
FeII	5060.26							0.98	
FeII	5061.72	0.90	1			0.97		0.96	-25:
FeII	5062.93							0.99	
FeII	5067.89	0.96	2			0.99		0.98	-29:
FeII	5070.90	0.90	2	0.98	15	0.97	-9	0.96	-27:
TiII(113)	5072.30	0.98							
FeIII(10)	5073.90			0.98	14:	0.97	-8:		
FeII(205)	5074.05	0.96	2					0.98	
FeII	5075.77	0.93	2			0.97		0.97	-30:
FeII	5082.23	0.94	2			0.98	-5:	0.98	-26:
FeII	5086.31	0.98	1						
FeIII(5)	5086.72			0.98	15:				
FeII	5087.26	0.96	3:						
FeII	5089.22	0.95	2			0.99	-9	0.97	-28
FeII	5093.57	0.90	2	0.99		0.97	-8	0.95	-27
FeII	5093.77								

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII	5097.27	0.90	2	0.99		0.95	-9:	0.96	-29
CrII(24)	5097.32								
FeI(66)	5098.70	0.98	1			0.98	-6:	0.98	-30
FeII	5100.74	0.75	1:	0.96	20	0.88	-9	0.89	-28
SII(7)	5103.34	0.99:		0.96	15	0.98	-9:	0.98	
FeII	5106.11	0.97	2					0.98	
FeII	5107.12	0.98							
FeI(16,36)	5107.50:	0.97:				0.99:			
FeII	5112.99	0.97	1:					0.98	
FeII	5115.06	0.98	2:					0.98	
FeII	5117.03	0.95	2					0.98	-28:
FeII(35)	5120.34	0.96	3						
FeII	5123.19	0.97				0.99		0.99	-27:
FeIII(5)	5127.35			0.95					
FeII(167)	5127.86	0.93	2			0.96		0.98	-29
TiII(86)	5129.16	0.96	3					0.99	
FeII(35)	5132.67	0.94	2					0.98	
FeII(35)	5136.80	0.97	2			0.99		0.99	
FeI(383)	5139.36	0.97							
SII(1)	5142.34			0.98	12	0.98	-8;	0.98	-27:
FeII	5143.89	0.96	3						
FeII	5144.36	0.91	1			0.98		0.97	-29:
FeII	5145.78	0.92	3			0.98		0.97	-25:
FeII(35)	5146.12	0.93							
FeII	5148.94	0.96	2						
FeIII	5149.33			0.98					
FeII	5149.46	0.88	1			0.96		0.94	-28
FeII	5150.49	0.96	1			0.99	-8:	0.99	
FeII	5152.97	0.98						0.99	
CrII(24)	5153.49							0.98	
FeII	5153.78	0.97						0.97	
TiII(70)	5154.08								
FeII	5154.41	0.96	3:			0.98		0.99	
FeIII(5)	5156.12			0.96	18:				
FeII	5157.28	0.96	4						
FeII	5158.07	0.97	2:					0.99	
FeII(167)	5160.84	0.93	2	0.98		0.98	-7:	0.96	
FeII	5163.58	0.97				0.99			
FeI(1)	5166.29							0.97	-26:
FeII	5166.56	0.95	1:			0.99	-8		
MgI(2)	5167.33	0.91	2			0.99	-7:		
FeII(42)	5169.03	0.39	2	0.79	14	0.60	-5	0.52	-26
FeII	5170.13								
FeII	5170.78	0.97							
FeI(36)	5171.60	0.97							
MgI(2)	5172.69	0.82	2			0.98		0.95	-25

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII(185)	5173.00								
FeII	5177.02	0.96							
FeII	5177.39	0.94	2			0.97		0.98	-28:
FeII	5178.37	0.98	3:						
FeII	5180.32	0.94	2			0.98		0.99	-28:
MgI(2)	5183.61	0.78	2			0.98		0.94	-28
SiII	5185.54	0.95	4:			0.99	-7:		
TiII(86)	5185.91							0.97	
FeII	5186.88	0.98	2:						
TiII(70)	5188.69	0.91	2					0.97	-27
SiII	5192.86	0.95:							
FeII	5194.89	0.95	3:					0.98	-30:
FeI(36)	5194.95								
FeII(49)	5197.58	0.61	1	0.96	11	0.83	-8	0.77	-25
FeII	5199.12	0.94	2			0.98			
FeII	5200.81	0.97	3			0.99:	-8:		
SII(39)	5201.02			0.97	16:			0.98	-27:
SiII	5202.41	0.97		0.99	13:				
FeII	5202.58								
FeII	5203.64	0.95	1			0.99		0.98	-25
CrI(7)	5206.04	0.99	1:						
CrI(7)	5208.43	0.98	3:						
CrII(24)	5210.85	0.98						0.99	
SII(39)	5212.62	0.98	4	0.96	16	0.98	-6	0.99	
FeII	5213.99	0.95	2			0.98	-9:	0.98	-26:
FeII	5215.34	0.94				0.98		0.97	
FeII	5215.83	0.93							
FeII	5216.85	0.85	2	0.97	13	0.94	-8	0.92	-26
FeII	5218.84	0.96	1			0.99	-9	0.98	-26:
FeII	5222.36	0.97	3			0.99		0.99	-26:
FeII	5223.23	0.96	1						
FeII	5223.81	0.98	1:						
FeII	5225.30:	0.94				0.98:		0.98:	
FeII	5225.99	0.95	1:					0.97:	
TiII(70)	5226.55	0.94	1:			0.98		0.96	
FeII	5227.49	0.78	1	0.95	14	0.90	-10	0.88	-28
FeII	5228.89	0.97				0.98	-9:		
FeII	5232.78	0.92	2			0.98	-7		-25:
FeII(49)	5234.62	0.61	2	0.94	10	0.83	-7	0.74	-26
FeII	5236.62	0.98							
CrII(43)	5237.32	0.81	3			0.95	-7	0.89	-25
FeII	5237.95	0.93	2						-26:
FeII	5239.39	0.98				0.99	-8:	0.99:	
FeII	5239.81								
ScII(26)	5239.82	0.97	2						

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII	5241.08								
FeII	5241.19	0.97							
FeII	5245.09	0.97	2:					0.99:	
FeII	5245.46	0.97	1:						
CrII(23)	5246.77	0.97	3:						
FeII	5247.95	0.90	2			0.98	-8:	0.96	-28
FeII	5249.34								
CrII(23)	5249.43	0.96				0.97		0.98	-29
FeII	5251.24	0.88	2			0.94	-9	0.95	-27
FeII	5253.64	0.94	1			0.96		0.97	
FeII	5254.41	0.97							
FeII	5254.93	0.84	1			0.96	-9:	0.94	-28
FeII(41)	5256.93								
FeII	5257.11	0.92				0.98	-9:	0.97	-29
FeII	5257.90	0.98							
FeII	5260.26	0.76	2	0.94	15	0.88	-9	0.86	-28
FeII	5262.31	0.98	2					0.99	
FeII	5264.18	0.87							-25:
MgII(17)	5264.30:			0.96		0.94	-6:		
FeII(48)	5264.80	0.82		0.99:		0.96:		0.91	-29:
FeI(383)	5266.55	0.98	3:						
FeI(15)	5269.54	0.98	2:						
FeII	5270.03	0.97	2:			0.99:	-8:		
FeII	5272.39	0.88	2	0.99	14:	0.97	-6	0.94	-25
CrII(43)	5274.98	0.83	1			0.96	-7:		
FeII(49)	5276.00	0.59	2	0.92	12	0.80	-7	0.71	-25
FeII(225)	5278.20	0.97	2						
FeII(184)	5278.94	0.96	2			0.99		0.98	
CrII(43)	5279.86:	0.93	2:			0.99		0.96	-29:
FeII(41)	5284.10	0.78	2	0.98	9	0.95	-7	0.91	-25
FeII	5291.67	0.88	2	0.98		0.95	-9	0.94	-28
MnII(11)	5296.97	0.98:						0.99:	
FeI(15)	5297.13								
FeII	5298.84	0.98							
MnII(11)	5299.28								
MnII(11)	5302.32	0.97				0.99	-8:		
FeII(225)	5303.39	0.98	3:						
CrII(24)	5305.86	0.92							
FeII	5306.18	0.93	2:			0.98	-6:	0.96	-26:
CrII(43)	5308.42	0.94	2					0.97	-30
FeII	5309.87	0.96	3:						
CrII(43)	5310.69	0.94	2					0.99	-29:
CrII(43)	5313.58	0.89	2			0.98	-7:	0.94	-25:
FeII	5316.23								
FeII(49,48)	5316.66:	0.51	2:	0.90	8	0.74	-8	0.67	-26
FeII	5318.06	0.96	2						

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
CrII(23)	5318.41								
FeII	5318.75	0.98							
SII(38)	5320.73	0.98	4	0.95	15	0.97	-7	0.98	-28
FeII	5321.84	0.98:							
FeII	5322.23	0.97				0.99		0.99	
FeI(553)	5324.18	0.97							
FeII(49)	5325.56	0.83	1	0.99		0.96	-9	0.93	-26
FeI(15)	5328.04	0.98						0.98	
OI(12)	5329.10	0.95	2					0.98	-28:
OI(12)	5329.69	0.93	1	0.98		0.98		0.97	-25:
OI(12)	5330.74	0.92	1	0.98		0.98		0.97	-26
TiII(69)	5336.79	0.96	1			0.99		0.98	
FeII(48)	5337.73	0.90	2			0.98	-6:	0.96	-28
CrII(43)	5337.79								
FeII	5339.59	0.89	2	0.98	13	0.96	-9	0.95	-25
FeII	5340.30	0.98							
FeII	5344.10	0.99	3:						
SII(38)	5345.72	0.97		0.96	13	0.98	-8:		
CrII(24)	5346.08								
CrII(23)	5346.54	0.98:							
FeII	5353.09	0.98							
FeII	5353.22								
FeII	5355.42	0.98	2			0.99	-9:		
FeII	5358.87	0.98							
FeII	5362.75								
FeII(48)	5362.87	0.68	2	0.97		0.89	-7	0.84	-26
DIB	5363.60								
FeII	5366.21	0.98	2					0.99:	
FeII	5370.30	0.97	4			0.98	-7		
FeII	5375.84	0.97	3			0.99	-6:	0.98	-25:
FeII	5379.23	0.99	3:					0.99:	
TiII(69)	5381.03	0.98	2					0.99:	
FeII(184)	5382.40	0.99	2:						
FeI(1146)	5383.38	0.97	2						
FeII	5387.07	0.89	1	0.98	13:	0.95	-9	0.94	-26
FeII	5393.85	0.97	1:			0.99	-10:	0.99	-26
FeII	5395.86	0.91	2	0.99:		0.96	-10	0.96	-26
FeII	5397.99:	0.98	2:					0.99	
FeII	5399.56	0.99	2:					0.99	
MgII(24)	5401.54	0.90	2	0.98	17:	0.95		0.94	
FeII	5402.06	0.89	1	0.99					
FeII	5402.87	0.99	2:						
FeI(1145)	5404.14	0.99	2:					0.98:	-25:
DIB	5404.50					0.98		0.97:	
FeII	5405.10	0.97	2					0.98	
FeI(15)	5405.77	0.97							

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
CrII(23)	5407.62	0.96	2			0.99		0.99	
FeII(184)	5408.81	0.97	2	0.99				0.99	-25:
FeII	5411.36	0.98	1					0.99	-26:
FeII(48)	5414.07	0.91	2			0.98	-10:	0.98	-27
FeII	5414.85	0.96	4			0.98	-7:	0.98	-26:
FeI(1165)	5415.20	0.98	1						
CrII(23)	5420.93	0.96	1:					0.99:	
FeI(1146)	5424.07	0.98	2						
FeII(49)	5425.25	0.86	2			0.97	-8:	0.93	-24
FeII	5427.82	0.92	2			0.98		0.99:	
SII(6)	5428.67	0.99	1	0.95	14	0.98	-8	0.98	-30:
FeI(15)	5429.70								
FeII	5429.99	0.91	2			0.96	-8	0.96	-28
SII(6)	5432.82	0.87		0.90	15	0.94	-8	0.94	-25:
FeII(55)	5432.98								
OI(11)	5436.86	0.96				0.99			
FeII	5439.71	0.98:							
FeII	5442.35	0.97	2						
FeII	5443.45	0.98:							
FeII	5444.39	0.97	2			0.98		0.98	-31:
FeII	5445.80	0.96	1:			0.98		0.99	-28:
FeI(15)	5446.91	0.98							
FeII	5450.10	0.98	2			0.99:		0.99	
SII(6)	5453.83	0.93	3	0.86	18	0.92	-7	0.95	-24
FeI(15)	5455.61	0.98:							
CrII(50)	5455.80:								
FeII	5455.93	0.97	1					0.99	-24:
FeII	5457.72	0.97	1					0.99	
FeII	5465.93	0.91	2			0.96	-6:	0.95	-27
FeII	5466.92	0.90				0.96	-9:	0.96	-24:
FeII	5472.86	0.98							
FeII	5473.60								
SII(6)	5473.62	0.97	2	0.95	14	0.97		0.98	-26:
FeII	5475.83	0.97	2					0.99	-26
CrII(50)	5478.37	0.94	2			0.98:		0.98	-26
FeII	5479.41	0.98	1						
FeII	5481.29	0.98	1			0.99		0.99	-26:
FeII	5482.32	0.91	2	0.99		0.96	-8	0.98	-29
FeII	5487.63	0.91	2			0.97	-9:	0.95	-29
DIB	5487.67								
FeII	5488.78	0.98	2:						
FeII	5492.08								
FeII	5492.40	0.96	1:			0.98		0.98	
FeII	5492.68	0.95						0.98	
FeII	5493.63	0.92						0.96	
DIB	5494.10							0.98	

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII	5498.57	0.98	2:					0.99	-25:
FeII	5501.04	0.99	3:						
CrII(50)	5502.08	0.96	1						
FeII	5502.68	0.97							
CrII(50)	5503.18								
FeII	5503.22	0.93	2			0.98	-8:	0.96	-28:
FeII	5503.35								
FeII	5503.89	0.98	2:						
FeII	5505.24	0.98	2:						
FeII	5506.20	0.82	2	0.97		0.91	-9	0.92	-26
FeII	5507.06	0.95	2				-8:		
DIB	5508.35								
CrII(50)	5508.62	0.97	2					0.97	-24:
SII(6)	5509.72	0.98	3	0.95	16	0.98	-8	0.98	
FeII	5510.67								
CrII(23)	5510.71								
FeII	5510.78	0.93	1:					0.98	-26:
FeII(56)	5525.12	0.97	1						
SII(11)	5526.25			0.99					
ScII(31)	5526.81	0.98	2						
MgI(9)	5528.41	0.97	2:					0.99	
FeII	5529.06	0.96	2						
FeII(224)	5529.93	0.96	2						
FeII	5532.09	0.98	2					0.98	
FeII(55)	5534.84	0.76	2	0.99		0.92	-8	0.87	-24
FeII	5544.20	0.98						0.97	
FeII(166)	5544.76	0.93	3	0.98		0.96	-8	0.96	-25:
FeII	5548.21	0.98	3						
FeII	5549.00	0.96	2			0.99		0.98	-26
FeI(1183)	5554.90								
OI(24)	5554.95:	0.97							
SII(6)	5556.01	0.99	2:	0.99		0.99:			
FeII	5561.14	0.99	3:					0.99:	
FeII	5563.40	0.98:	2					0.99	
SII(6)	5564.98	0.98	1	0.96	13	0.98	-7	0.98	-29:
FeII	5567.84	0.96	1						
FeI(686)	5569.62	0.99	1:						
FeI(686)	5572.84	0.99:	2:			0.99:			
SiII(9)	5576.66					0.97:	-8:		
FeII	5577.92	0.95				0.97	-6:	0.98:	
FeII	5578.02								
SII(11)	5578.89	0.99	3:	0.98	14:	0.98		0.99	
FeII	5579.92	0.99	2:						
FeII	5581.63	0.99	2:					0.99	
FeII	5583.94	0.99	2:						

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeI(686)	5586.76	0.99:							
FeII	5587.08	0.96	2:			0.99			
FeII	5588.21	0.94	2			0.98	-10:	0.97	-25:
FeII(55)	5591.38	0.99				0.99:	-8:		
CaI(21)	5594.47	0.99	1			0.99	-9:		
SII(11)	5606.15	0.97	2	0.93	16	0.96	-8	0.98	-28:
DIB	5609.73					0.99:		0.98	-20:
FeI(686)	5615.64								
SII(11)	5616.64	0.98		0.98	18:			0.99	-25:
CrII(189)	5620.63	0.98:						0.99	-25:
FeII(57)	5627.49	0.97	1					0.99	
FeII	5639.69	0.98							
SII(14)	5639.97	0.97	2:	0.87		0.93		0.97	
SII(11)	5640.33								
FeII	5643.88	0.96	1:			0.99:		0.98	-26:
FeII	5645.40	0.95	1			0.98	-5:	0.97	-29:
FeII	5646.23	0.99	1:						
SII(14)	5647.03	0.97	2	0.93	14	0.97	-10	0.97	-28
FeII	5648.90	0.96	2			0.99	-8:	0.99	
FeII	5651.54	0.98	1						
ScII(29)	5657.87	0.97				0.99:		0.99	
FeII	5657.92								
FeI(686)	5658.82	0.99	3:						
SII(11)	5659.99	0.97		0.95	16	0.97	-8	0.97	
SII(11)	5664.78	0.98	2	0.97	16:	0.98	-9	0.98:	
NII(3)	5666.63			0.97	16:				
SiII	5669.56	0.98	3					0.98	-28:
FeII	5675.26	0.99:							
NII(3)	5676.02			0.97:					
NII(3)	5679.56			0.95	17				
NaI(6)	5682.64	0.99	1					0.99:	
NaI(6)	5688.21	0.99						0.99:	
FeII	5691.00	0.97	2:						
AlIII(2)	5696.60			0.96	15:	0.99			
DIB	5705.20					0.97	-9:	0.98	-18:
NII(3)	5710.77			0.98	16:				
AlIII(2)	5722.73			0.97	17:				
FeII	5726.56	0.96	3					0.99	
SiIII(4)	5739.73			0.96	18:				
FeII	5746.58	0.98	1						
FeII(164)	5747.90	0.97	2:					0.99	
FeII	5755.45	0.99:	2:						
FeII	5780.12	0.91	3	0.98:					
DIB	5780.37					0.81	-10	0.86	-20:

