

УДК 524.31.08:524.63—862

В. А. Захожай, О. В. Захожай

Диски вокруг ближайших звезд и субзвезд

Предлагается литературный обзор по проблеме существования и поиска дисков у звезд и субзвезд, расположенных в окрестностях Солнца не далее 10 пк. Излагается современная концепция об астрофизических свойствах околозвездных дисков, результаты и проблемы их обнаружения по инфракрасным избыткам у компонентов близких звездно-субзвездных систем. Обсуждаются данные о популяции ближайших звезд и субзвезд. Приводится список обнаруженных околозвездных дисков в окрестностях Солнца не далее 10 пк, их основные астрофизические характеристики и кратко обсуждается структура их наблюдаемых изображений в различных участках спектра.

ДИСКИ НАВКОЛО НАЙБЛИЖЧИХ ЗІРОК І СУБЗІРОК, Захожай В. А., Захожай О. В. — Пропонується літературний огляд з проблеми існування і пошуку дисків у зірок і субзірок, розташованих в околицях Сонця не далі 10 пк. Подається сучасна концепція про астрофізичні властивості навколзоряних дисків, результати і проблеми їхнього виявлення по інфрачервоних надлишках у компонентів близьких зоряно-субзоряних систем. Обговорюються дані про популяцію найближчих зірок і субзірок. Наводиться список виявлених навколзоряних дисків в околицях Сонця не далі 10 пк, їхні основні астрофізичні характеристики, коротко обговорюється структура їхніх спостережених зображень у різних ділянках спектру.

THE DISKS AROUND NEAREST STARS AND SUBSTARS, by Zakhozhay V. A., Zakhozhay O. V. — We present a literature overview of the problem of the existence of the disks around stars and substars in the Solar environment with a radius no more than 10 pc. We give the modern concept on astrophysical properties of the circumstellar disks, the problems and results of their detections on the basis of the infrared excess of the nearest stellar-substellar systems companions. Some data on the nearest stellar and substellar population are discussed. We present the list of the discovered circumstellar disks located within 10 pc of the Sun and their main astro-

physical properties. The observable structure of images of the disks in different spectrum parts is briefly discussed.

ВВЕДЕНИЕ

Еще 30 лет назад не было сформулировано определение планеты как космического тела, принадлежащего звездной системе [4, 22]. Была сформулирована задача о поиске планет у звезд [6], было предсказано существование промежуточного класса космических тел между звездами и планетами — субзвезд [1, 145], предлагались методы для поиска планет в окрестностях звезд [2, 3, 6, 18, 39]. В это время наличие околозвездных дисков еще подвергалось сомнению [106]. Большинство исследователей отдавало предпочтение гипотезам, согласно которым молодые звездные объекты окружены сферическими оболочками [19]. В то же время уже обсуждались признаки наличия протопланетных дисков у звезд и возможность их обнаружения [2]. Особый интерес представляло обнаружение планет и протопланетных дисков в окрестностях Солнца, однако в 1970-е гг. сама выборка ближайших звезд была еще неопределенной.

В настоящее время ситуация с проблемой протопланетных дисков у звезд существенно изменилась. Определена выборка ближайших звезд [8, 10]. С середины 1980-х гг. начались открытия околозвездных дисков в окрестностях Солнца [33, 34, 36, 50, 68, 69, 97, 135, 141, 152—154, 156, 157] по избыткам ИК-излучения, зафиксированного космическим телескопом IRAS [113]. Анализ нижней границы массы звезд, расширение спектральной классификации в сторону холодных субзвезд позволили выявить в окрестностях Солнца субзвезды среди поздних М-карликов и обнаружить методами ИК-фотометрии L-карлики [15, 41—43, 52, 60, 74, 89, 104, 111, 127]. Обнаружение у субзвезд ИК-избытков излучения [96] позволяет ставить задачу об поиске протопланетных дисков у субзвезд. С 2004 г. начали поступать данные об околозвездных дисках с космического ИК-телескопа «Спитцер» [38, 40, 47, 72, 101, 107, 129, 134, 138, 162].

