

УДК 524.338.5; 524.334; 524.3-337/76

О СУЩЕСТВОВАНИИ РЕЛИКТОВЫХ ГАЗОПЫЛЕВЫХ ДИСКОВ У МОЛОДЫХ АВ-ЗВЕЗД В ТУМАННОСТИ ОРИОНА. I. ИК-ИЗБЫТКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2021 Н. З. Исмаилов^{1*}, А. Ф. Холтыгин^{2**},
И. И. Романюк³, М. А. Погодин⁴, А. В. Моисеева³

¹Шемахинская астрофизическая обсерватория им. Насреддина Туси АНАН, Шамахи, AZ 5626
Азербайджан

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 199034 Россия

³Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

⁴Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия

Поступила в редакцию 9 августа 2021 года; после доработки 29 августа 2021 года; принята к публикации 29 августа 2021 года

Настоящая работа посвящена исследованию газопылевых дисков у молодых АВ звезд в ассоциации Orion OB1. Определены наблюдаемые потоки в спектрах указанных звезд в спектральном диапазоне 0.36–100 мкм. Были использованы результаты многоцветных фотометрических наблюдений в системе *UBVRIZJK*, а также данные каталогов WISE и IRAS. Показано, что многие программные звезды имеют избытки излучения в далеком ИК-диапазоне. Предполагается, что такой избыток может быть результатом формирования газопылевого диска вокруг программных звезд подобно звездам типа Веги.

Ключевые слова: *звезды: переменные: T Tauri, Ae/Be Хербига — звезды: до главной последовательности — звезды: магнитное поле — инфракрасное излучение: звезды*

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время молодые звезды на стадии эволюции до Главной Последовательности (ГП) с массами от 2 до 8 M_{\odot} традиционно отождествляются с так называемыми Ae/Be звездами Хербига (The et al. 1994), окруженными реликтовыми газопылевыми дисками — остатками бывших протозвездных коконов. Эти диски проявляют себя: а) на прямых изображениях объектов; б) наличием в их спектральном распределении энергии (Spectral Energy Distribution, SED) избытка излучения в дальней инфракрасной (ИК) области, связанного с тепловым излучением холодной пыли в периферийных областях диска; в) присутствием эмиссионных линий в спектрах. Эти линии формируются во внутренней области околозвездного диска, в которой в результате сублимации пылинки переходят из твердой в газообразную фазу.

С эволюционной точки зрения Ae/Be звезды Хербига являются прародителями АВ-звезд главной последовательности, в частности, звезд типа Веги и β Pic. У последних объектов наблюдается

слабый остаточный протопланетный диск, хорошо заметный в диапазоне $\lambda \geq 60$ мкм (Sylvester et al. 1996, Bouwman et al. 2000), что свидетельствует о конечной стадии формирования планет у таких звезд.

Изучению околозвездных дисков молодых звезд на стадии эволюции до ГП и звезд Хербига в том числе посвящено много исследований (см., например Væglård et al. (2021) и ссылки в ней). В большинстве этих работ представлены результаты детального изучения и моделирования структуры дисков (Setterholm 2018, Marcos-Arenal et al. 2020, Varga et al. 2021).

В то же время одной из важнейших задач физики молодых звезд является исследование глобальной эволюции их околозвездных дисков вплоть до момента выхода звезд на ГП. Для решения этой задачи нужно исследовать достаточно большие ансамбли молодых звезд с разными массами и возрастами. Именно такой подход предлагается в настоящей работе.

Для изучения эволюционных изменений околозвездных дисков молодых звезд мы сформировали представительную выборку из 56 объектов спектральных классов А и В в комплексе звездобразования туманности Ориона Orion OB1, предпо-

*E-mail: ismailovnshao@gmail.com

**E-mail: afkholtygin@gmail.com

ложительно находящихся на стадии эволюции до ГП. Одной из целей нашего исследования является проверка данной выборки молодых АВ-звезд с уже известными возрастными на наличие или отсутствие у них ИК-избытков в области $\lambda > 10$ мкм и присутствие в их спектрах эмиссионных линий.

Наличие избытка излучения в дальней ИК-области спектра является индикатором присутствия околозвездного диска. Анализируя изменения величины этого избытка с возрастом, можно проследить детали эволюции системы «молодая звезда плюс околозвездный диск» и, в частности, определить момент эволюции звезды, когда диск диссипирует. Такой анализ позволит решить вопрос, является ли околозвездный диск обязательным атрибутом звезд промежуточной массы на стадии эволюции до ГП и все ли они наблюдаются как Ae/Be звезды Хербига?

Известно, что среди менее массивных G–M звезд на стадии эволюции до ГП, относимых к типу T Tauri, встречаются объекты как с дисками, так и без них. T Tau-звезды с дисками называют классическими T Tau-звездами (CTTS) (Montmerle 1990, Rei et al. 2018), а объекты без развитых дисков со слабыми эмиссионными линиями в спектрах — «weak-lined» звезды типа T Tauri (WTTS) (Montmerle and André 1989). Иногда их еще называют «naked» (оголенными) T Tauri stars (NTTS).