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII	5783.63	0.94	1	0.99					-24:
FeII	5784.45	0.96	1						
DIB	5793.22							0.99	-12:
FeII(211)	5795.87	0.97	1						
DIB	5796.96	0.99:				0.91	-7	0.91	-11
SiII(8)	5800.47	0.99	2:	0.99	15:	0.99		0.99	-27:
SiII(8)	5806.74	0.98	2	0.98	14:	0.98	-9:	0.99	-26:
FeII(163)	5813.67	0.95						0.97	-25:
FeII	5813.80								
SII(14)	5819.27			0.98	14:				
FeII(164)	5823.15	0.98	2					0.99	-27:
FeII(182)	5835.49	0.97	1					0.99	
FeII	5842.30	0.98	2					0.99	
DIB	5849.80					0.96	-14	0.97	-12
NeI(6)	5852.49	0.98	1	0.98	15:	0.99	-8		
FeII	5854.20	0.97							
SiII(8)	5868.40	0.98	3:	0.98		0.98	-6:	0.99	-24:
FeII	5871.77	0.98	3:			0.99		0.99	
HeI(11)	5875.72	0.83	1	0.60	18	0.77	-7	0.85	-28
FeII	5885.02	0.97	2						
NaI(1)	5889.95	0.22	2	0.80	17:	0.01	-9	0.23	-60
									-50:
								0.01	-11
NaI(1)	5895.92	0.30	2	0.90	18:	0.02	-9	0.39	-59
									-50:
								0.02	-11
FeII	5902.83	0.93	2						
FeII(182)	5952.53	0.94	2					0.97:	
FeII	5955.70	0.95	2:					0.97	-25:
SiII(4)	5957.56	0.80	3:	0.94	14:	0.88	-8	0.89	-28
FeII	5961.71	0.88	2			0.95	-9:	0.96	-29:
FeII	5965.63	0.96	2:					0.98:	-26
SiII(4)	5978.93	0.76	2	0.90	13:	0.85	-8	0.84	-29
FeII	5988.01							0.99	-27:
FeII(46)	5991.37	0.92	2					0.98	-25:
FeII	6017.88	0.98							
PII(5)	6024.18	0.98				0.98	-9:	0.99	
PII(5)	6043.12	0.98	2	0.98		0.98	-9:	0.99	
FeII	6045.46	0.98						0.99	
OI(22)	6046.44:	0.98	1:						
FeII	6049.45	0.98	1:						
CrII(105)	6053.46	0.99						0.99	-29:
FeII	6060.99	0.98	1:					0.99:	

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII	6069.67	0.99							
FeII	6071.42	0.97	3:			0.99:			
NeI(3)	6074.34	0.99	1	0.98	13:	0.99	-7:	0.99	-29:
FeII(46)	6084.10	0.95	2			0.99		0.99	
DIB	6089.78					0.98	-8:	0.98	-14:
NeI(3)	6096.16			0.97	13:	0.98	-6		
CH(24)	6098.51			0.99:	14:				
FeII(200)	6103.54	0.96	1:			0.99		0.98	-27:
DIB	6113.20					0.99		0.97	-12:
FeII(46)	6113.32								
NeI(1)	6143.06	0.97	2	0.94	16	0.97	-9	0.98	
FeII(74)	6147.74	0.84	2	0.99		0.95	-7	0.91	-26
FeII(74)	6149.25	0.84	2	0.99	11:	0.95	-8	0.91	-29
OI(10)	6155.98	0.90	1						
OI(10)	6156.77	0.85	1	0.96		0.94		0.94	-27:
OI(10)	6158.18	0.82	1	0.96	17	0.93	-9	0.93	-28
NeI(5)	6163.59			0.98	19				
FeII	6163.60	0.98	2						
PII(5)	6165.59	0.99							
FeII(200)	6175.16	0.94	1			0.97	-8:	0.96	-25
FeII(163)	6179.39	0.96	2			0.99	-10:	0.99	-29:
DIB	6195.96					0.92	-9	0.95	-12
FeII(162)	6199.19	0.98	2:					0.99	-26
DIB	6203.08					0.95	-9	0.96	
NeI(1)	6217.28			0.99					
AlII(10)	6231.75	0.97:				0.98	-8:	0.98	-29:
FeII	6233.53	0.98	1					0.99	
FeII	6233.76								
DIB	6234.76					0.99	-10		
DIB	6236.67					0.99	-7:		
FeII(74)	6238.39	0.83	2	0.98	17:	0.95	-9	0.92	-26
CrII(105)	6239.77	0.94							
FeII(74)	6239.91					0.98:		0.97:	
AlII(10)	6143.37	0.95	2:			0.98	-9	0.98	-26:
FeII(74)	6247.55	0.75	1	0.95	11:	0.90	-8	0.86	-26
FeII	6248.89	0.96	2						
NeI(5)	6266.50	0.98		0.98	15:	0.99	-9:		
DIB	6269.75					0.94	-7	0.96	-11
DIB	6283.85					0.82	-8	0.86	-14:
FeII(200)	6305.31	0.95	2			0.97	-7:	0.97	-26:
SII(19)	6305.48			0.96:					
SII(26)	6312.66			0.97	15:	0.98	-9		
FeII	6317.39	0.97	1:						
FeII	6317.99	0.91	1					0.95	-27:

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
FeII(199)	6331.96	0.94	1			0.97	-6:	0.97	-27
NeI(1)	6334.43	0.99	2:	0.96	17:	0.98	-6:		
SiII(2)	6347.10	0.43	2	0.62	15	0.51	-5	0.51	-24
FeII	6357.17	0.97	1					0.98	
DIB	6367.25					0.99	-8:		
FeII(40)	6369.46	0.97	1					0.98:	
SiII(2)	6371.36	0.49	2	0.68	15	0.57	-5	0.56	-25
FeII	6375.79	0.99	1					0.99	
DIB	6375.95					0.97	-6	0.98	-12
DIB	6379.29					0.93	-9	0.96	-12
NeI(3)	6382.99	0.99	2	0.96	11:	0.98	-10	0.99	-27:
FeII	6383.72	0.95	3						
SII(19)	6384.89					0.99	-8:		
FeII	6385.45	0.97	1						
FeII	6386.71	0.98	2			0.99:	-8:	0.99	-25:
SII(19)	6397.36			0.98:					
SII(19)	6397.99								
NeI(1)	6402.25	0.96	1	0.90	17	0.94	-8	0.97	-25
FeII(74)	6407.25	0.98	2:			0.99	-7:		
SII(19)	6413.71			0.99		0.99:			
FeII(74)	6416.93	0.87	1			0.97	-6:	0.94	-25
DIB	6425.70					0.98	-9:		
FeII	6425.74	0.99	2:						
FeII(40)	6432.68	0.92	2			0.99:		0.97	-25:
FeII(199)	6433.81	0.99	3:					0.98:	
FeII	6442.95	0.96	1:						
DIB	6445.20					0.98:		0.98	
FeII(199)	6446.41	0.94	3:			0.98:		0.97	-28
OI(9)	6453.60	0.99	1:						
OI(9)	6454.45	0.96	2			0.99	-8:		
OI(9)	6455.98								
FeII(74)	6456.38	0.72	2	0.95	9:	0.89	-9	0.82	-27
NII(8)	6482.05			0.96	14:				
FeII(199)	6482.20	0.90	2			0.95:	-7:	0.94:	-27:
FeII	6491.25	0.98							
FeII	6491.67								
NeI(3)	6506.53	0.97	1:	0.95:	16:	0.98:	-6:		
FeII(40)	6516.08	0.86:				0.97:	-6:		
FeII	6541.37	0.98							
MgII(23)	6545.97	0.87	2	0.99		0.94	-9	0.96	-27:
H α	6562.81	0.39	0	0.86	-26	0.66	-21	0.98	-187
				1.06	105	1.05		0.55	-107
								1.68	9
FeII	6571.43		3:						

Продолжение на следующей странице

Таблица 22 — Отождествление линий, их остаточные интенсивности и гелио-центрические лучевые скорости в спектрах η Leo, β Ori, HD 21389, HD 12953 (продолжение)

Линия (мульти- плет)	λ (Å)	η Leo		β Ori		HD 21389		HD 12953	
		r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)	r (отн.ед)	V_r (км/с)
CII(2)	6578.05		1:	0.83	18	0.93	-7	0.98	-27
CII(2)	6582.88			0.88	17	0.95	-6	0.98	-25:
FeII	6586.70	0.98:				0.99:			
NeI(6)	6598.95	0.99:							
FeII	6600.03	0.99:	1:						
DIB	6613.56					0.86	-9	0.93	-13
FeII(210)	6627.24	0.97	2					0.97	-25
SiII	6660.52	0.97	2	0.98	15			0.98:	
DIB	6660.64					0.94:	-9	0.97	-10
SiII	6671.88	0.97	2	0.97	13	0.97	-6	0.98	
FeII(210)	6677.33	0.97	1						
HeI(46)	6678.15	0.91	2	0.68	18	0.85	-8	0.90	-25
FeII	6679.74	0.99	1:						
DIB	6699.24					0.97	-6:		
FeII	6708.89	0.98	2:						
CII(14)	6779.93			0.99:					
CII(14)	6780.61								
CII(14)	6783.90			0.98:					
CII(14)	6791.47			0.99:					
FeII	6862.51	0.98	2						
FeII	6922.02	0.94	2			0.90:			
NeI(1)	7032.41			0.95:	15:				
AlII(3)	7042.08	0.87	1			0.90	-9	0.92:	-29:
AlII(3)	7056.71	0.89				0.95:	-10:	0.94	
AlII(3)	7063.68	0.95:							
HeI(10)	7065.32	0.93	2	0.82	16:	0.92:		0.96:	-26:
NI(3)	7423.64	0.87	2			0.97:	-9		
NI(3)	7442.39			0.96				0.89	-30
FeII(73)	7462.39	0.89	3			0.95		0.95	-23:
NI(3)	7468.31	0.74	2	0.95	16:	0.94	-7	0.85	-27
FeII	7495.63			1.02	17:	1.02	-4:		
FeII	7506.53			1.01:		1.02	-8		
FeII	7513.17	0.97	2	1.04	18:	1.03:	-8		
FeII(72)	7533.36	0.96							
KI(1)	7664.87						-12:		
KI(1)	7698.97	0.97	2	0.99:		0.82	-13	0.69	-12
FeII(73)	7711.71	0.87	3			0.97	-7	0.95	-23:
FeII	7731.68			1.02:		1.01	-9		
FeII	7755.55					1.01:	-6:		
OI(1)	7771.94	0.42	3	0.67	14	0.57	-5	0.54	-24
OI(1)	7774.17	0.46	3	0.66:		0.58:		0.53	
OI(1)	7775.39	0.49	2					0.53	