Целью обзора является изложение современной концепции астрофизических свойств околозвездных дисков, результатов и проблем их обнаружения по инфракрасным избыткам у компонентов близких звездно-субзвездных систем; анализ данных о популяции ближайших звезд и субзвезд; составление списка выявленных ближайших протопланетных дисков у звезд, а также субзвезд-кандидатов, у которых, возможно, есть диски.

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ОКОЛОЗВЕЗДНЫХ И ОКОЛОСУБЗВЕЗДНЫХ ДИСКОВ

Очевидно, что астрофизические параметры околозвездных и около-субзвездных дисков зависят от возраста и от массы центральных звезд

и субзвезд. У звезд общую продолжительность жизни диска оценивают от нескольких до 30 миллионов лет [118]. Для коричневых карликов и холодных звезд, возраст которых менее 30 Мг, приводится время жизни дисков порядка 6 Мг [28].

Различают четыре основные фазы образования и развития диска [124] (рисунок). Интервал возраста менее 10^4 лет связывают с первой фазой формирования диска. Это объекты нулевого класса, согласно [26]. Характерным признаком этой фазы эволюции является аккреция вещества на центральную часть и дисковую составляющую протозвезды. Темп аккреции \dot{M} , вычисленный из анализа наблюдаемого профиля линии H формирующихся холодных звезд и субзвезд (находящихся на стадии до-главной последовательности), связан с массой центрального объекта M квадратичной зависимостью [28, 32, 109]

$$\dot{M} \propto M^2,$$

так что для субзвезд он равен $\dot{M} \approx 5 \cdot 10^{-12} M_{\odot}/\text{год}$, а для звезд типа Т Тельца солнечного типа — $\dot{M} \approx 5 \cdot 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$ [65].