Предполагается поиск молодых АВ-звезд с малыми ИК-избытками или без таковых, которые могут быть Ae/Be звездами Хербига на последней стадии потери околозвездного диска и аналогами NTTS звезд. В ходе дальнейшей работы может потребоваться расширение анализируемой выборки.

В настоящей статье представлен предварительный анализ результатов поиска избытка излучения в ИК-области для звезд отобранной группы. Статья организована следующим образом. В разделе 2 приведен список объектов выборки и описана методика построения распределений энергии в спектрах (SED). В разделе 3 изложены результаты анализа SED для всех программных звезд, их обсуждению посвящен раздел 4. Выводы к статье изложены в разделе 5.

2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В выборку объектов для поиска особенностей, присущих звездам Ae/Be Хербига, мы включили звезды комплекса звездообразования Orión OB1, предположительно находящиеся на стадии эволюции до ГП. Их список представлен в таблице 1.

В первом столбце для каждого объекта указан его порядковый номер, во втором — номер HD. Номера звезд в каталоге пекулярных звезд Renson and Manfroid (2009) приведены в 3-м столбце таблицы. Принадлежность звезды к различным подгруппам объектов *a*, *b*, *c* и *d* в комплексе звездообразования Orión OB1 и спектральные классы даны в столбцах 4–5. В столбце 6 указаны расстояния до объектов в пк, взятые из базы данных SIMBAD, а в столбце 7 — оценки возраста, полученные нами по положению звезд на диаграмме Герцшпрунга–Рассела и трекам эволюции АВ-звезд (Brott et al. 2011). В столбцах 8–10 приведены значения эффективного магнитного поля B_e , ошибка измерения σ и соответствующая приведенная статистика χ^2/n . Эти значения взяты из работ авторов статьи (Romanyuk et al. 2021a; b) и из цитированных в данных статьях работ авторов.

Для получения наблюдаемых потоков F_λ^{obs} анализируемой звезды, исправленных за межзвездное поглощение, использовано следующее стандартное соотношение:

$$F_\lambda^{\text{obs}} = F_\lambda^0 10^{-0.4m_\lambda + 0.4A_\lambda}, \quad (1)$$

где F_λ^0 — поток стандарта (стандартной звезды A0V нулевой величины) на длине волны λ в единицах $\text{эрг с}^{-1} \text{см}^2 \text{Å}^{-1}$, при этом для стандарта все значения $m_\lambda = 0$. Величина m_λ — звездная величина анализируемой звезды в полосе λ , а A_λ — соответствующее поглощение. Значения функции A_λ/A_V были взяты из статьи Rieke and Lebofsky (1985).

Таблица 1. Параметры программных звезд

№	HD	RM	Subgroup	Sp	d, pc	Age, Myr	B_e , G	σ	χ^2/n
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	33917	8560	a	A0	384	11	332	195	1.9
2	34736	8860	c	B9	364	—	4700	350	$>10^3$
3	34859	8900	a	A0	304	7	303	120	9.9
4	34889	8929	c	B9	367	6.8	433	91	50.5

Таблица 1. (Продолжение)

№	HD	RM	Subgroup	Sp	d, pc	Age, Myr	B_e , G	σ	χ^2/n
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
5	35008	8940	a	B8	205	—	258	155	7.0
6	35039	8953	a	B2	349	18.5	75	49	2.3
7	35177	8980	a	B9	361	—	940	275	12.4
8	35298	9020	a	B6	372	8.6	2330	330	71.9
9	35456	9070	a	B7	400 ^a	—	440	80	33.7
10	35502	9120	a	B6	383	—	1659	330	41.7
11	35575	9160	a	B3	389	7.3	220	196	1.2
12	35730	9230	a	B4	368	15.9	90	156	0.5
13	35881	9250	a	B8	365	2.8	130	164	0.8
14	35901	9255	c	B9	830 ^b	—	174	93	2.8
15	36046	9290	b	B8	342	25.1	119	253	0.4
16	36313	9370	b	B8	315 ^c	—	1340	500	7.2
17	36429	9420	a	B6	375	1.1	425	170	—
18	36485	9440	b	B2	389	6.3	2160	130	635
19	36526	9460	b	B8	410	—	1695	137	539
20	36540	9480	c	B7	418	—	390	185	3.3
21	36559	9500	c	A0	330	—	180	200	0.7
22	36629	9550	c	B3	476	—	94	69	2.4
23	36668	9560	b	B8	424	—	953	105	203
24	36899	9690	c	B9	403	—	267	164	3.0
25	36916	9700	c	B8	258 ^d	—	461	181	7.2
26	36918	9710	c	B9	403	—	234	167	1.7
27	36955	9740	b	A2	437	—	708	90	93.9
28	36958	9750	c	B3	411	—	86	115	1.1
29	36960	9780	c	B0	495	9.5	93	63	1.1
30	36982	9800	d	B2	408	—	104	75	1.1
31	36997	9810	c	B9	476	—	613	67	62.0
32	37017	9820	c	B2	400 ^a	4.9	1460	280	33.6
33	37041	9830	d	B0	450	0.2	107	148	2.6
34	37058	9850	c	B3	460	—	775	75	186
35	37114	9880	d	B9	317 ^e	—	248	111	3.9
36	37129	9890	c	B3	435	—	128	130	1.0
37	37140	9910	c	B8	411	—	270	107	9.6
38	37151	9930	c	B8	246 ^f	31.6	232	118	2.1
39	37210	9950	c	B8	538 ^g	—	232	80	10.1