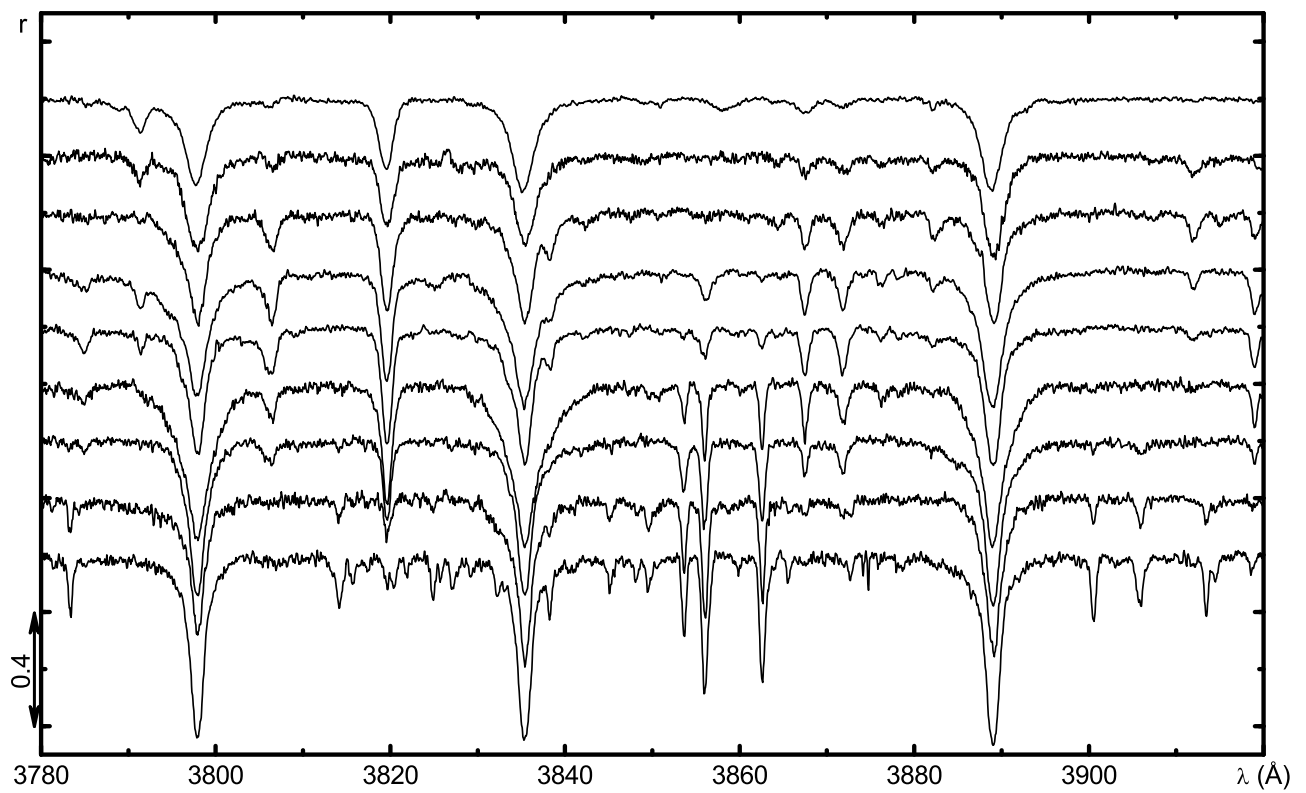
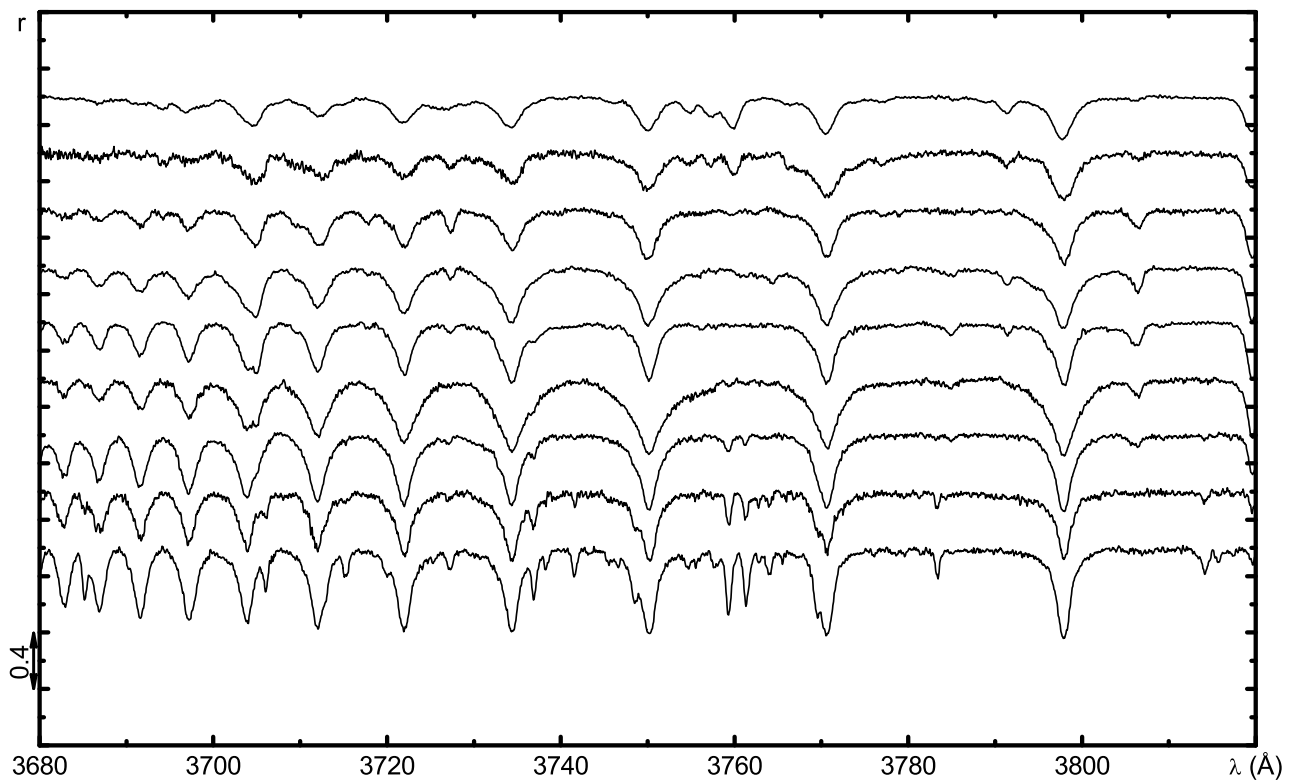
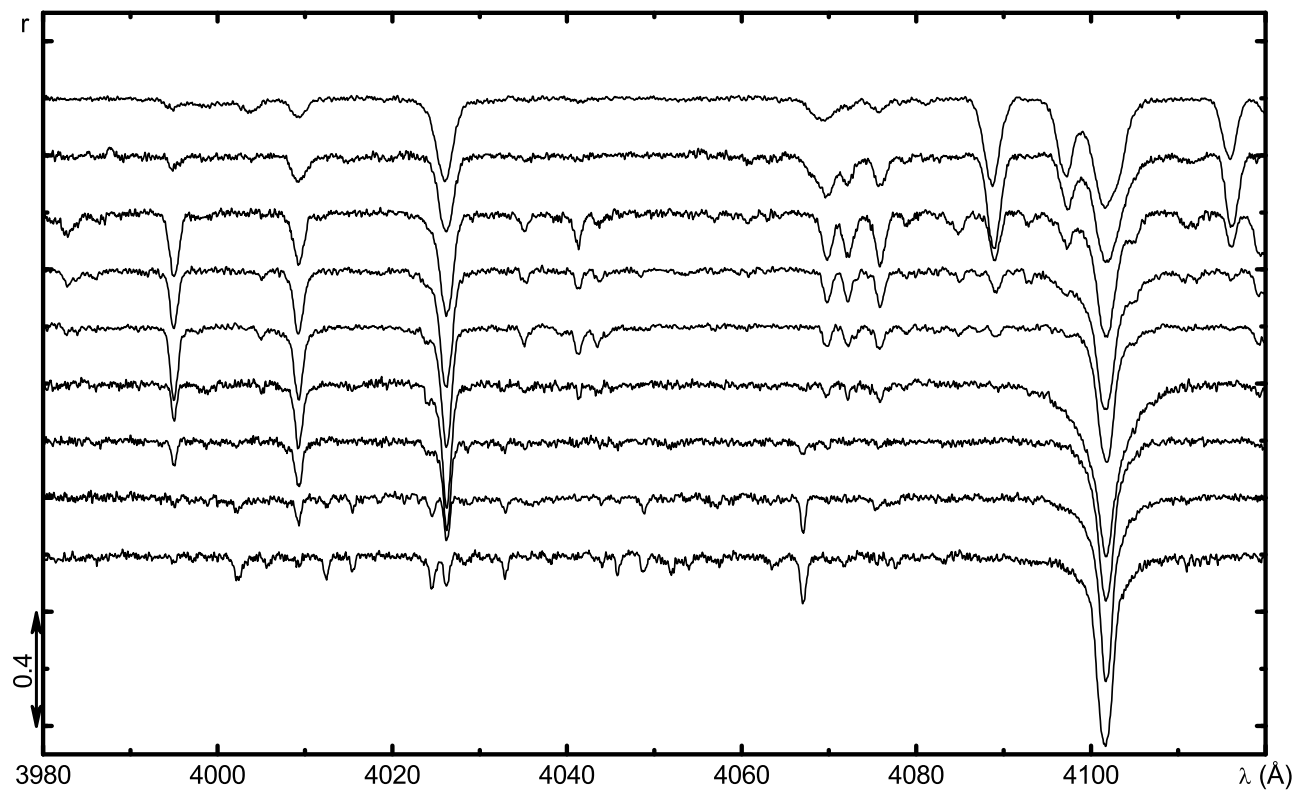
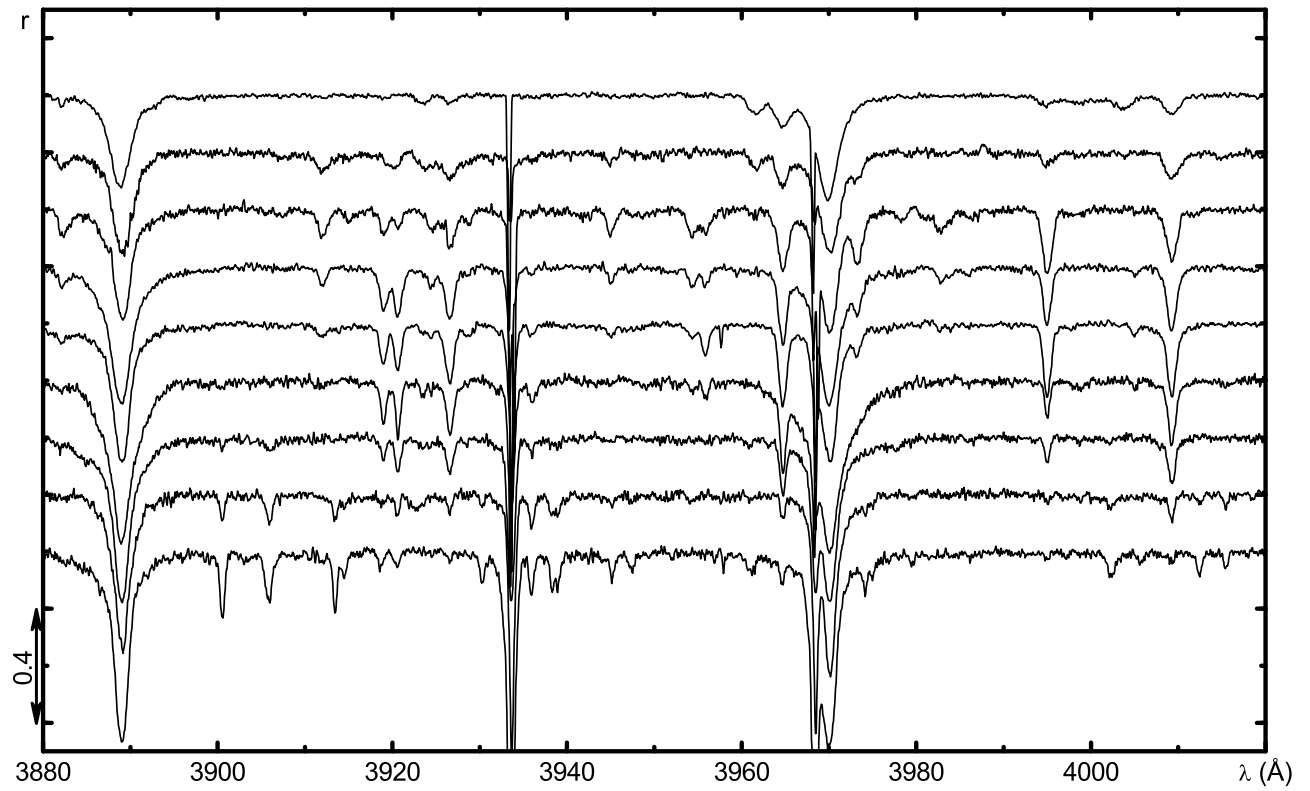