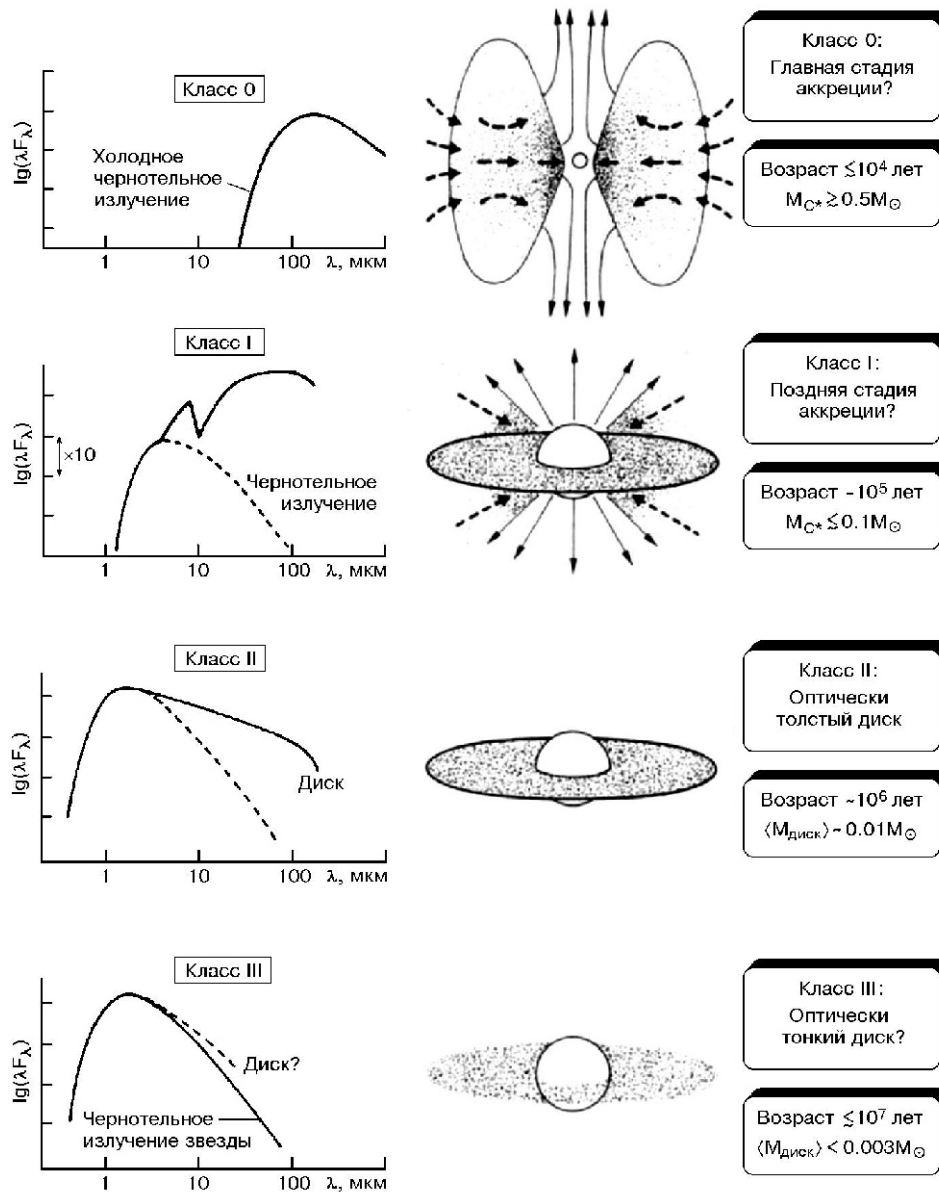
Спектр излучения является чернотельным с максимумом в дальнем ИК- или мм-диапазоне (~ 100 мкм). Наличие УФ-избытка в спектре системы является признаком аккреции газа на поверхность центрального тела, приводящее к появлению горячих пятен [32].

Вторая фаза — фаза поздней аккреции диска (объекты первого класса) — характерна для возраста центрального объекта порядка 10^5 лет. На этой стадии эволюции заканчивается образованием центрального тела и формируется оптически толстый диск. Здесь спектр излучения ожидается «двугорбым». Первый максимум отражает суммарное излучения центрального объекта (излучающего как абсолютно черное тело) и внутренних аккрецирующих слоев, «прикрепленных» к внешней оболочке центрального тела. Вторым максимум связан в основном с чернотельным излучением диска. Для характеристики таких объектов введена мера наклона спектра излучения, характеризующая разностью потоков света F на длинах волн $\lambda = 2.2$ и 10 мкм:

$$i_R = \frac{\lg(F_{2.2})}{\lg(F_{10})}.$$

Для объектов первого класса $i_R > 0$ [32].

На третьей фазе (объекты второго класса), когда возраст объекта достигает 10^6 лет, в центральной области складываются физические условия, характерные для ядер сформировавшихся космических тел с чернотельным излучением. Диск на этой стадии — оптически толстый с температурой внутренних областей, характерной для эффективной температуры центрального тела. Коротковолновая область спектра излучения космического тела с диском является чернотельной (образованная излучением центрального тела), а длинноволновая содержит



Главные стадии звездообразования (сверху вниз) согласно работе [124] — относительные распределения энергии с спектре, геометрия протозвезды, оценки возраста и массы диска

инфракрасную «добавку» к чернотельному излучению центрального тела, образовавшуюся за счет излучения оптически толстого диска. Мера наклона спектра излучения попадает в интервал $-1.5 <_{IR} < 0$ [32]. Объекты этого класса являются классическими представителями звезд типа Т Тельца. Эти звезды являются магнитно-активными с наблюдаемой асимметрией звездного ветра [7]. У них обнаружены