Таблица 1. (Продолжение)

№	HD	RM	Subgroup	Sp	d, pc	Age, Myr	B_e , G	σ	χ^2/n
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
40	37235	9960	c	B9	398	—	228	170	2.3
41	37321	10000	b	B5	640 ^h	52.5	290	202	1.4
42	37333	10010	и	A _p	351	—	433	120	14.6
43	37470	10070	c	B8	425	—	71	160	0.3
44	37479	10080	b	B2	—	0.3	1310	324	46.6
45	37525	10110	b	B6	—	1.2	127	192	0.3
46	37633	10130	b	B9	415	—	382	97	25.5
47	37642	10150	c	B9	405	—	1310	234	27.6
48	37687	10160	c	B7	450	—	525	31	752
49	37776	10190	b	B2	437	0.9	8640	500	299
50	37807	10200	c	B4	392	—	144	73	5.3
51	37808	10210	c	B9	188	—	615	103	39.6
52	38912	10450	a	B8	472	—	165	163	1.2
53	40146	10710	c	A0	500 ⁱ	—	374	56	48.0
54	40759	10900	c	A0	429	—	1120	65	418
55	290665	9700	b	B9	403	—	2260	54	2343
56	294046	9190	a	B9	372	—	495	164	13.3

Notes: ^a Взято среднее расстояние 400 пк до звезд группы *a*

^b Возможно, параллакс Gaia неправильный, расстояние должно быть в 2 раза меньше.

^c Звезда находится на 85 пк ближе центра группы *b*.

^d Звезда находится существенно ближе центра группы *c*.

^e Звезда на 83 пк ближе центра группы *c*. Возможно, она не входит в ассоциацию Ori_{on} OB1, а является объектом переднего плана.

^f Звезда на 150 пк ближе к наблюдателю, чем центр группы *c*, возраст звезды не соответствует возрасту группы.

^g Находится на расстоянии 138 пк дальше центра группы *c*.

^h Возраст по литературным источникам не соответствует возрасту группы *b*. Звезда находится по параллаксу на расстоянии 240 пк дальше центра группы *и*, возможно, ей не принадлежит.

ⁱ Звезда на 100 пк дальше центра группы *c*.

Значения F_{λ}^0 для полос от *U* до *K* взяты из Straizys (1977). В качестве фотометрического стандарта мы использовали калибровочные потоки в полосах *W1–W4* (3.4–22.1 мкм) спутника WISE¹ (Jarrett et al. 2011).

Потоки в ближней ИК-области рассчитывались по данным обзоров 2MASS (Neugebauer and

Leighton 1969, Cutri et al. 2003) и DENIS (Epchtein et al. 1999).

При определении потоков программных звезд в дальней ИК-области использованы фотометрические данные спутника IRAS² на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм (Neugebauer et al. 1984) и миссии DIRBE³.

¹https://wise2.ipac.caltech.edu/docs/release/allsky/e.psup/sec4_4h.html#WISEZMA

²<https://irsa.ipac.caltech.edu/IRASdocs/iras.html>

³https://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/about_dirbe.cfm

Подробнее применяемая нами методика построения SED в спектрах АВ-звезд описана в статье Ismailov et al. (2021).

Для проверки корректности данной методики и правильности выполненных вычислений мы построили кривые распределения энергии в спектрах для звезд-стандартов и звезд с разными околозвездными характеристиками, в частности α Lyr ($T_{\text{eff}} = 9600$ K), α Leo ($T_{\text{eff}} = 12000$ K) и α Car ($T_{\text{eff}} = 7000$ K). Спектры этих звезд изучены достаточно хорошо и их SED опубликованы в ряде работ (Campins et al. 1985, Decin et al. 2000; 2003, Kinman and Castelli 2002, Kharitonov et al. 1988, Komarov and Korotkikh 1978, Krisciunas et al. 2017, Rieke et al. 1985). Полученные нами SED согласуются с литературными данными, что свидетельствует о корректности используемой методики.

Таким же методом были построены распределения энергии в спектре B0.5IVpe звезды γ Cas и звезд Хербига AB Aur и HD 179218, представленные в статье Ismailov et al. (2021). У звезд Хербига видны значительные избытки ИК излучения, которые могут быть интерпретированы как тепловое излучение пылевых частиц в околозвездных дисках.

3. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭНЕРГИИ В СПЕКТРА Х ПРОГРАММНЫХ ЗВЕЗД

Используя методику, описанную в разделе 2, мы получили SED всех программных звезд, приведенных в таблице 1 (см. также рис. 1). Проведенный нами анализ показал, что в большинстве случаев в области длин волн 2–20 мкм аппроксимации спектров моделями Куруча (Kurucz 1979) с температурами из Kenyon and Hartmann (1995) (сплошные линии) и чернотельным излучением с температурой T_b (пунктир) оказываются близки.