Рисунок А.1 — Зависимости $r(\lambda)$ для сверхгигантов O9.5–A1

Рисунок А.1 — *Продолжение*

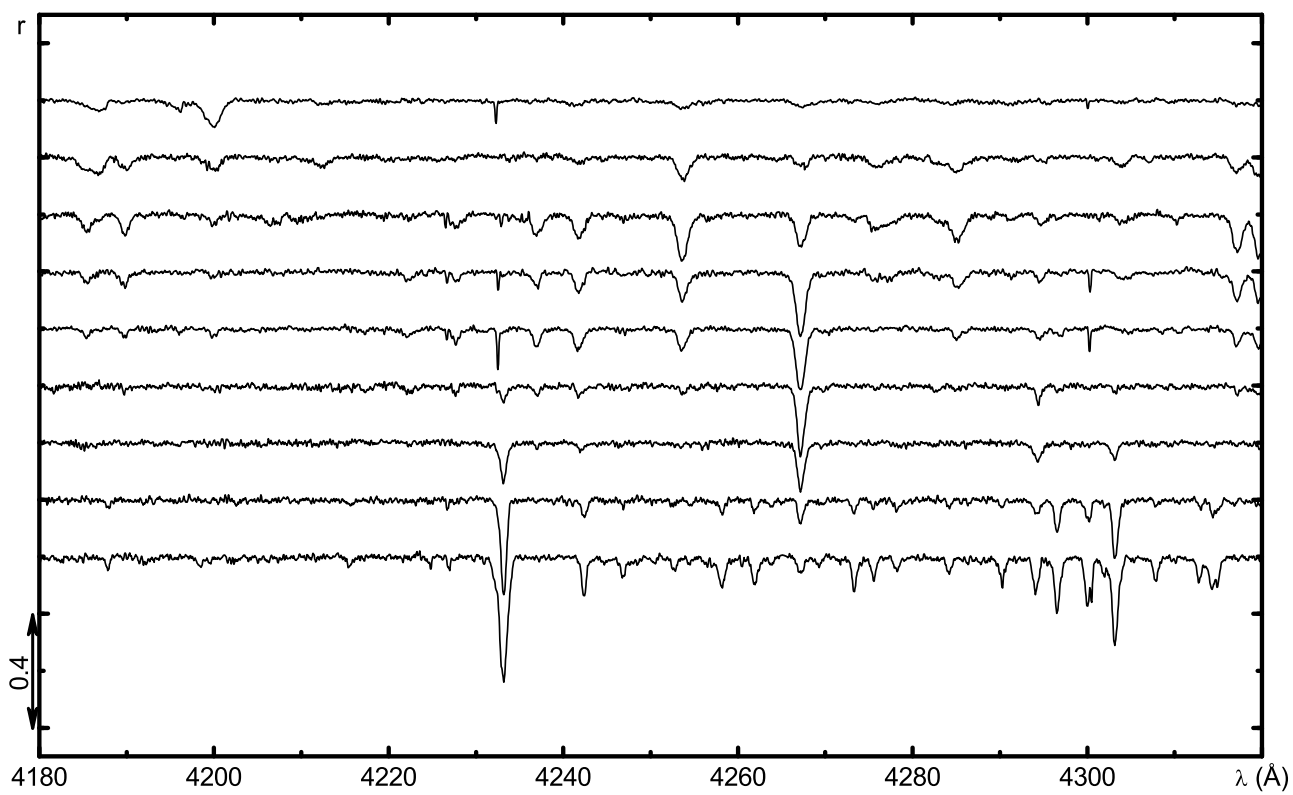
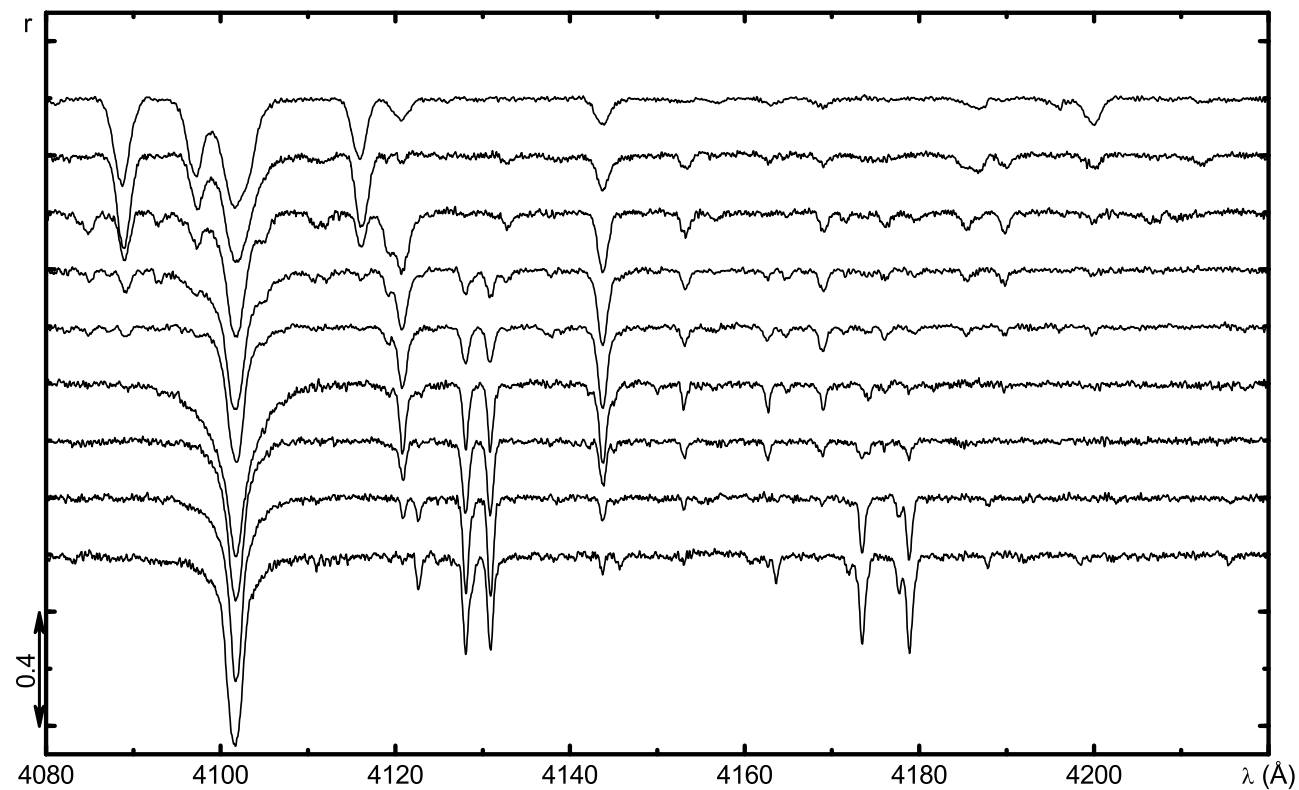
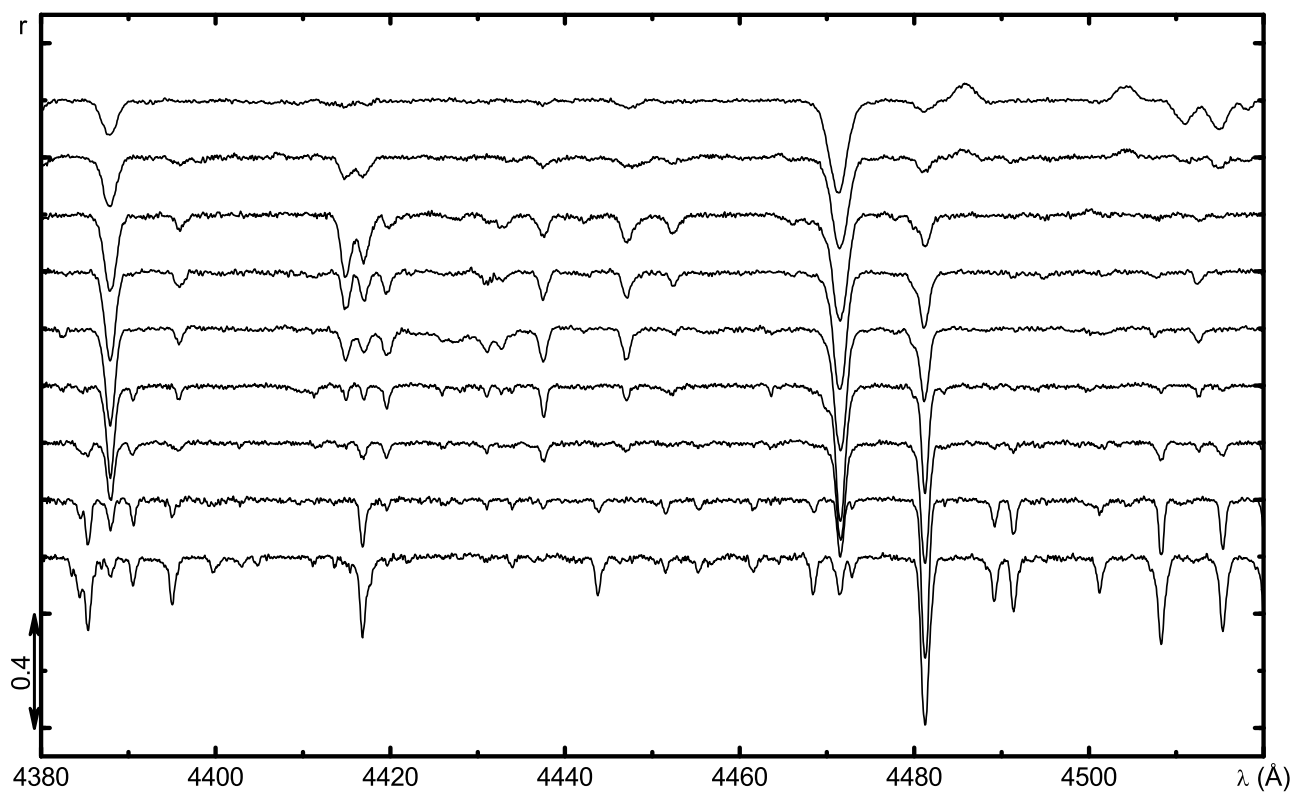
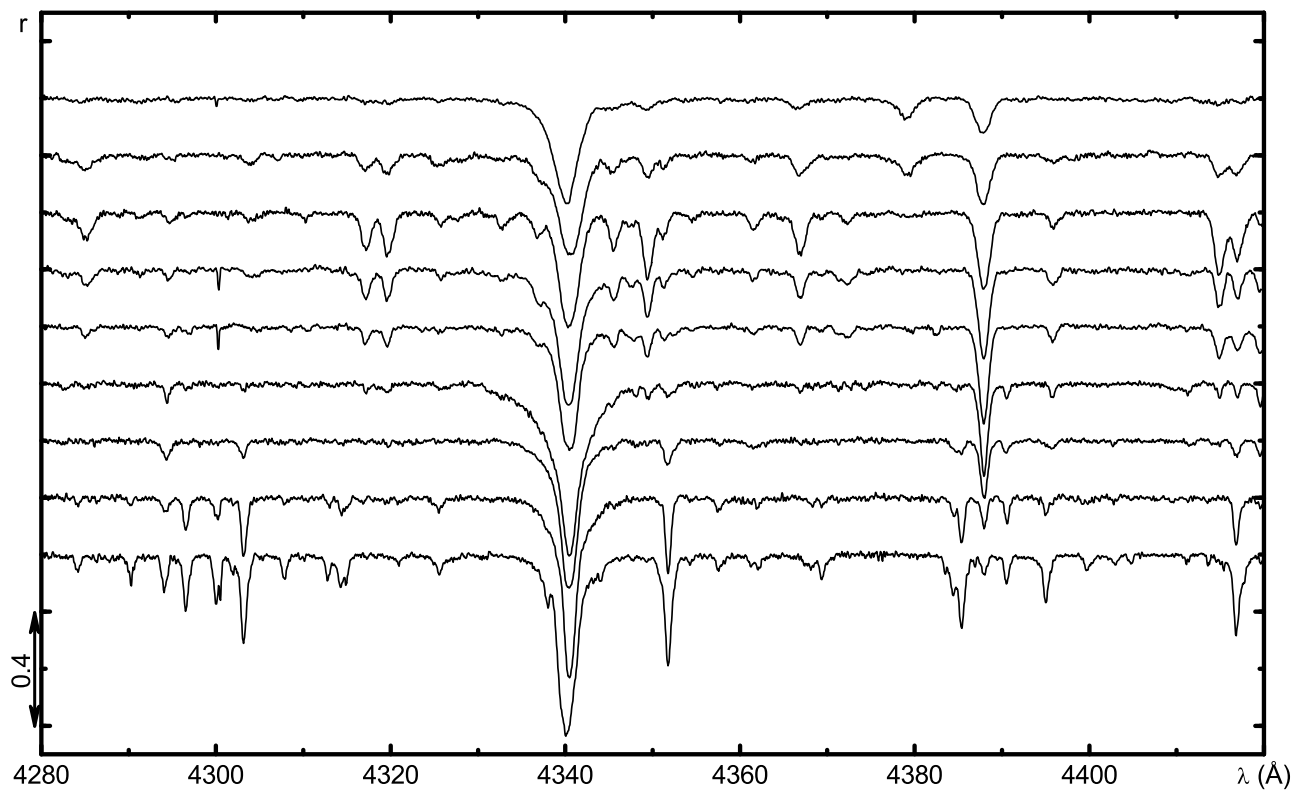
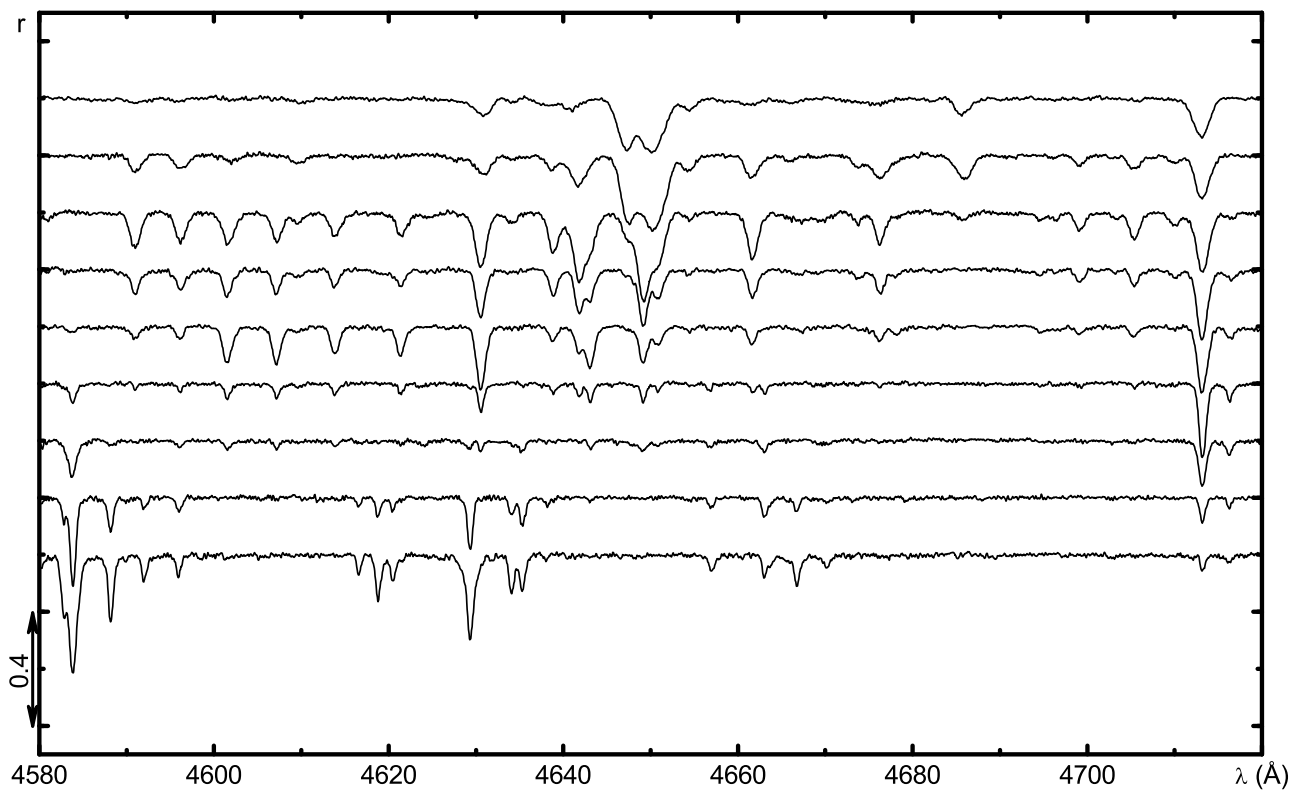
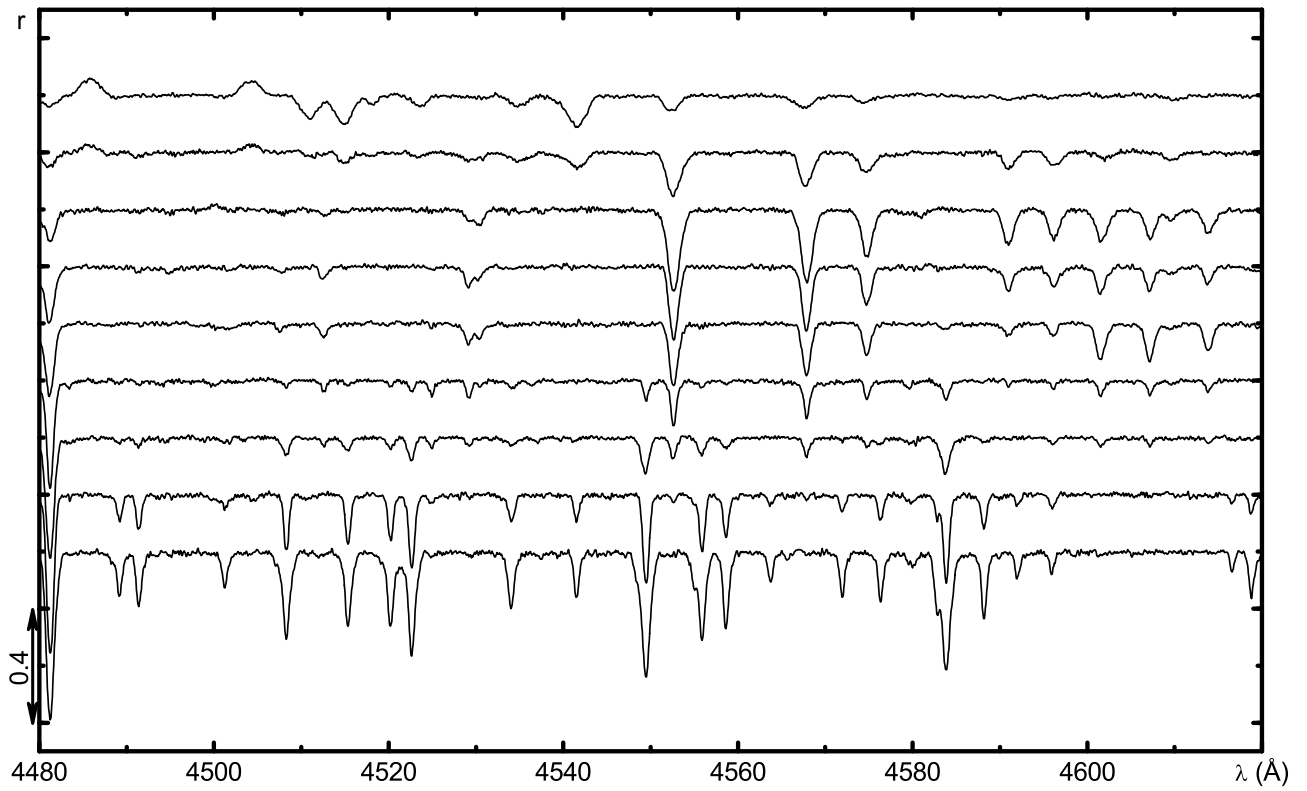


Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

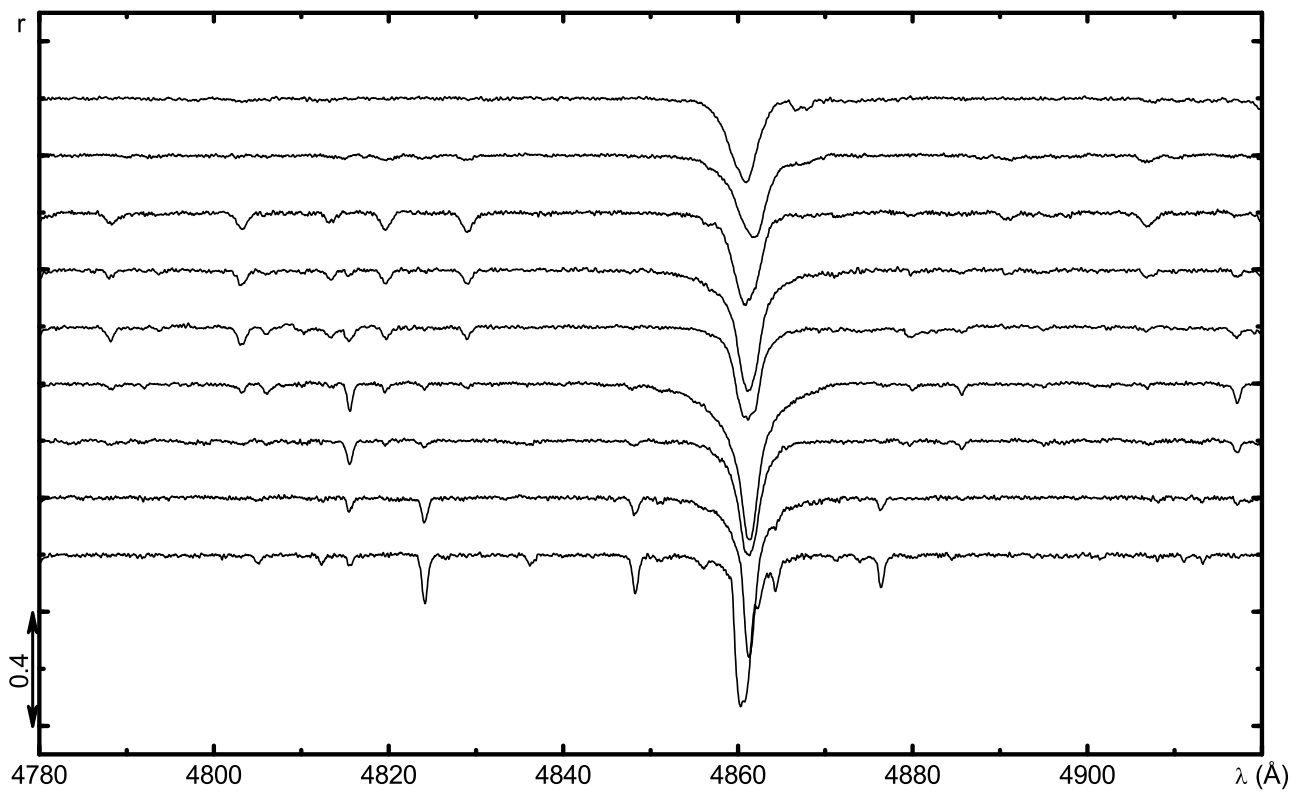
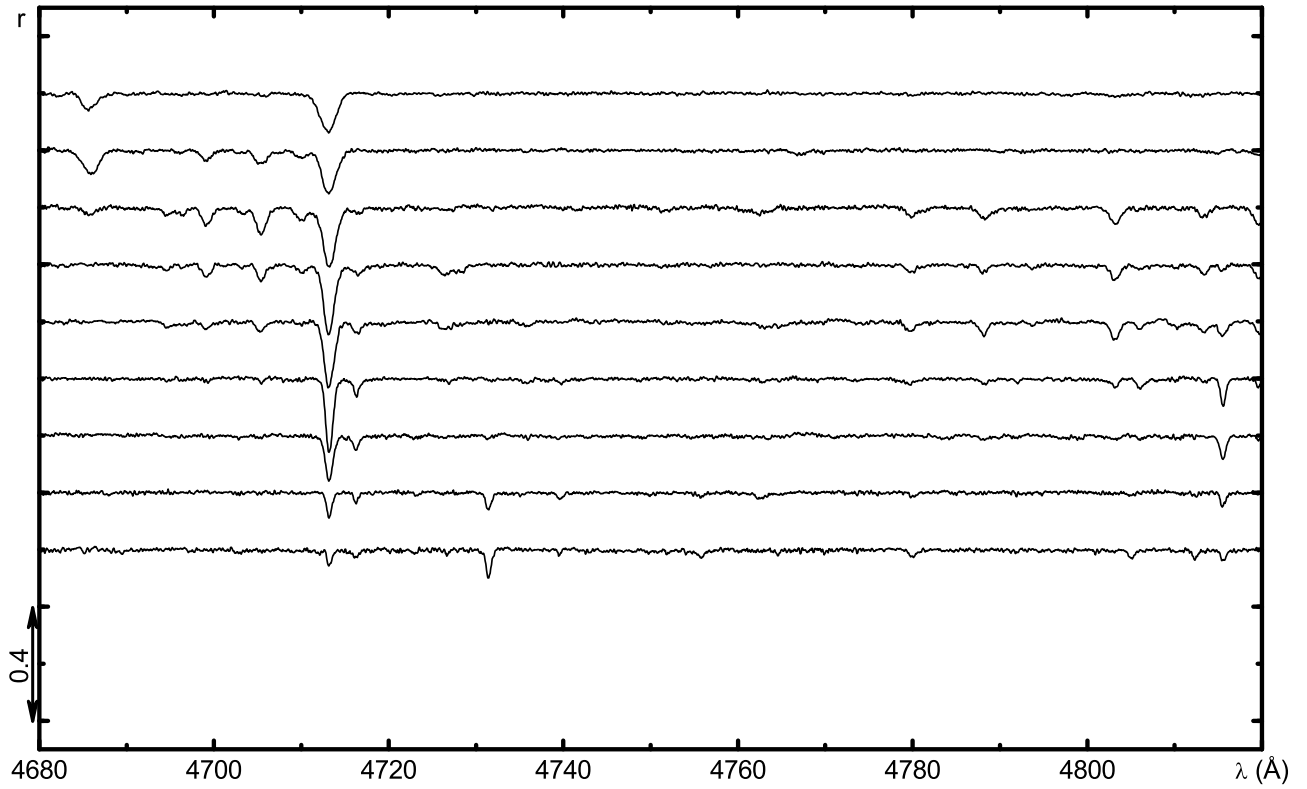
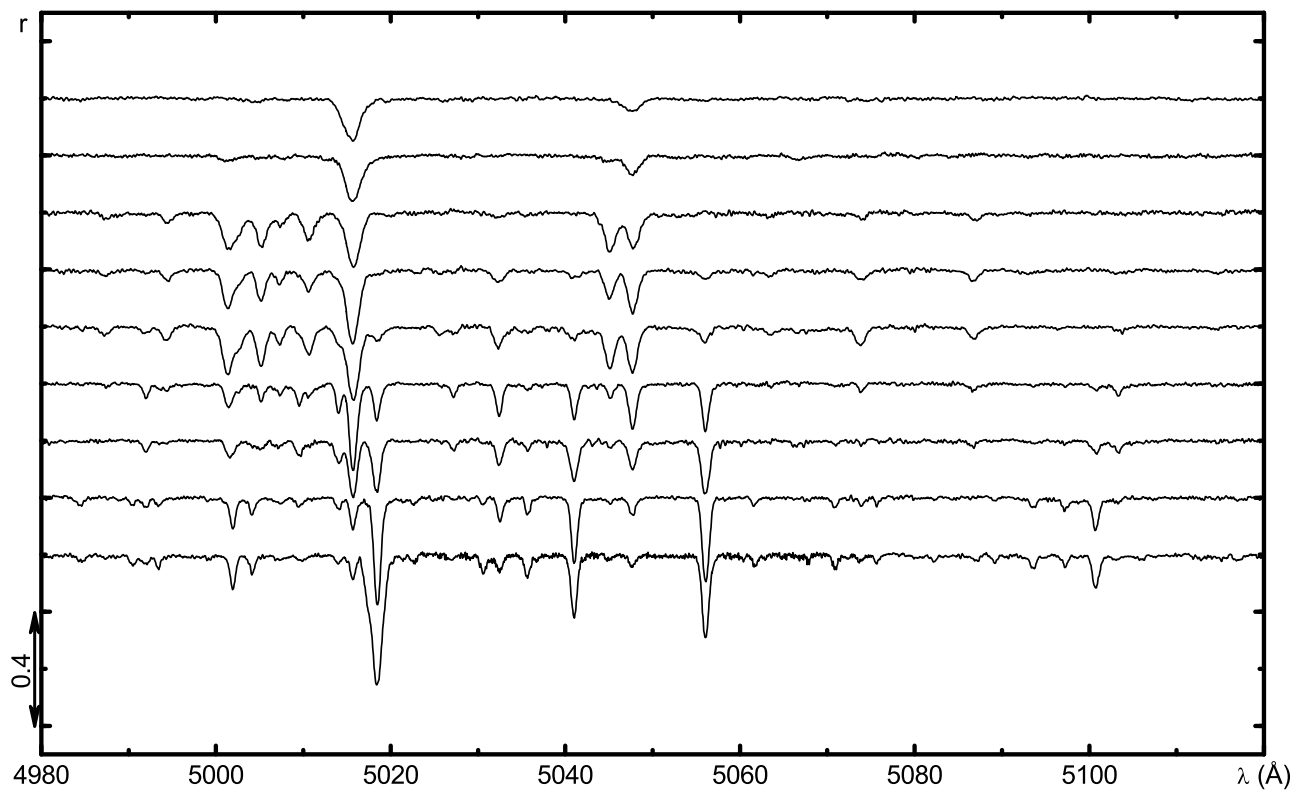
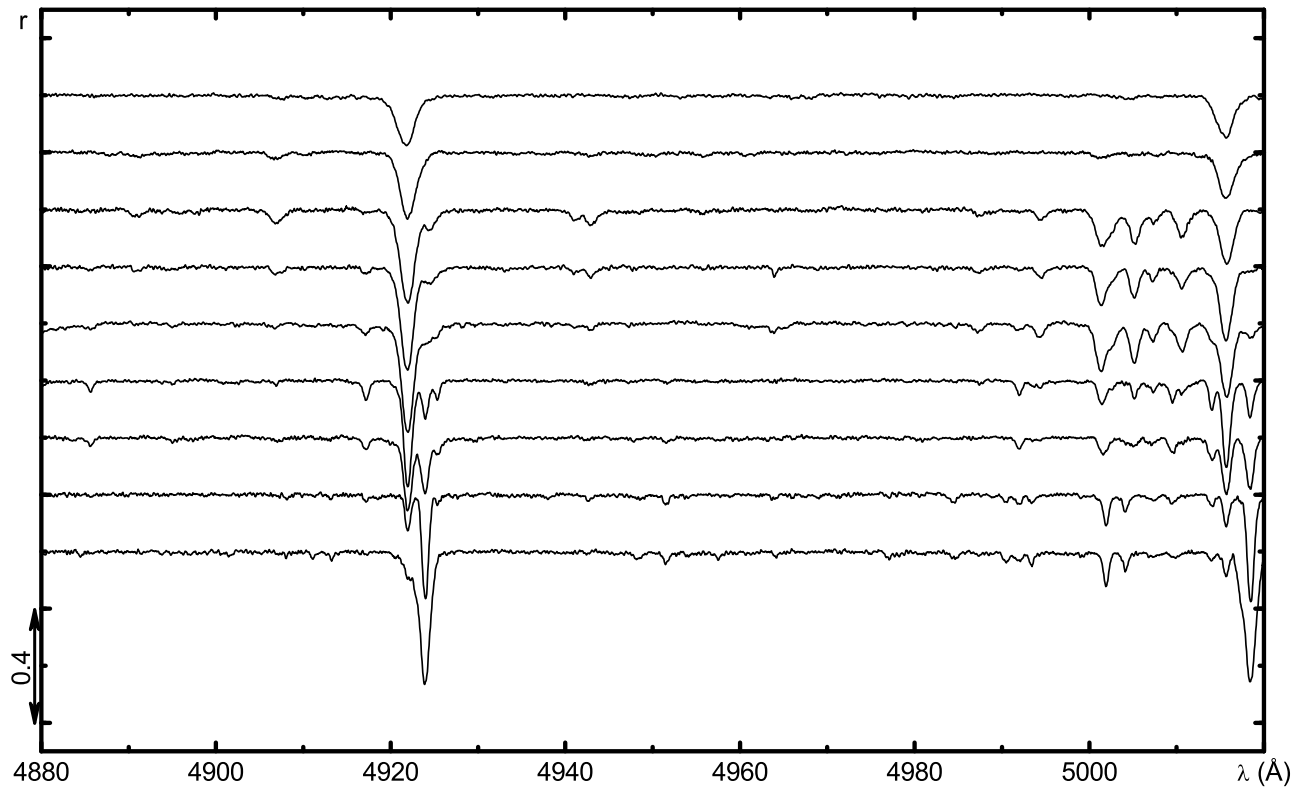