«хромосферные пятна» на поверхности звезды, вызванные аккрецией, и «звездные протуберанцы» [5, 7, 115—117]. Таким образом, происходит одновременно и аккреция вещества протопланетного диска на центральную звезду, и его истечение, которое является также нерегулярным и переменным во времени. Активность таких молодых звезд связывают с результатом взаимодействия вещества протопланетного диска и сильным магнитным полем (~ 0.1 Тл) центральной звезды, которое происходит на расстоянии около $(3...5)R_*$ от ее фотосферы [17]. Здесь магнитное поле вмораживается в вещество диска и вызывает его падение на звезду вдоль силовых линий магнитного поля. При падении аккрецирующее вещество разгоняется до скорости 300 км/с, а затем тормозится в ударной волне, что вызывает высвечивание энергии и его нагревание. Звездный ветер развивается преимущественно в направлении, перпендикулярном к диску: происходит так называемое биполярное истечение [124]. Ожидается, что внутренняя область (ближе 10 а. е.) первичного диска рассеивается на временной шкале $3 \pm (1...10)$ Мг [67, 106] или около 6 Мг [28, 73].

Дальнейшая эволюция на четвертой фазе (объекты третьего класса с возрастом не более 10^7 лет) связана с очищением внутреннего диска за счет ультрафиолетового фотоиспарения, динамического «очищения» путем гравитационных взаимодействий (включая формирование планет-гигантов), возрастания размеров частиц (> 10 мкм) во внутреннем диске [28]. Аккреционное вещество падает на диск быстрее, чем на центральное тело. Ветер от центрального источника выдувает окружающий газ, так что толщина диска увеличивается с расстоянием. Описанные процессы формируют «переходные» (или, как их называют, «осколочные», т. е. вторичные по химическому составу) диски, наблюдаемые у молодых солнцеподобных звезд и звезд с малыми массами [28]. Эти диски представляют собой частично или полностью разреженную внутреннюю область, снаружи которой находится оптически толстый пылевой диск [44].

На внешней области диска (далее 10 а. е.) масса пыли со временем t убывает за счет эффекта Пойнтинга — Робертсона как [137]

$$m_{disk} \propto t^{-1.8}.$$

Согласно наблюдениям звезд главной последовательности с пылевыми дисками их субмм-излучение (от пыли) убывает пропорционально t^{-2} [106, 161], плотность вещества диска уменьшается, он становится оптически тонким. ИК-избыток у таких объектов небольшой, или отсутствует вовсе. Для звезд эта эпоха соответствует стадии Т Тельца [124] со слабой эмиссией в линии H [32]. Наличие ее связывают с признаком аккреции, который хорошо коррелирует с ИК-избытком.

Таким образом, масса протопланетного диска зависит от возраста такой системы и, по видимому, от массы центральной звезды или субзвезды. Она не может существенно превышать массу Риса [126] —

массу космических тел, в которых гравитационная энергия больше тепловой. В противном случае в таких дисках могли бы наступить условия для формирования субзвезд. Как показывает наличие провала коричневых карликов [148] в распределениях масс экзопланет и субзвезд, это не так. Шольц и др. [130] для масс дисков, обнаруженных у коричневых карликов, получили диапазон $0.0003\text{—}0.007 m_{\odot}$ [28].

Типичные размеры открытых протопланетных дисков у звезд достигают 1000 а. е. и более [118]. У субзвезд заподозрено наличие протопланетных дисков с размерами в несколько астрономических единиц [96]. Следовательно, можно ожидать наличия зависимости между размером дисков и массами центральных тел. В. А. Захожай [14] при анализе 107 дисков с массой m , наблюдаемых у одиночных звезд главной последовательности и Т Тельца, обнаружил следующую закономерность между радиусами и массами протопланетных дисков (на интервале масс $m/m_{\odot} = 0.01\text{...}0.1$):

$$r_{disk} = 150(m/m_{\odot})^{0.75} \text{ (а. е.)}.$$

У тесных кратных систем размер диска ограничен влиянием вторичных компонентов [71].