Близость чернотельных температур к их эффективным температурам T_{eff} для более горячих В звезд отмечена Koornneef (1983). В ИК-области спектра $\lambda > 10$ мкм эти температуры близки и для А звезд. По этой причине для аппроксимации спектра звезды (без учета излучения газопылевого диска) в области 20–120 мкм мы использовали чернотельные аппроксимации потоков F_{λ}^b .

У большинства программных звезд обнаружены значительные отклонения от значений потоков F_{λ}^b в области длин волн 12–120 мкм (см. рис. 1). Будем характеризовать эти отклонения величиной

$$\Delta m^{\text{IR}} = \max \left[2.5 \lg \left(\frac{F_{\lambda}^{\text{obs}}}{F_{\lambda}^b} \right) \right],$$

где максимум определяется по всем значениям λ , для которых вычислены наблюдаемые потоки. Отношения $F_{\lambda}^{\text{obs}}/F_{\lambda}^b$ могут быть аппроксимированы планковским излучением нагретой до 50–150 K пыли, что показано на нижних панелях рис. 1. Для некоторых звезд ИК-избыток в области длин волн 12–120 мкм не может быть описан излучением пылевых частиц одной температуры, и для его корректного описания требуется многотемпературное приближение.

Результаты нашего анализа полученных кривых SED для всех программных звезд представлены в таблице 2. По столбцам слева направо приведены: порядковый номер объекта по нашему списку, чернотельная температура T_b , эффективная температура звезды T_{eff} , величина поглощения A_V в фильтре V и величина Δm^{IR} . В последнем столбце даны комментарии к конкретным объектам. Значения T_{eff} взяты из статьи Kenyon and Hartmann (1995) с поправками авторов настоящей статьи.

У большинства объектов в нашем списке чернотельные и эффективные температуры близки. Однако у ряда объектов различия температур T_b и T_{eff} существенны. Расхождение в температурах может быть связано с различными физическими свойствами звезд, их запятненностью, двойственностью, переменностью и другими особенностями. В то же время чернотельные аппроксимации используются нами только для экстраполяции спектра звезды (без вклада газопылевого диска) в области длин волн $\lambda > 20$ мкм, в которой отклонения модельного спектра от чернотельного малы.

Согласно нашим результатам (таблица 2), многие из рассмотренных звезд в комплексе звездобразования Ориона имеют избыточное излучение в дальней ИК-области спектра. Величина этого избытка у разных звезд выборки различается. Для 16 объектов данные спутника IRAS отсутствуют, поэтому в настоящее время судить о том, есть ли у них избытки ИК излучения в области $\lambda > 10$ мкм, затруднительно. Однако можно предположить наличие таких избытков, учитывая, что критерии отбора звезд в нашем списке одинаковы.