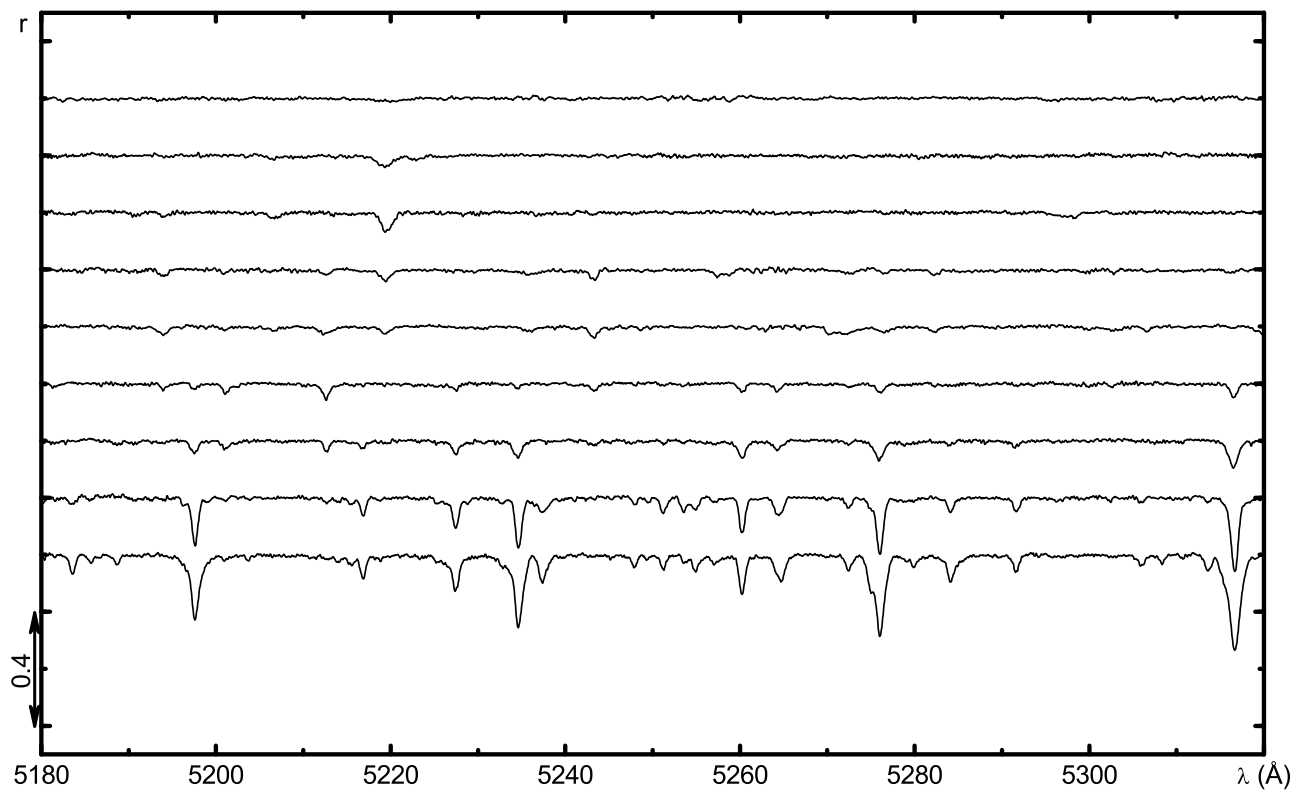
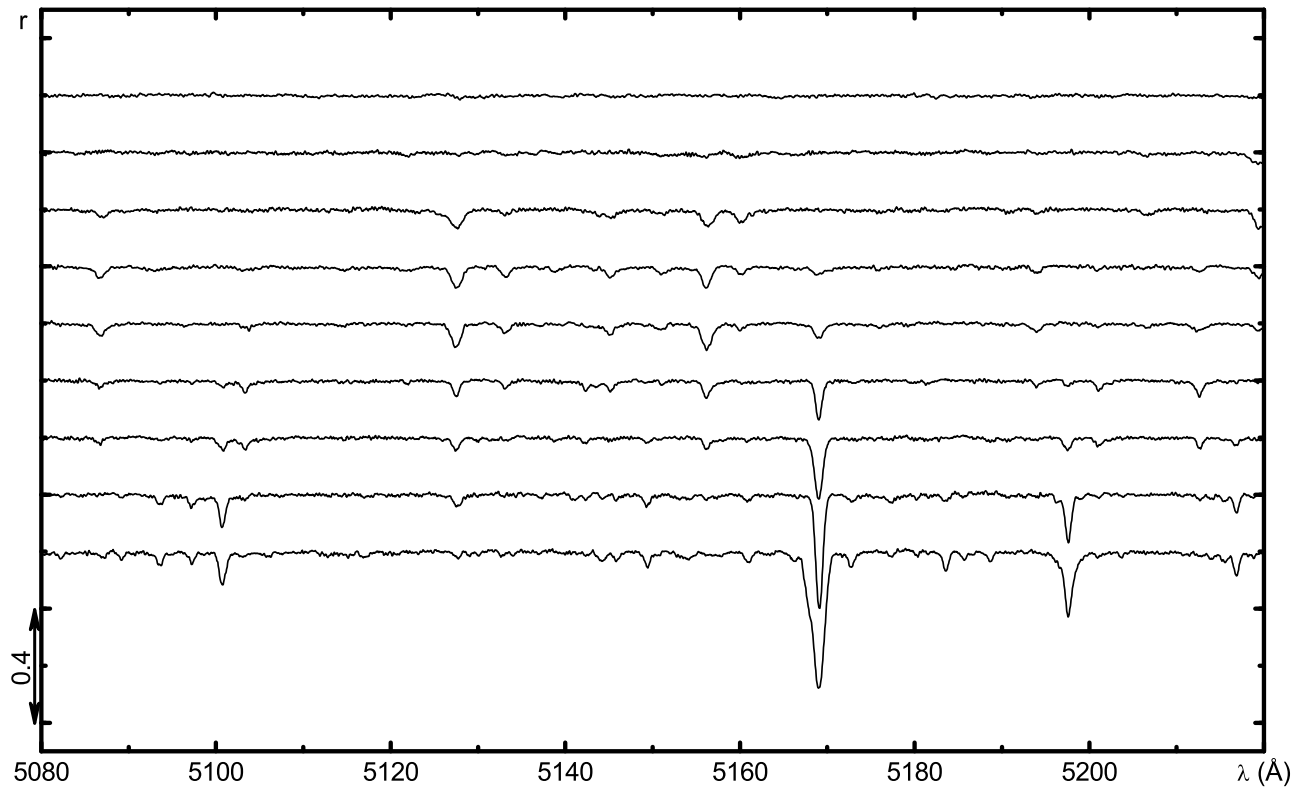
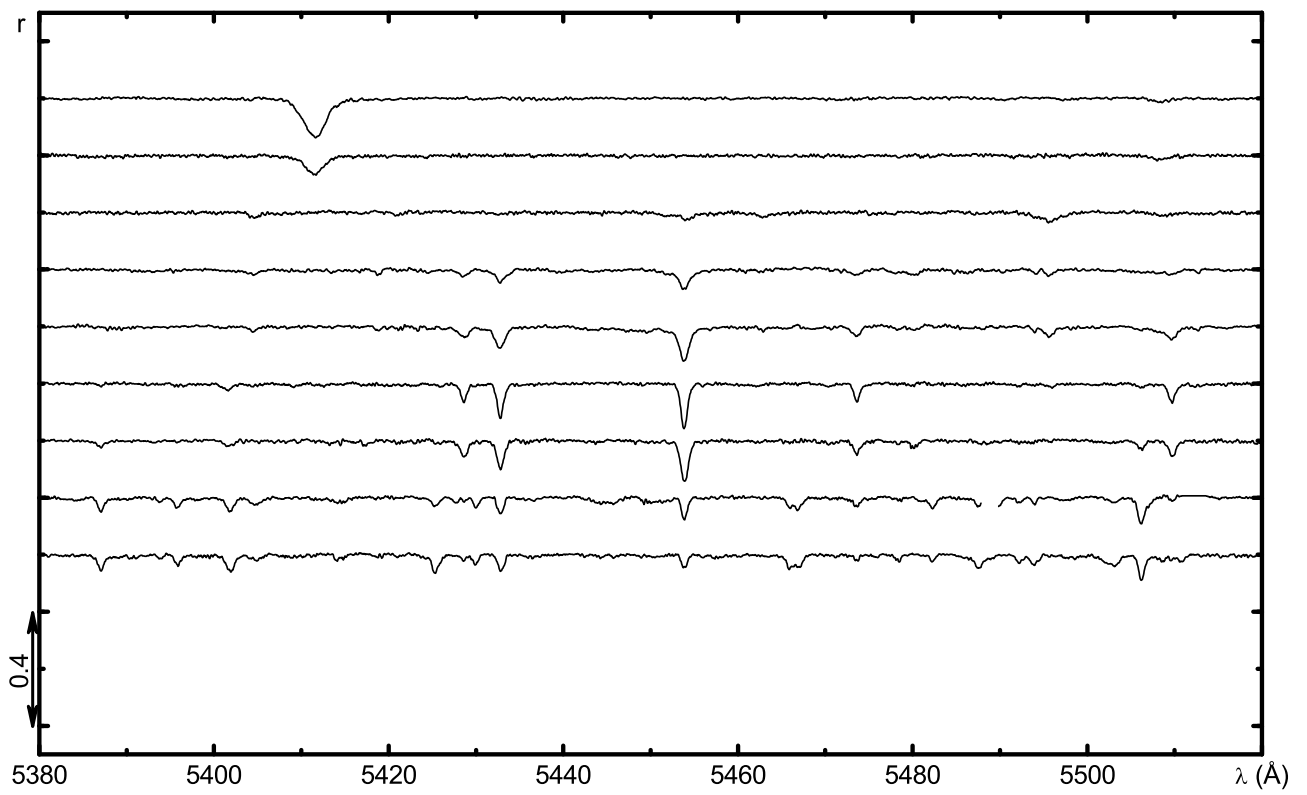
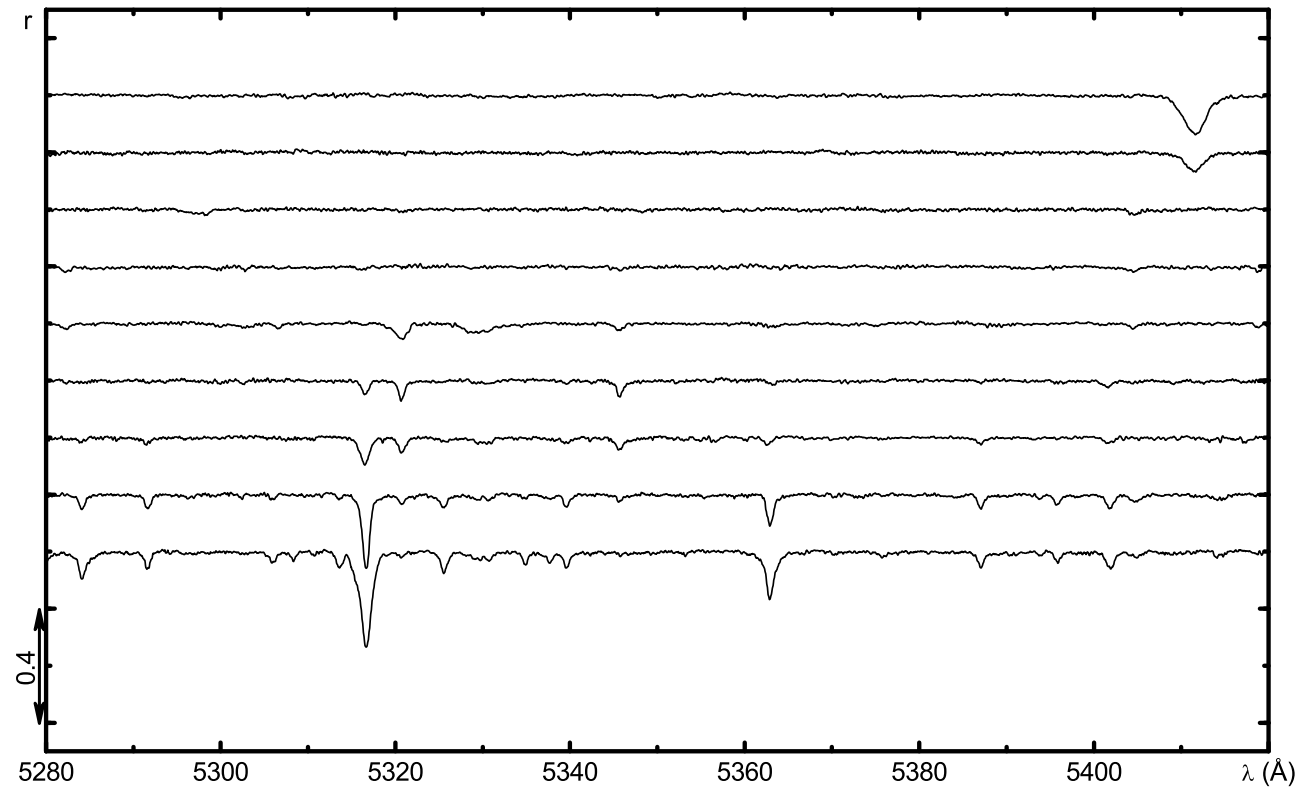
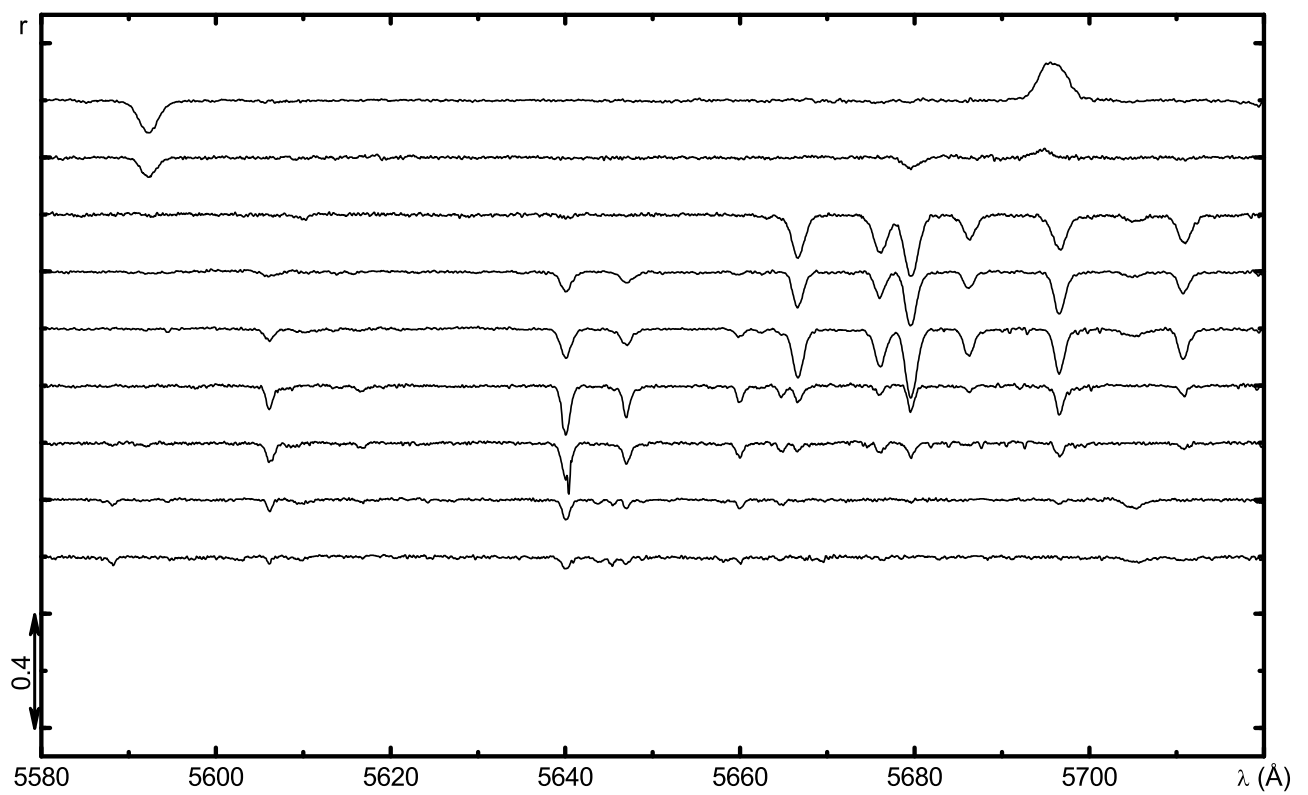
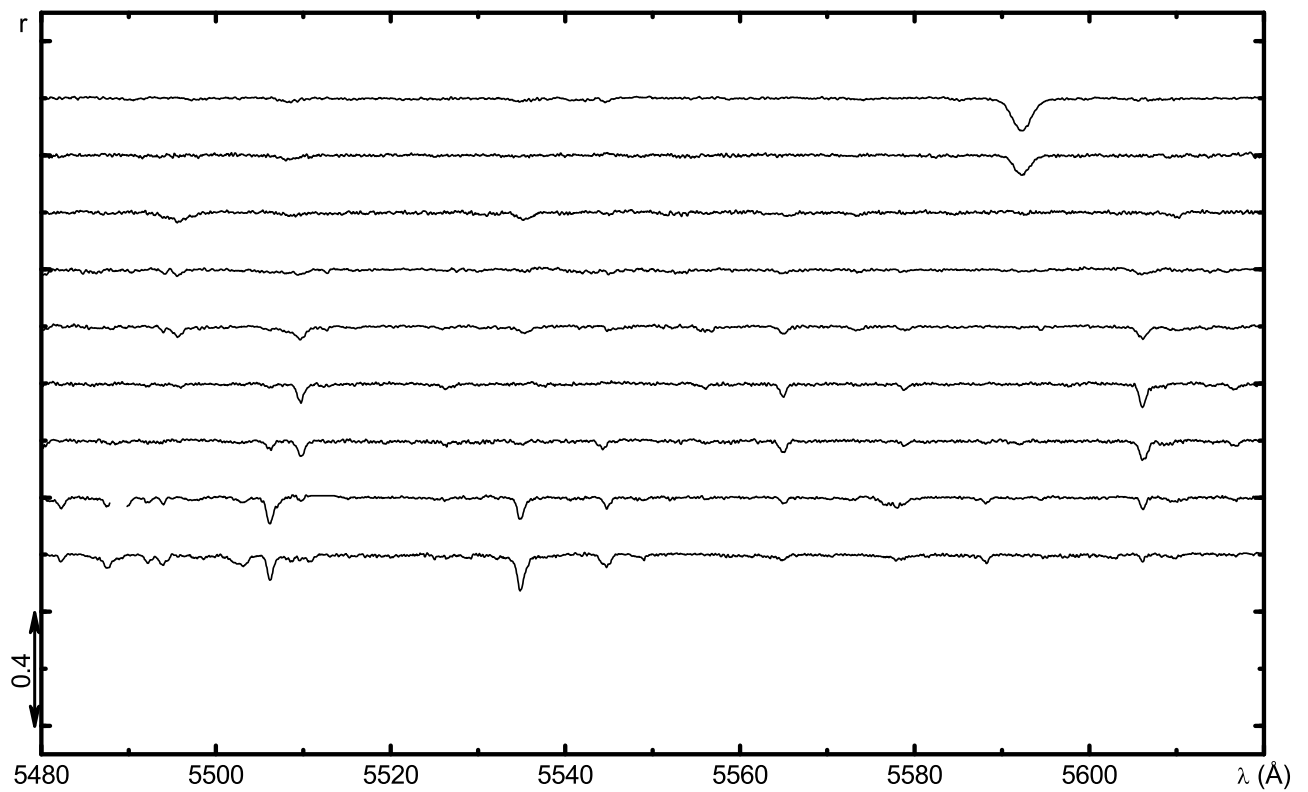