В дисках вокруг звезд и субзвезд проявляются следующие общие свойства:

1) температура и плотность диска зависят от его радиуса, элементного состава и центрального источника (вблизи звезд температура дисков составляет около 1000 К, на периферии — 30 К [118]);

2) в центральных районах околозвездных дисков есть полость с радиусом более $R_{in} \sim 0.1$ а. е. [150], в дисках вокруг субзвезд — $R_{in} = (2\text{...}3)R_*$ [96] (где R_* — радиус центральной субзвезды);

3) диск утолщается с увеличением радиуса [32, 124];

4) наличие спиральной и волновой структуры [46].

Значение радиуса центральной полости R_{in} влияет на значение светимости диска. Согласно Лиу и др. [96] связь между светимостями диска и субзвезды имеет вид

$$L_{disk} = 0.25(R_*/R_{in})L_*.$$

При $R_{in} = R_*$, т. е. для случая молодых дисков, когда центральная щель отсутствует, получим выражение для светимости диска:

$$L_{disk} = 0.25L_*,$$

соответствующее значению, которое приводит Армитейдж [32].

Впервые зависимости температуры и плотности диска от его радиуса искались для описания туманности, из которой образовалась Солнечная система. В графическом виде зависимости температуры протопланетного диска от его радиуса приведены в работах [21, 23] для моделей холодного диска Шмидта — Сафронова (расчет Гуревича и Левина) и «горячего» диска Камерона и Пайна [45] (расчет Ларсона). Проведенный нами анализ показал, что градиенты температурной за-

висимости от расстояния в околозвездных дисках модели Сафронава и «однородной» модели Ларсона идентичны. Они отличаются только тем, что в рассчитанных моделях принимались различные толщины диска. В таком случае можно использовать следующее выражение для вычисления температуры слоя протопланетного диска на расстоянии r от звезды [21]:

$$T = C \frac{1}{2\sqrt{3}} \left(\frac{R_*}{r} \right)^{3/4} T_{\text{эф*}}, \quad (1)$$

где C — постоянная величина, учитывающая геометрическую толщину диска, R_* — радиус звезды, $T_{\text{эф*}}$ — эффективная температура звезды.

Расчетам температурного профиля модели пассивного диска (диска, который переизлучает свет центрального источника) посвящены работы [25, 49, 84]. Простейший вариант такой модели соответствует тонкому плоскому диску, в экваториальной плоскости которого поглощается все попавшее на него излучение центрального тела, и переизлучается по закону черного тела согласно локальной температуре [32]:

$$T = \frac{1}{2} T_{\text{эф*}} \sin^{-1} \left(\frac{R_*}{r} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{R_*}{r} \right)^2}. \quad (2)$$

Решение, полученное для расчета температурного профиля в активных аккреционных дисках методом Франка, Кинга и Рейна [54] имеет следующий вид [32]:

$$T = \frac{3GM_*\dot{M}}{8r^3} (1 - \sqrt{R_*/r})^{1/4}, \quad (3)$$

где G — постоянная тяготения, σ — постоянная Стефана — Больцмана. Эта формула была выведена Шакурой и Сюнаевым [132] как уточнение ранее полученных формул Линден-Белла [198] и Шакуры [24].

Для областей диска, достаточно удаленных от центрального источника ($r \gg R_*$), выражения (2) и (3), с учетом разложения последнего в ряд Тейлора переходят в выражение

$$T = r^{-3/4}, \quad (4)$$

аналогичное приведенной выше зависимости (1). Учет расширения диска по мере удаления от центрального источника дает для больших r температурный профиль [84]:

$$T = r^{-1/2},$$

более плоский, чем (4).