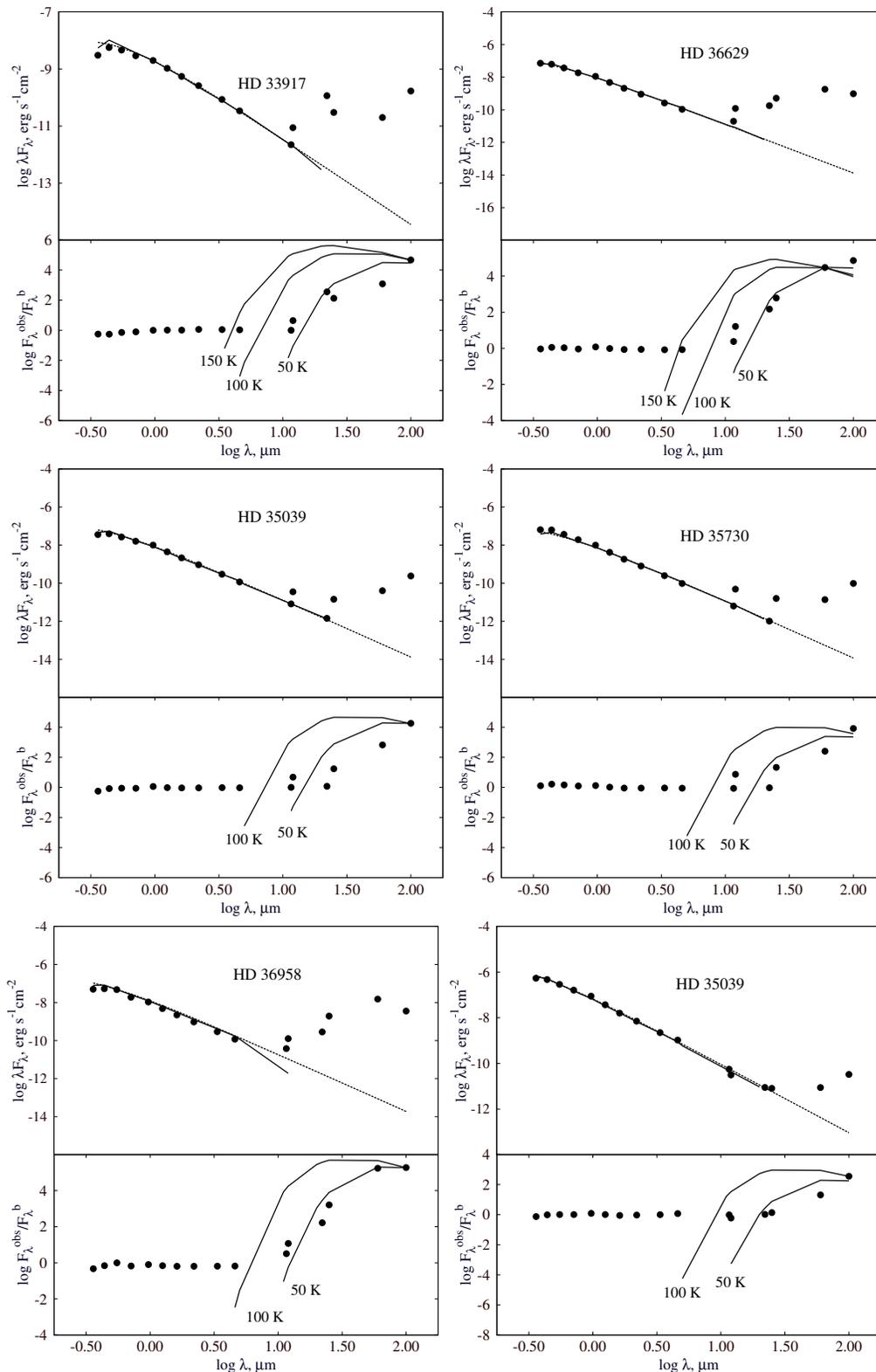


Рис. 1. Распределение энергии в спектрах отдельных программных звезд. Пунктирными линиями показана планковская аппроксимация наблюдаемых потоков, сплошными кривыми — аппроксимация моделью Куруча (Kurucz 1979). Для всех звезд на нижних панелях показаны отношения $F_{\lambda}^{\text{obs}}/F_{\lambda}^{\text{b}}$ (точки) и их аппроксимация планковскими кривыми (тонкие сплошные линиями). Значения температуры пылевых частиц T_d указаны у соответствующих кривых.

Таблица 2. Результаты анализа SED программных звезд

№	T_b , К	T_{eff} , К	A_V	Δm^{IR} , mag	Комментарии
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	10000	9800	0.112	0.43	—
2	11500	11400	0.099	0.34	Переменная звезда
3	8000	9800	0.102	0.80	—
4	16000	11400	0.341	0.34	Измерен поток только для 60 мкм
5	13500	12300	0.068	1.12	—
6	21000	21000	0.105	0.22	Спектрально двойная типа Веги
7	15000	11400	0.099	1.30	Звезда типа α^2 CVn
8	16000	14300	0.186	0.34	Переменная звезда
9	16000	13500	0.418	0.39	Двойная или кратная звезда
10	14500	14300	0.124	0.40	Спектрально двойная
11	17500	17600	0.093	—	
12	21000	16000	0.31	0.36	
13	13500	12300	0.096	0.33	
14	13500	11400	0.400	—	
15	13500	12300	0.112	0.41	
16	13500	12300	0.112	0.37	Звезда типа α^2 CVn
17	14500	14300	0.248	0.38	
18	21000	21000	0.102	—	Спектрально двойная
19	14500	12300	0.136	0.49	Переменная звезда
20	13500	13500	0.118	—	Двойная или кратная звезда
21	13500	9800	0.096	0.51	Двойная или кратная звезда
22	17500	17600	0.775	0.46	Спектрально двойная
23	29000	12300	1.023	—	Спектрально двойная
24	11500	11400	0.316	0.60	
25	17500	12300	0.093	—	
26	7000	11400	1.432	—	
27	9000	9040	0.074	—	Звезда типа α^2 CVn
28	17500	17600	0.31	0.54	Звезда типа α^2 CVn
29	29000	29200	0.093	0.48	Звезда типа α^2 CVn
30	21000	21000	1.147	0.55	Двойная или кратная звезда
31	13500	11400	0.233	0.48	Двойная или кратная звезда
32	21000	21000	0.279	0.53	Спектрально двойная
33	29000	29200	0.620	—	Спектрально двойная

Таблица 2. (Продолжение)

№	T_b , К	T_{eff} , К	A_V	Δm^{IR} , mag	Комментарии
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
34	17500	17600	0.248	–	
35	11500	11400	0.279	–	
36	17500	17600	0.186	0.54	
37	12000	12300	0.651	–	Звезда типа α^2 CVn
38	14500	12300	0.093	0.45	Звезда типа α^2 CVn
39	13500	12300	0.016	0.64	Звезда типа α^2 CVn
40	14500	11400	0.031	0.38	Double or multiple
41	15000	15200	0.465	0.31	Double or m.s. (Vega-like?)
42	14500	9330	0.403	0.41	Молодой звездный объект
43	12000	12300	0.115	0.44	Молодой звездный объект
44	21000	21000	0.186	0.31	Молодой звездный объект
45	14500	14300	0.310	0.34	Молодой звездный объект
46	11500	11400	0.496	–	Переменная звезда
47	15000	11400	0.183	0.50	Звезда типа α^2 CVn
48	13500	13500	0.620	0.45	
49	21000	21000	0.279	0.43	Переменная звезда
50	16000	16000	0.214	0.45	
51	16000	11400	0.310	0.38	Звезда типа α^2 CVn
52	9000	12300	0.030	–	Звезда типа α^2 CVn
53	12000	9800	0.397	–	
54	12000	9800	0.397	0.35	
55	11500	11400	0.279	–	
56	11500	11400	0.050	0.26	Звезда типа Веги