Рисунок А.1 — Продолжение

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

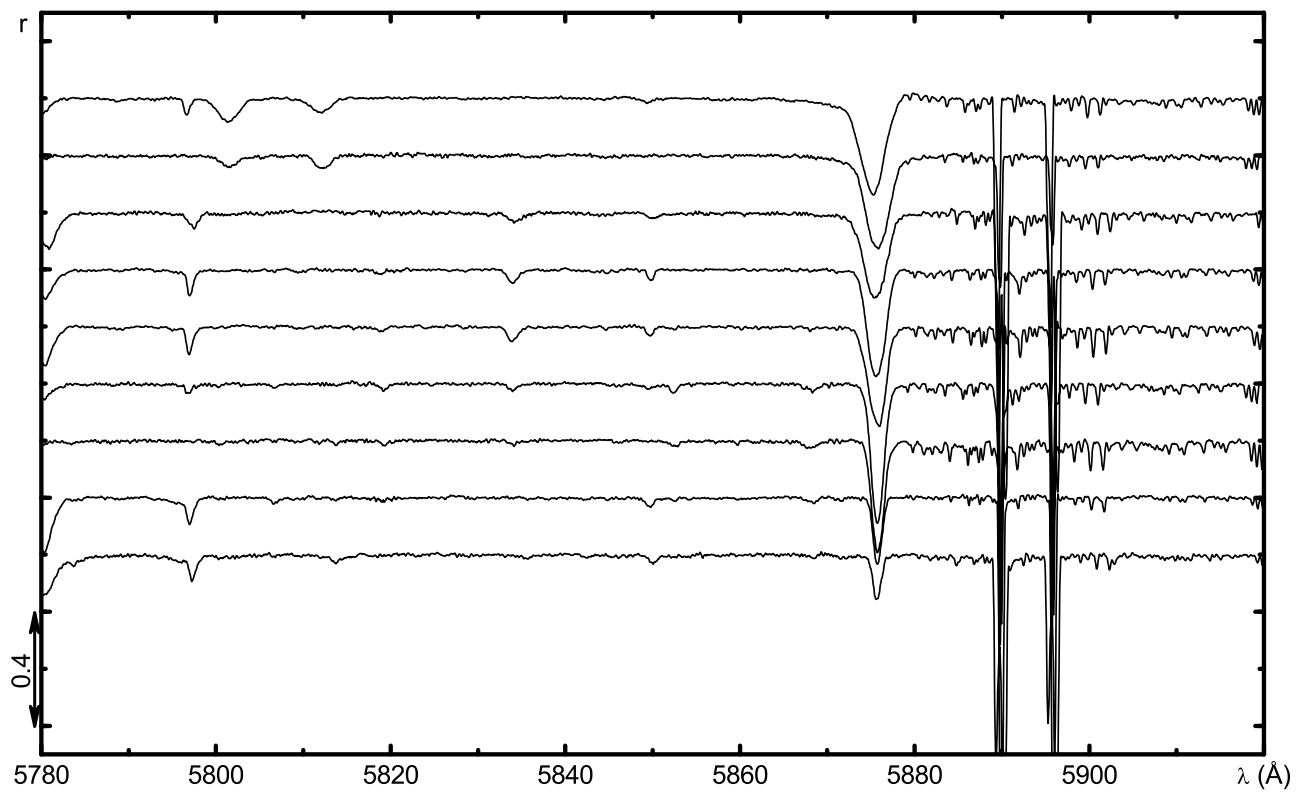
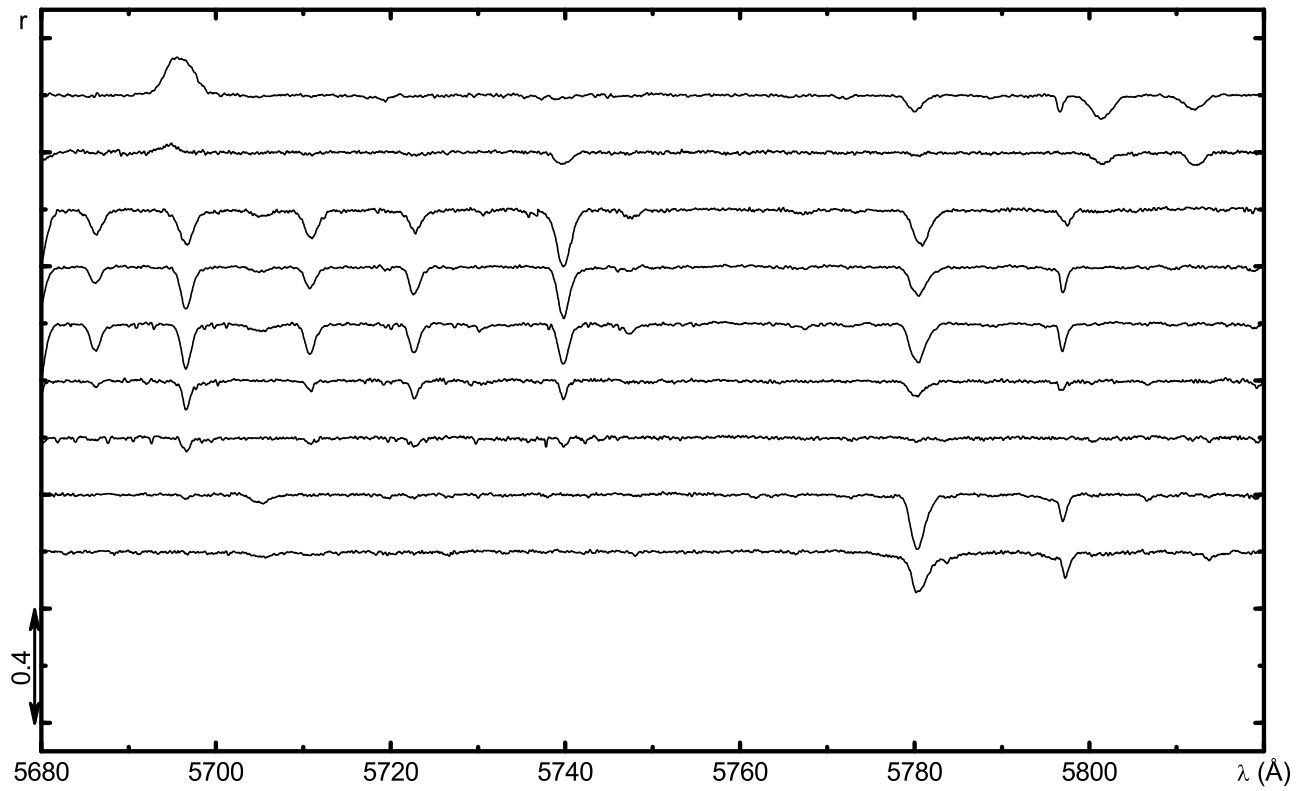
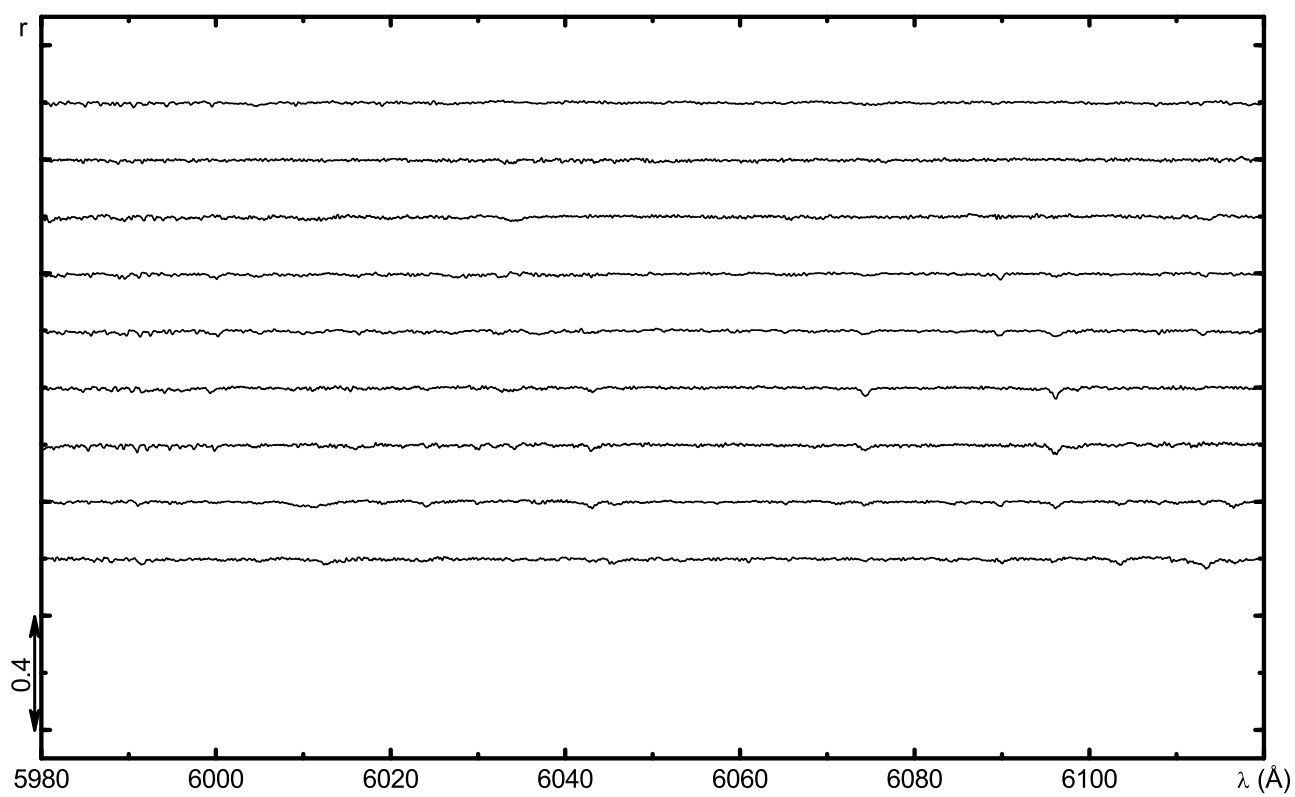
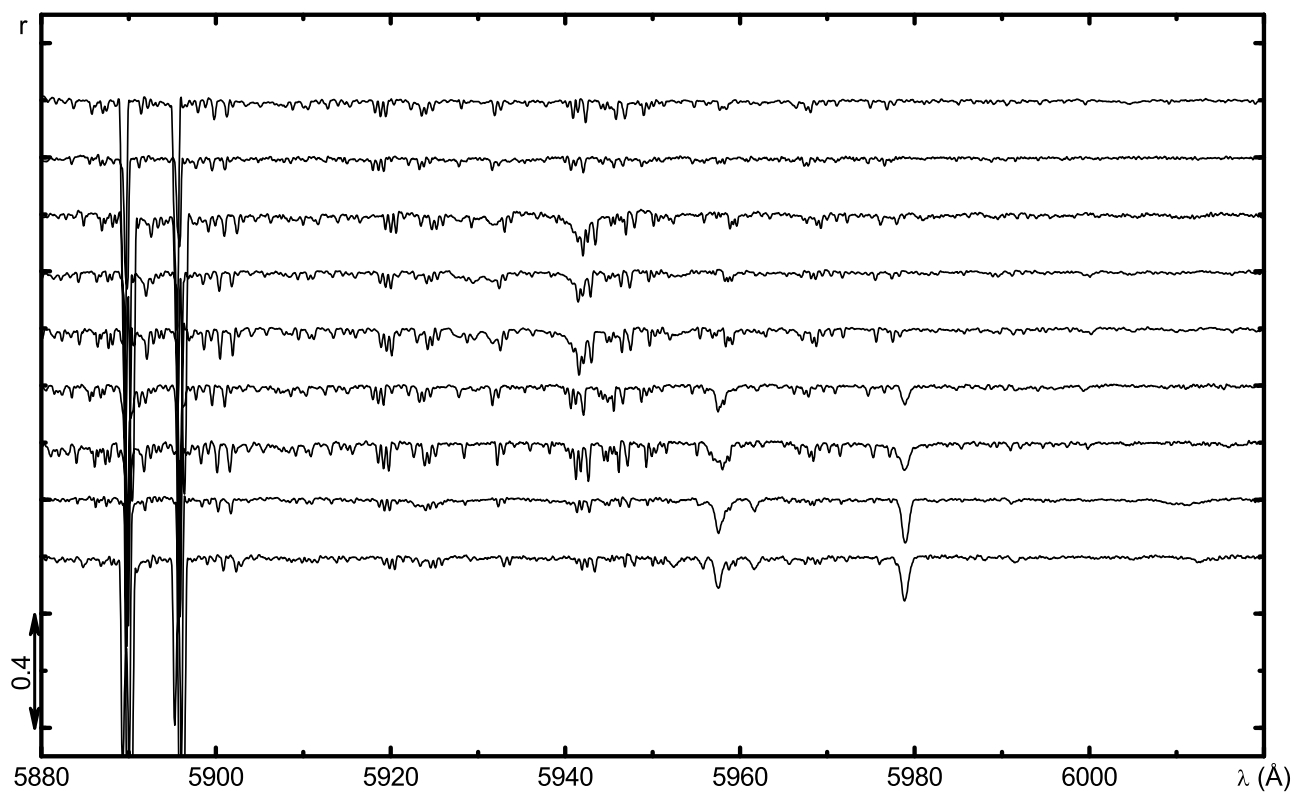
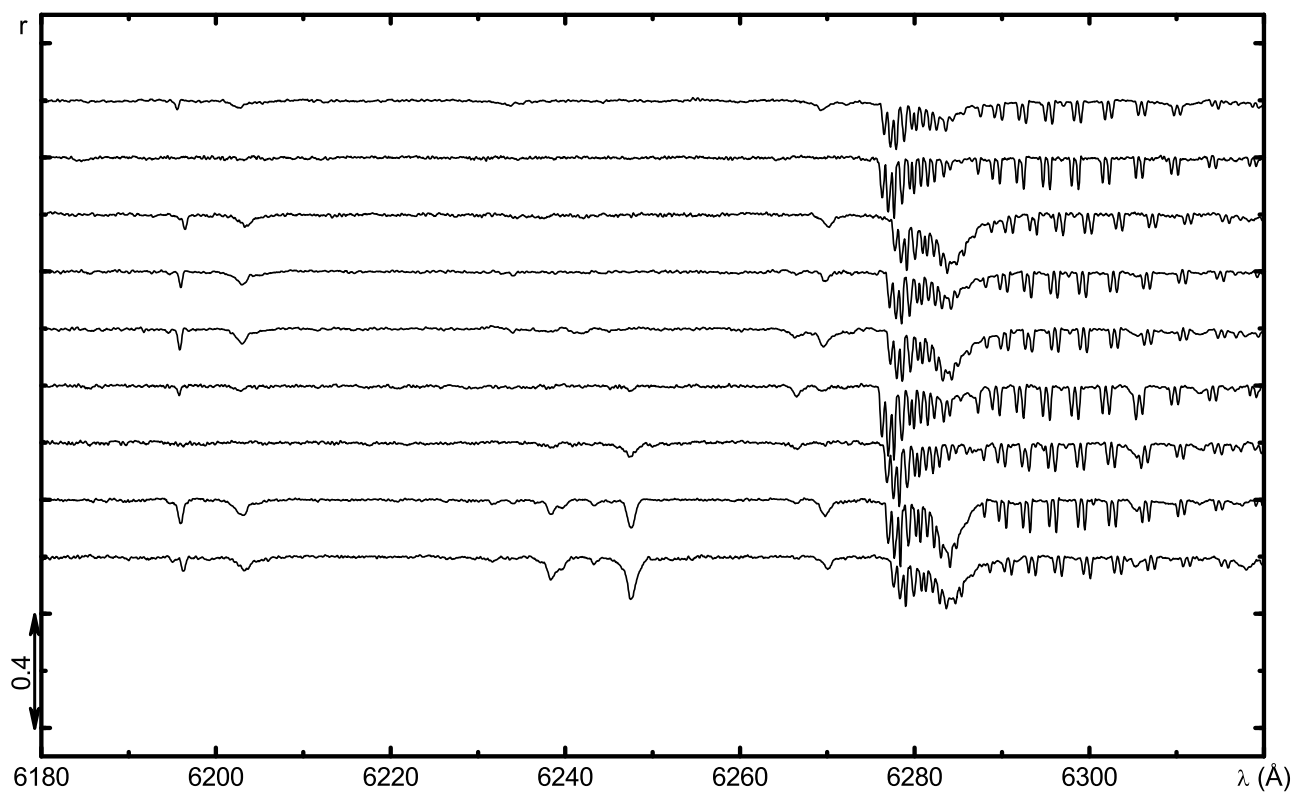
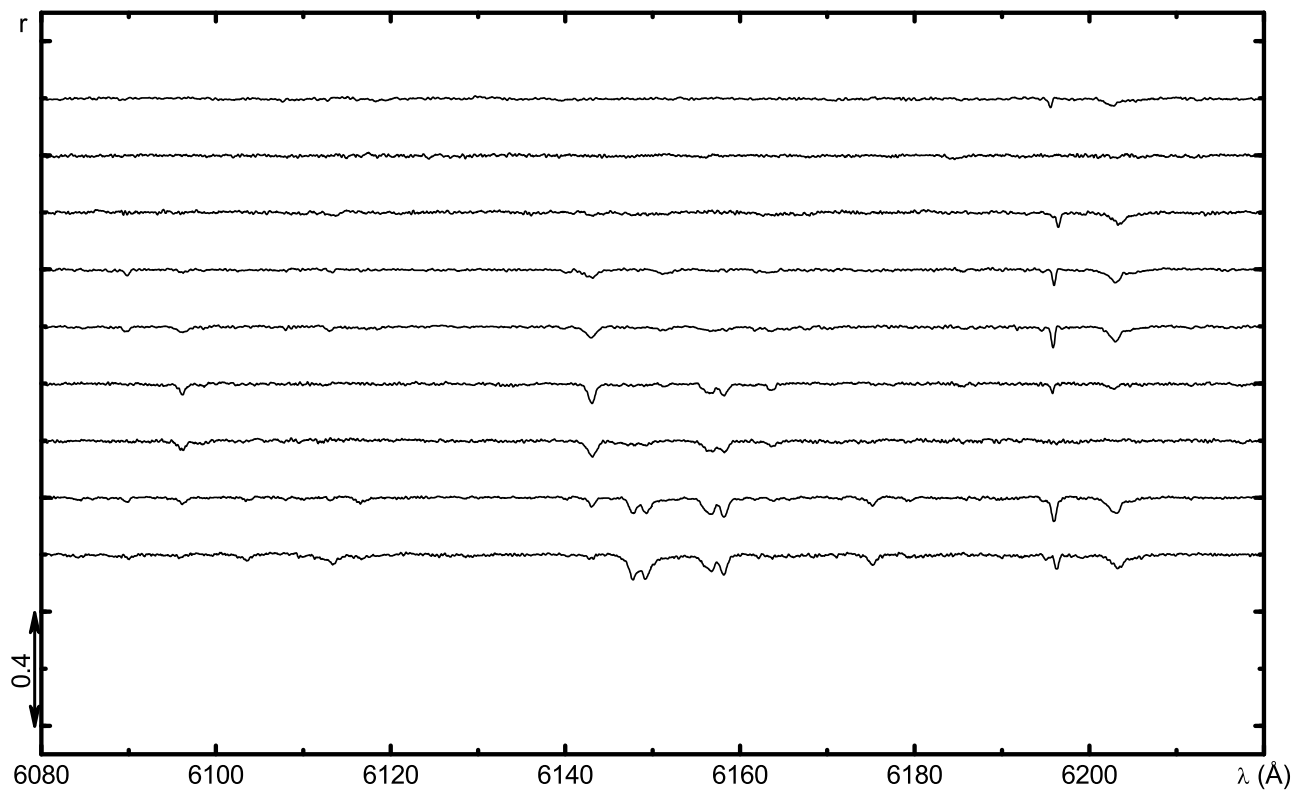
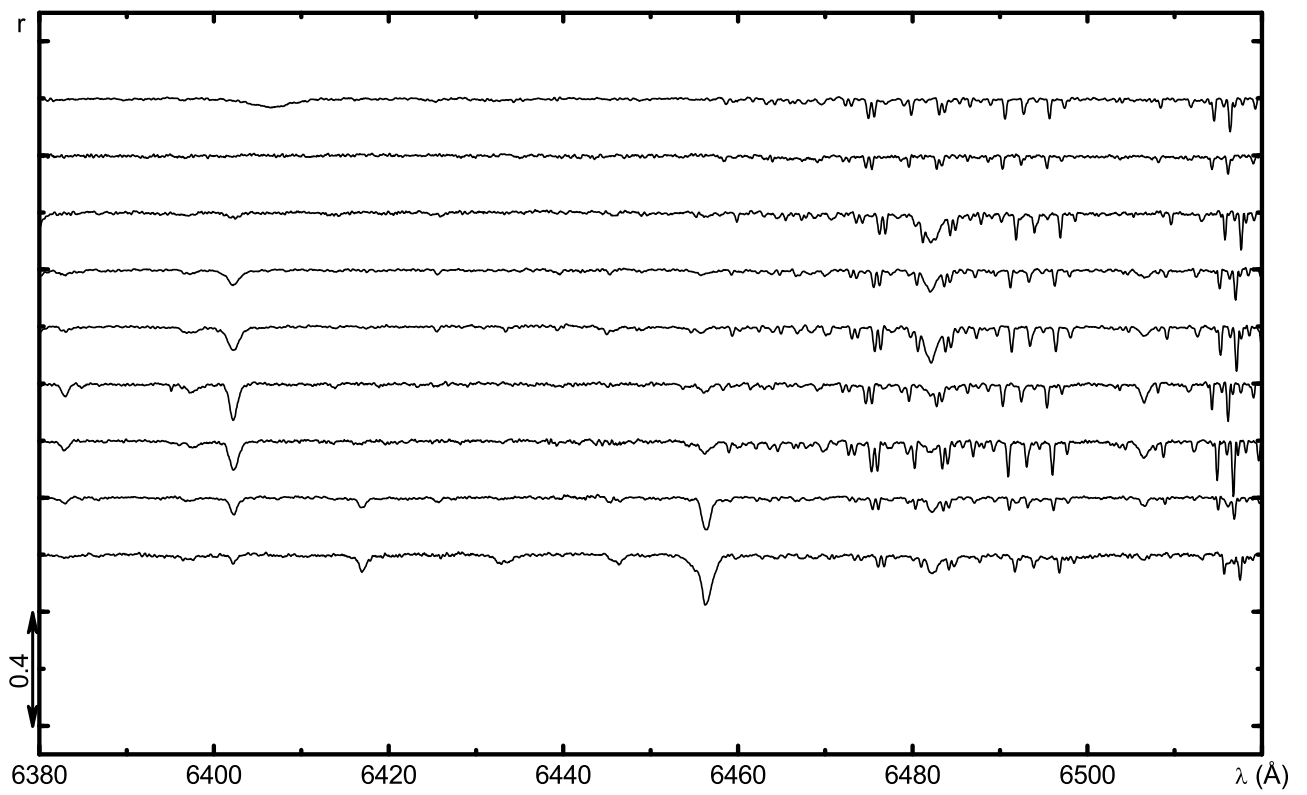
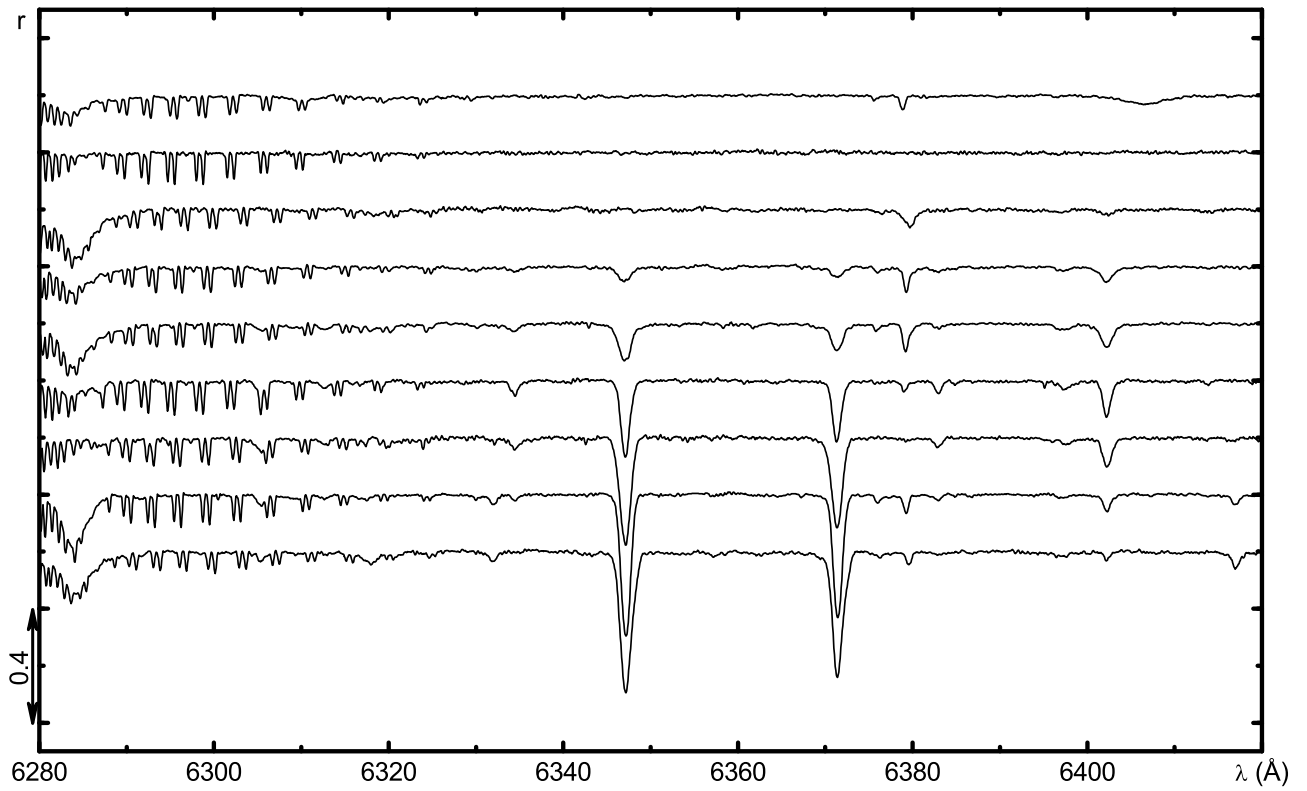
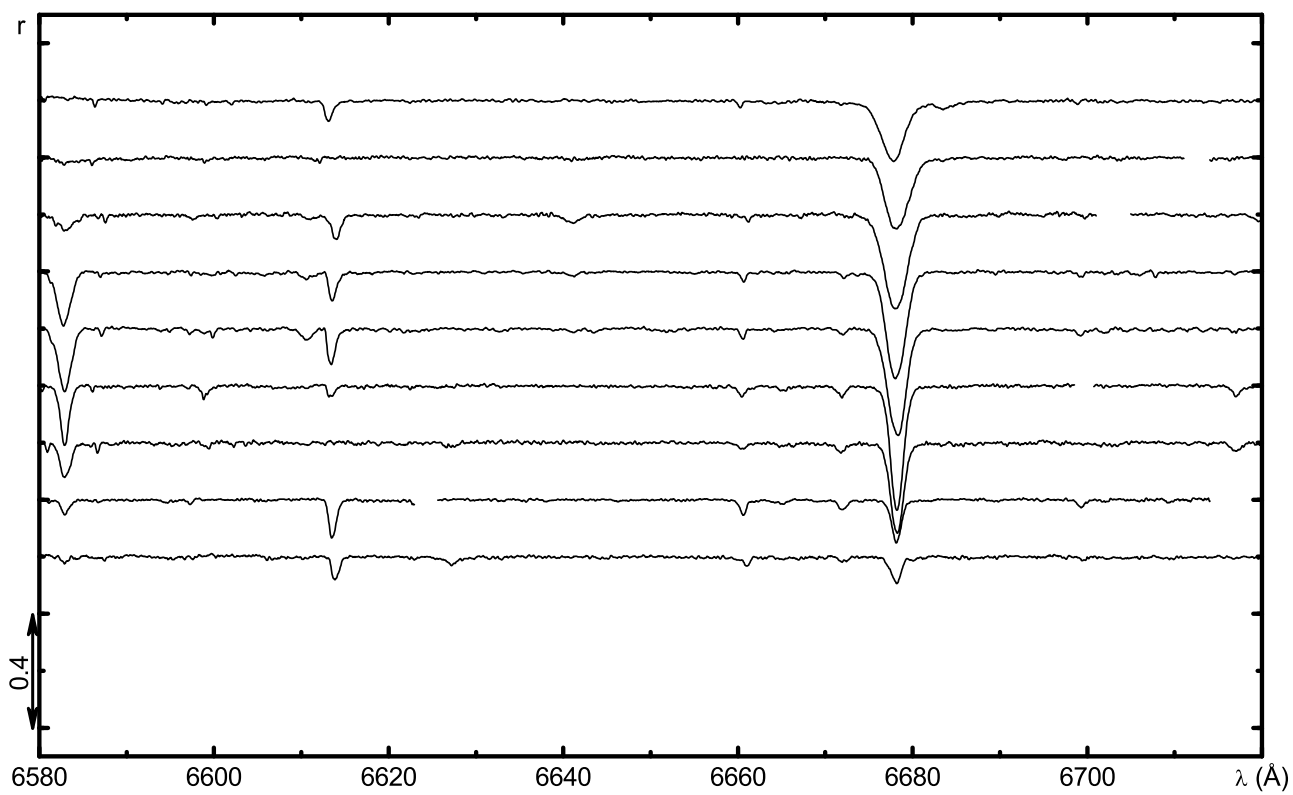
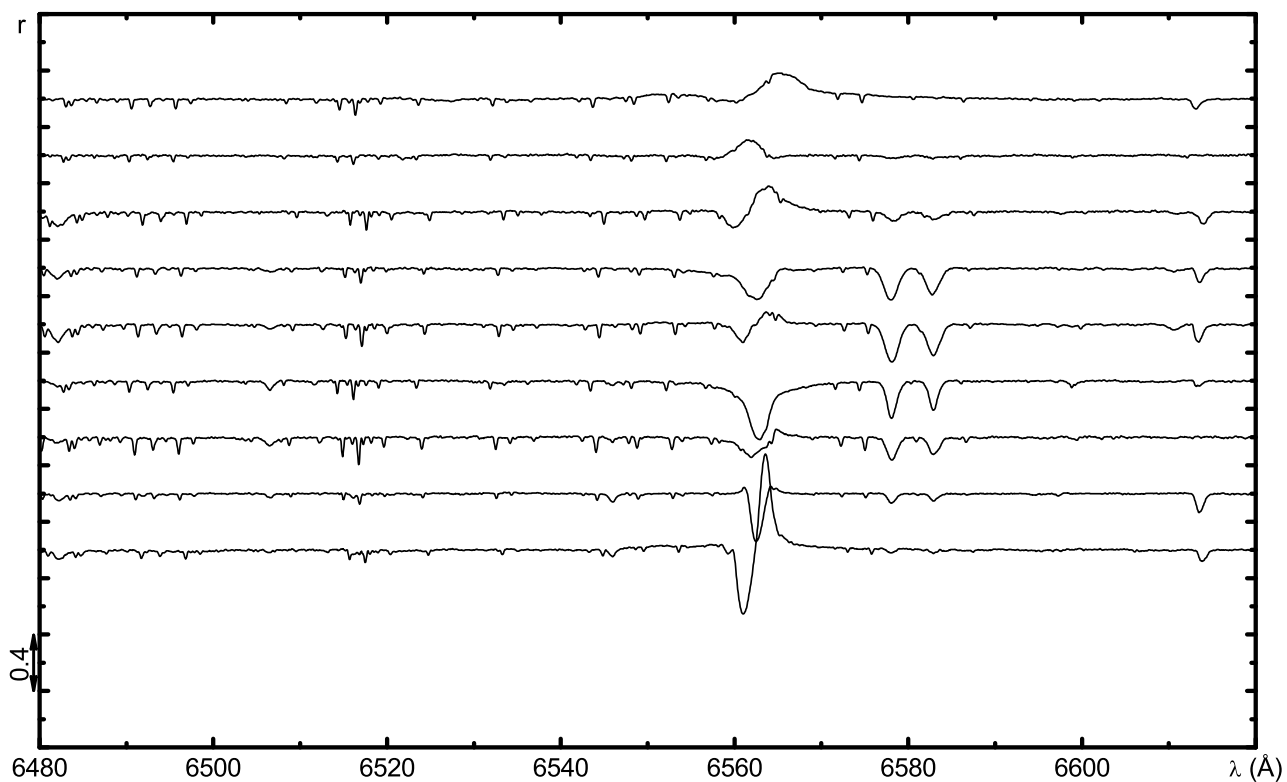