Согласно Варнье и др. [150] для изменения поверхностной плотности диска от его радиуса описывается простой зависимостью

$$r^{-1}.$$

Как следует из рис. 1.3, приведенного в работе [23], такая же зависимость была получена Ларсоном, для которой мы получили следующую аппроксимацию на интервале изменения радиуса диска $r = 0.1...20$ а. е.:

$$= 10^5 r^{-1} \text{ г/см}^2.$$

Вертикальная структура геометрически тонкого диска ($z \ll r$, где z — координата) находится из решения уравнения вертикального гидростатического равновесия [32]

$$\rho_0 \exp(-z^2 / h^2),$$

где h — вертикальный масштаб уменьшения плотности:

$$h = \sqrt{2} c_s / \Omega, \quad (5)$$

— кеплеровская угловая скорость:

$$\Omega = \sqrt{GM_* / r^3}, \quad (6)$$

c_s — скорость звука:

$$c_s = \sqrt{P / \rho}, \quad (7)$$

— параметр.

Отношение

$$h / r = \sqrt{2} c_s / \Omega r = \sqrt{2} c_s r^{1/2} / \sqrt{GM_*}, \quad (8)$$

вычисленное из выражений (5)—(7), определяет физический смысл параметра h/r : при $h/r < 1/2$ диск является толстым, поскольку h/r увеличивается с увеличением его радиуса. Профиль скорости звука для газа с постоянной молекулярной массой [32] имеет вид

$$c_s = \sqrt{P / \rho} = \sqrt{P / (\rho_0 \exp(-z^2 / h^2))} = \sqrt{P / \rho_0} \exp(z^2 / 2h^2). \quad (9)$$

Тогда для кеплеровской скорости $v = \Omega r = r^{1/2} \sqrt{GM_* / r^3}$ отношение (8), вычисленное с использованием выражения (5) и (9), будет иметь вид

$$h / r = \sqrt{2} c_s / \Omega r = \sqrt{2} \sqrt{P / \rho_0} \exp(z^2 / 2h^2) / \sqrt{GM_*} r^{1/2}.$$

Из этого следует, что оптически тонкий диск должен утолщаться с увеличением радиуса. Такое утолщение хорошо объясняют инфракрасные спектральные распределения энергии дисков вокруг звезд с промежуточными массами и многих солнцеподобных звезд [28]. Как следует из наземных ИК-наблюдений, включающих диапазон волн до субмиллиметровой области [30, 32, 110, 112, 114, 130], плоские диски или диски со слабым раструбом часто дают лучшее согласие с данными, чем расширяющиеся диски. Геометрически плоские и оптически толстые модели диска использовались в работах [27, 96] для анализа обнаруженных ИК-избытков у поздних М-карликов. Такие модели можно «оправдать» результатом оседания более крупных частиц пы-

ли на плоскость диска [29, 130]. Кесслер-Силаци и др. [86, 87] обнаружили в большой выборке дисков антикорреляцию между интенсивностью линии и спектральным классом звезд, что предполагает более крупные силикатные частицы вокруг менее массивных звезд [28]. Исследования состава дисков вокруг Ae/Be-звезд Хербига, Т Тельца и субзвезд [29] показали, что кристаллическая часть массы пылевых частиц микронного размера выше вокруг более холодных центральных звезд. На этом основании Апаи и др. [28] предположили, что наблюдаемая пыль сильнее переработана вокруг звезд с низкой массой, чем вокруг звезд с высокой массой.

Пример расчетов распределения энергии в спектре «протяженного» черного тела (диска с внутренним и внешним радиусами R_{in} и R_{out}) можно найти в работах [32, 99]. Предполагается, что каждое кольцо в диске излучает чернотельно с локальной температурой, зависящей от удаления от центрального тела $T(r)$, а спектр излучения представляется интегралом

$$F = \int_{R_{in}}^{R_{out}} 2 \pi r B [T(r)] dr,$$

где B — функция Планка.