На рис. 2 (вверху) проиллюстрирована зависимость ИК-избытка Δm^{IR} от величины A_V . Эта зависимость может быть аппроксимирована степенной функцией $\Delta m^{\text{IR}} = 0.39A_V^{-0.10}$. В то же время ошибки коэффициентов аппроксимации больше самих коэффициентов, что не позволяет считать ее значимой. Слабость или даже отсутствие такой зависимости показывает, что ИК-избыток связан с самой звездой и ее околозвездным диском, а не с поглощением в комплексе звездообразования Ориона OB1.

Как видно из рис. 2 (посередине), величина Δm^{IR} слабо уменьшается с ростом эффективной температуры звезды. Полученная зависи-

мость может быть аппроксимирована формулой $\Delta m^{\text{IR}} = 4.54T_{\text{eff}}^{-0.24}$ и интерпретирована как увеличение вклада фотосферного излучения в полное излучение звезды, тогда как вклад излучения околозвездного газа и пыли в это излучение слабо зависят от температуры звезды. В то же время, ошибки аппроксимации велики и для выяснения того, насколько данная зависимость реальна, требуется увеличение объема выборки звезд.

На рис. 2 (внизу) ИК-избытки Δm^{IR} сопоставляются с величиной эффективного магнитного поля звезды B_e . Анализ как самого рисунка, так и возможных аппроксимаций показал, что зависимость этих величин незначима. На рисунке треугольни-

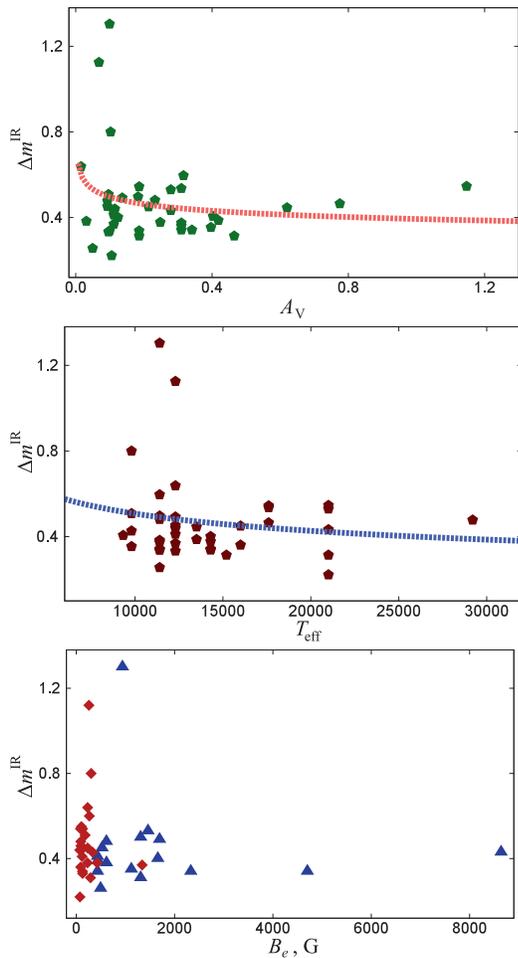


Рис. 2. ИК избыток Δm^{IR} в зависимости от величины A_V поглощения в фильтре V , от эффективной температуры звезды T_{eff} и от эффективного магнитного поля звезды B_e (сверху вниз). Пунктирные линии — аппроксимации этих зависимостей. Треугольники — звезды с измеренными значениями магнитных полей, ромбы — звезды, для которых измерения магнитных полей не привели к значимому результату.

ками показаны звезды с обнаруженным магнитным полем ($|B_e| \geq 3\sigma$, где σ — ошибка измерений) и звезды, у которых магнитное поле не обнаружено ($|B_e| \leq 3\sigma$, ромбы). Значимых различий в средних ИК-избытках у этих звезд не обнаружено, что свидетельствует об отсутствии зависимости ИК-избытка звезды от ее эффективного магнитного поля.

3.1. Двухцветные диаграммы

На рис. 3 представлены диаграммы, полученные для программных звезд по исправленным за межзвездное покраснение показателям цвета $U-B$, $B-V$ и $J-H$, $H-K$. Данные для звезд выборки показаны кружками, цвета звезд ГП — красными точками. Цвета звезд ГП взяты из работы Кенуоп

and Hartmann (1995). Вертикальными барами приводятся средние ошибки измерений. Как видно из рисунка, на диаграмме $U-B$, $B-V$ программные звезды лежат в основном на полосе ГП с незначительным разбросом.