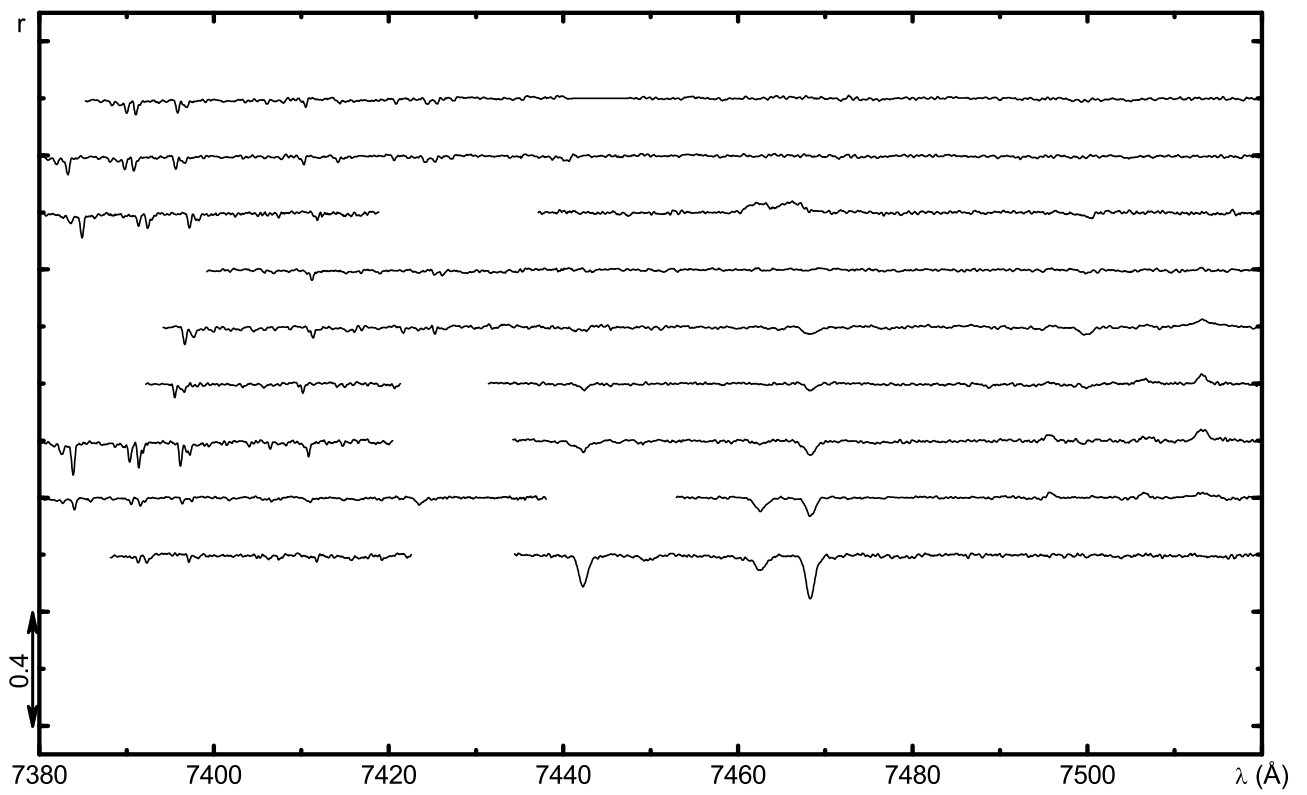
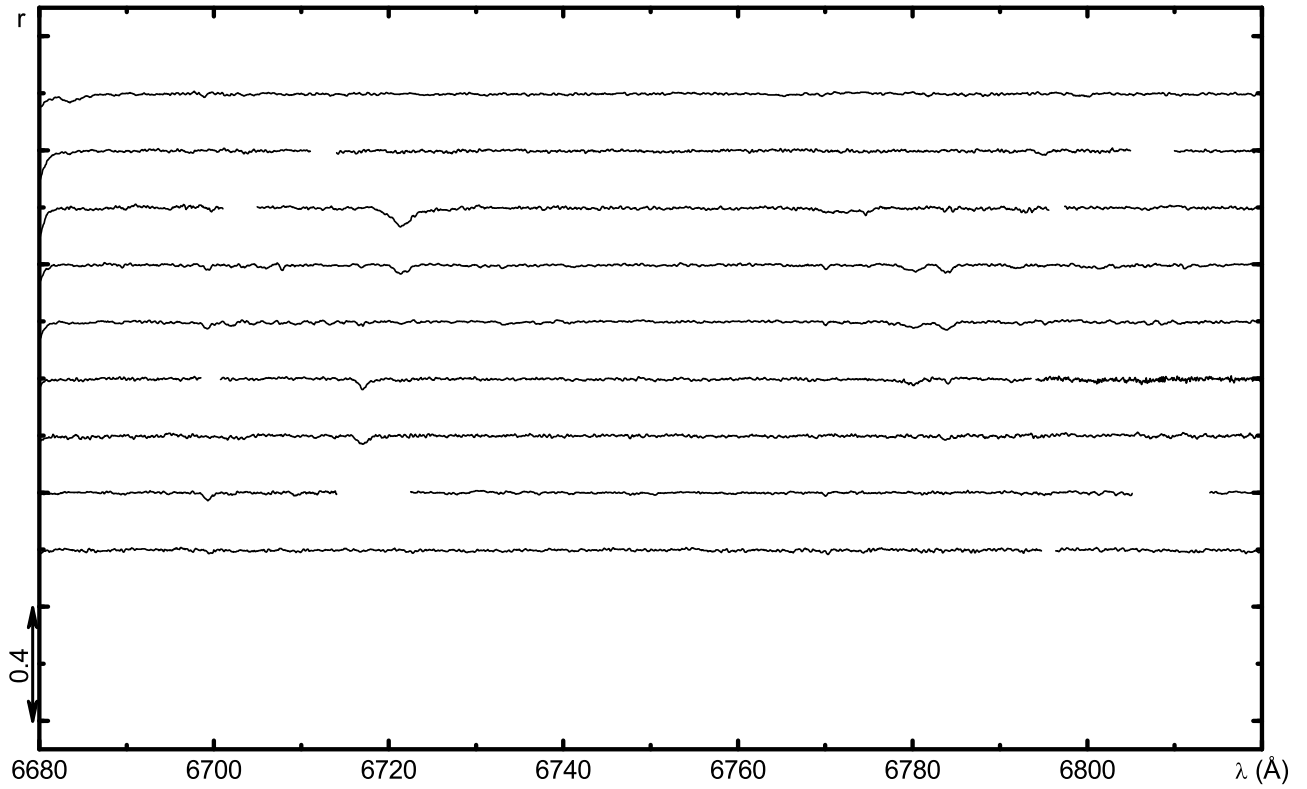
Рисунок А.1 — Продолжение

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

Рисунок А.1 — *Продолжение*

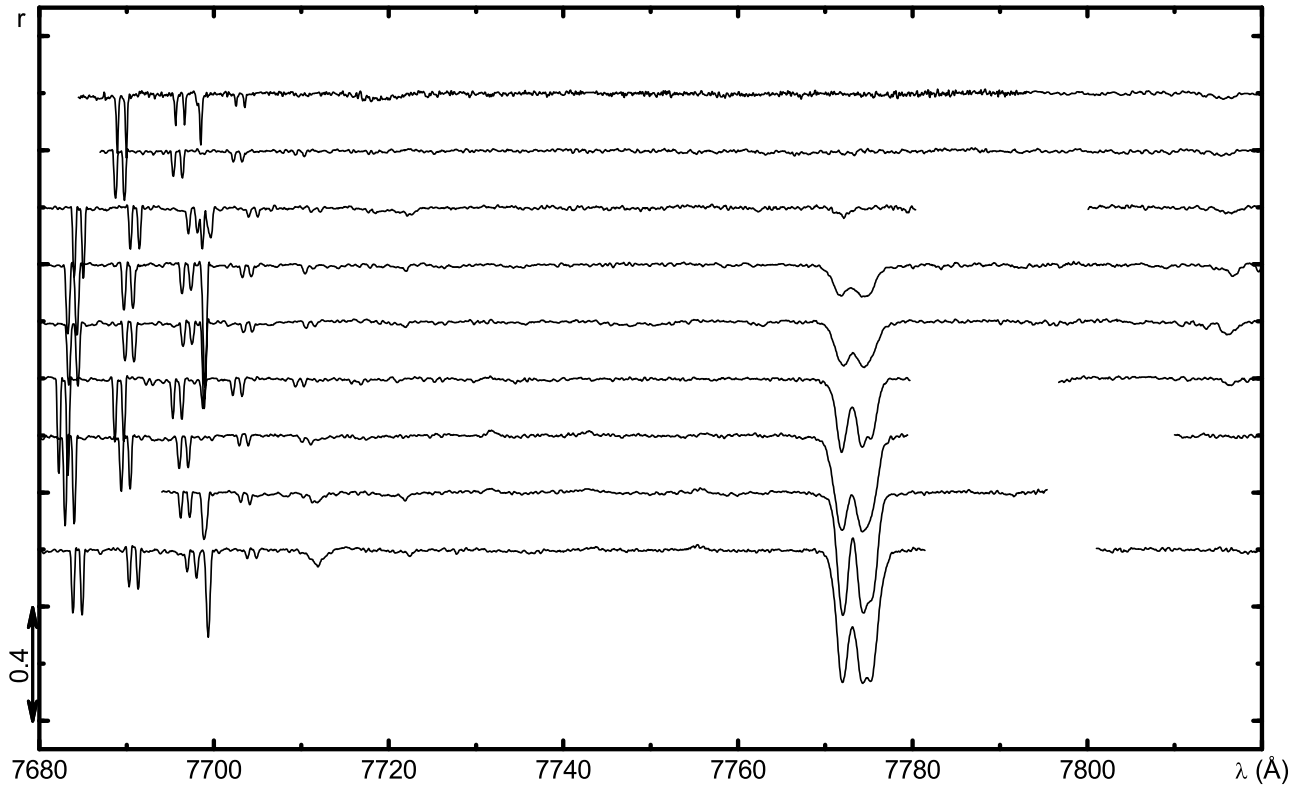


Рисунок А.1 — *Продолжение*