Вместе с тем, на диаграмме $(J-H)-(H-K)$ большинство программных звезд находится выше ГП (рис. 3). Такое расположение свидетельствует о существовании значительных избытков цвета программных звезд в ИК-области, что косвенно подтверждает выполненный нами анализ.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящей работе построены SED в диапазоне от 0.36 до 100 мкм для 56 программных звезд спектральных классов АВ в области комплекса звездообразования туманности Ориона. Построенные SED показали, что большинство звезд этого комплекса имеют избыточное излучение в дальнем ИК-диапазоне, аналогичное обнаруженному у Веги. Это, вероятно, свидетельствует о том, у многих АВ звезд в комплексе Ориона могут сохраниться остатки их протозвездных дисков.

Анализ диаграммы $(U-B)-(B-V)$ показывает, что в оптическом диапазоне программные звезды подобны АВ звездам ГП. В то же время, на диаграмме $(J-H)-(H-K)$ большинство звезд данной группы имеют избыточное излучение в диапазоне 12–120 мкм. Это также свидетельствует о существовании пылевой околозвездной компоненты с температурой в несколько десятков градусов Кельвина.

Принадлежность большинства программных звезд к комплексу Ориона ОВ1 не вызывает сомнения. Для выяснения природы избыточного ИК-излучения мы запланировали дополнительные исследования звезд комплекса Ориона.

Для проверки предположения о наличии у программных звезд околозвездных дисков будет также проведено спектральное исследование для выявления звезд с эмиссиями в линии H_α . Эту работу планируется выполнить на основе наших собственных наблюдений в Шемахинской астрофизической обсерватории (Азербайджан) и Национальной обсерватории LNA в Бразилии. Они намечены на вторую половину 2021 г., когда Орион вновь попадет в область видимости этих обсерваторий.

Будет продолжена и программа измерения магнитных полей объектов нашего списка. После этого предполагается провести комплексный анализ магнитных особенностей всех групп исследованных нами объектов. Еще одна из целей будущих исследований — это сравнение магнитных характеристик у объектов с околозвездными дисками. Также предполагается расширение выборки исследуемых звезд как в ассоциации Orión ОВ1, так и в других молодых звездных ассоциациях.

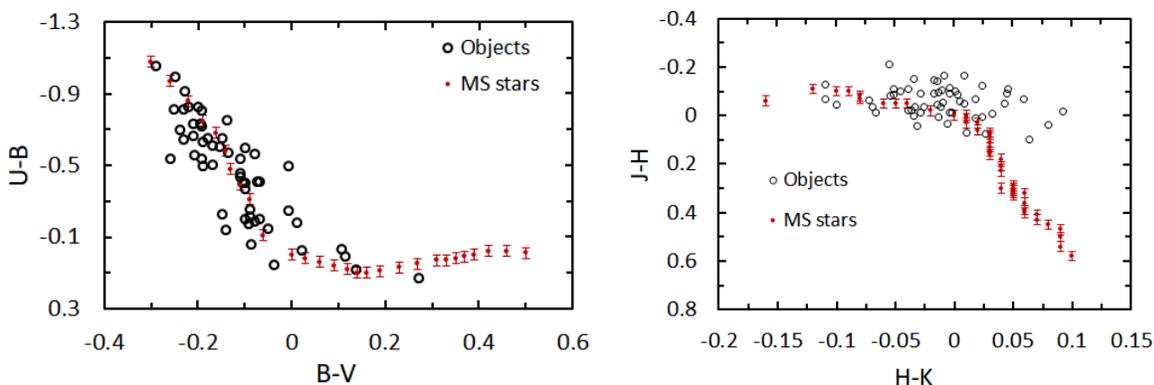


Рис. 3. Диаграммы $(U - B) - (B - V)$ (слева) и $(J - H) - (H - K)$ (справа). Вертикальными барами указаны средние ошибки измерений. Красные точки — звезды ГП, кружки — программные звезды. Все показатели цвета очищены от межзвездного поглощения.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформирована выборка из 56 молодых АВ-звезд в ассоциации Oг10п OB1, возможно, имеющих остаточные газопылевые диски. Для объектов этой выборки определены наблюдаемые потоки в фотометрических полосах от видимой до ИК-области спектра и построены спектральные распределения энергии в диапазоне 0.36–100 мкм. Показано, что многие программные звезды имеют избытки излучения, главным образом в дальнем ИК-диапазоне (10–100 мкм). Предполагается, что такой избыток может быть результатом свечения остаточных пылевых дисков вокруг исследуемых объектов и подобен ИК-избыткам звезд типа Веги.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи выражают благодарность рецензенту за внимательное прочтение рукописи и сделанные замечания, способствующие улучшению текста статьи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Н.И. благодарен за поддержку Фонда Развития Науки при Президенте Республики Азербайджан (грант № EIF-BGM-4-RFTF-1/2017-21/07/1). А.Х. признателен за поддержку грантом РФФИ 19-02-00311 а. И.И.Р. и А.В.М. благодарят Российский научный фонд за частичную финансовую поддержку работы в части выполнения измерений магнитных полей звезд (грант РФФИ 21-12-00147). А.В.М. благодарит за финансовую поддержку грант Президента РФ для молодых ученых-кандидатов наук МК-682.2021.6. Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (включая соглашение № 05.619.21.0016, уникальный идентификатор проекта RFMEFI61919X0016).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Bouwman, A. de Koter, M. E. van den Ancker, and L. B. F. M. Waters, *Astron. and Astrophys.* **360**, 213 (2000).
2. I. Brott, S. E. de Mink, M. Cantiello, et al., *Astron. and Astrophys.* **530**, A115 (2011).
3. H. Campins, G. H. Rieke, and M. J. Lebofsky, *Astron. J.* **90**, 896 (1985).
4. R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. van Dyk, et al., *Vizier Online Data Catalog II/246* (2003).
5. L. Decin, B. Vandenbussche, K. Waelkens, et al., *Astron. and Astrophys.* **400**, 695 (2003).
6. L. Decin, C. Waelkens, K. Eriksson, et al., *ESA Special Publication*, **456**, 289 (2000).
7. N. Epchtein, E. Deul, S. Derriere, et al., *Astron. and Astrophys.* **349**, 236 (1999).
8. N. Z. Ismailov, A. F. Kholtygin, I. I. Romanyuk, and M. A. Pogodin, *Astronomical Journal of Azerbaijan*, in press (2021).
9. T. H. Jarrett, M. Cohen, F. Masci, et al., *Astrophys. J.* **735** (2), 112 (2011).
10. S. J. Kenyon and L. Hartmann, *Astrophys. J. Suppl.* **101**, 117 (1995).
11. A. V. Kharitonov, V. M. Tereshchenko, and L. N. Knyazeva, *The spectrophotometric catalogue of stars. Book of reference* (Nauka, Alma-Ata, 1988).
12. T. Kinman and F. Castelli, *Astron. and Astrophys.* **391**, 1039 (2002).
13. N. S. Komarov and T. N. Korotkikh, *Astron. Zh.* **55**, 1011 (1978).
14. J. Koornneef, *Astron. and Astrophys.* **500**, 247 (1983).
15. K. Krisciunas, N. B. Suntzeff, B. Kelarek, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **129** (975), 054504 (2017).
16. R. L. Kurucz, *Astrophys. J. Suppl.* **40**, 1 (1979).

17. P. Marcos-Arenal, I. Mendigutia, R. D. Oudmaijer, et al., in *Contributions to the XIV.0 Scientific Meeting (virtual) of the Spanish Astronomical Society* (2020), p. 155.
18. T. Montmerle, *Reviews in Modern Astronomy* **3**, 209 (1990).
19. T. Montmerle and P. André, *ESO Conference and Workshop Proceedings*, **33**, 407 (1989).
20. G. Neugebauer, H. J. Habing, R. van Duinen, et al., *Astrophys. J.* **278**, L1 (1984).
21. G. Neugebauer and R. B. Leighton, *Two-micron sky survey. A preliminary catalogue* (1969).
22. A. C. S. Rei, P. P. Petrov, and J. F. Gameiro, *Astron. and Astrophys.* **610**, A40 (2018).
23. P. Renson and J. Manfroid, *Astron. and Astrophys.* **498** (3), 961 (2009).
24. G. H. Rieke and M. J. Lebofsky, *Astrophys. J.* **288**, 618 (1985).
25. G. H. Rieke, M. J. Lebofsky, and F. J. Low, *Astron. J.* **90**, 900 (1985).
26. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, A. V. Moiseeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **76** (1), 39 (2021a).
27. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, A. V. Moiseeva, et al., *Astrophysical Bulletin* **76** (2), 163 (2021b).
28. B. Setterholm, in *Take a Closer Look* (ESO HQ, 2018), p. 105.
29. V. Straižys, *Multicolor stellar photometry. Photometric systems and methods* (Mokslas Publishers, Vilnius, 1977).
30. R. J. Sylvester, C. J. Skinner, M. J. Barlow, and V. Mannings, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **279** (3), 915 (1996).
31. P. S. The, D. de Winter, and M. R. Perez, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **104**, 315 (1994).
32. P. G. Valegård, L. B. F. M. Waters, and C. Dominik, *Astron. and Astrophys.* **652**, A133 (2021).
33. J. Varga, M. Hogerheijde, R. van Boekel, et al., *Astron. and Astrophys.* **647**, A56 (2021).

Relict Gas-and-Dust Disks Around AB Stars in the Orion Nebula. I. IR Excesses

N. Z. Ismailov¹, A. F. Kholtygin², I. I. Romanyuk³, M. A. Pogodin⁴, and A. V. Moiseeva³

¹Shamakhy Astrophysical Observatory named after Nasreddin Tusi, Azerbaijan National Academy of Sciences, Shamakhy, AZ 5626 Azerbaijan

²St. Petersburg University, St. Petersburg, 199034 Russia

³Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

⁴Central (Pulkovo) Astronomical Observatory, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 196140 Russia

This paper is devoted to the study of gas-and-dust disks around young AB stars in the association Orion OB1. The observed spectral flux values of these stars in the wavelength range of 0.36 – 100 μm are determined. We used the results of multicolor photometric observations in the *UBVR IJHK*-bands, as well as data from the WISE and IRAS catalogs. It is shown that many program stars have radiation excesses in the far IR range. It is assumed that such an excess may be the result of the formation of a gas-dust disk around the program stars similar to those for Vega-type stars.

Keywords: *stars: variables: T Tauri, Herbig Ae/Be—stars: pre-main sequence—stars: magnetic field—infrared: stars*