Решения, приведенные Армиейджем [32], следующие:

— для области длинных волн ($\lambda \gg hc / [kT(R_{out})]$)

$$F \propto \lambda^{-4};$$

— для области коротких волн ($\lambda \ll hc / [kT(R_{in})]$)

$$F \propto \lambda^{-5} \exp \left[-hc / [kT(R_{in})] \right];$$

— для промежуточных длин волн ($hc / [kT(R_{in})] \ll \lambda \ll hc / [kT(R_{out})]$)

$$F \propto \lambda^{-7/3},$$

где h — постоянная Планка, c — скорость света, k — постоянная Больцмана.

Анализ полученных результатов показал, что предсказываемый ИК избыток для средних ИК-волн несколько ниже наблюдаемого, даже для источников второго класса. Это можно объяснить следующими качественными рассуждениями. Пылинки с диаметром a эффективно поглощают излучение, длина волны которого $\lambda < 2a$, и плохо поглощают свет с длиной волны $\lambda > 2a$. Таким образом, следует ожидать, что диск поглощает излучение центрального источника вблизи его фотосферы, где оптическая глубина $\tau \sim 1$. В далекой области ИК-диапазона этой области $\tau \ll 1$. Из этого следует, что излучение, приходящее из поверхностного слоя диска, является более горячим, чем следует из расчетов модели протяженного чернотельного излучателя [32]. Пыль в поверхностном слое диска излучает как более нагретое тело потому, что эффективнее поглощает излучение центрального источника на более коротких волнах, чем излучает в среднем ИК-диапазоне [133].

ЗВЕЗДНО-СУБЗВЕЗДНАЯ ПОПУЛЯЦИЯ В РАДИУСЕ 10 ПК ОТ СОЛНЦА

Систематический сбор данных о звездах с большими параллаксами лежит в основе каталогов близких звезд Глизе и Ярейса [56—59]. Каталог Вулли и др. [158] содержит более подробные кинематические параметры движения звезд, расположенных ближе 25 пк, но по количественному составу он мало отличается от каталогов [56—59]. Перечисленные каталоги были положены в основу составления каталога В. А. Захожая [8, 10] для звезд, параллаксы которых превышают 0.1 . Они дополнены значениями параллаксов, полученными в Военно-морской обсерватории США [119—123], и данными, полученными из анализа масс невидимых компонентов близких кратных систем [12]. Современный каталог ближайших звезд содержится на сайте <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=V/101>. Он содержит данные о пространственных и кинематических параметрах звезд и систем, а также о массах и радиусах их компонентов.

Полученные HIPPARCOS параллаксы не повлияли на количественный состав выборки ближайших звезд. Это объясняется тем, что ограничение количества «неизвестных» близких звезд связано с недостатком информации о параллаксах слабых звезд. Миссия проекта HIPPARCOS, как известно, ограничивалась определением параллаксов звезд ярче 9^m , и частично звезд $9—11^m$. Основная же проблема селекции ближайших звезд связывается как раз с параллаксами звезд слабее 12^m [9, 11, 15].

При составлении каталогов [8, 10] предпринималась попытка не включать в его состав космические объекты незвездной природы. Это было достигнуто лишь частично: путем невключения в состав звезд компонентов кратных систем, масса которых менее $0.08m_{\odot}$. В 1970—1980-е гг. считалось, что к звездам принадлежат космические объекты, имеющие весь диапазон спектрального М-класса. В 1990-е гг. выяснилось, что звезды как космические тела ограничены спектральным классом М5 [88, 103]. Таким образом, современный интернет-каталог ближайших звезд содержит и поздние М-карлики (М5.5 и позже), которые являются субзвездами. Поэтому определение пространственной плотности ближайших звезд и других важных статистических характеристик [9, 11, 15], несет информацию о звездной и частично субзвездной популяции.

При составлении каталога ближайших протопланетных дисков и вероятных кандидатов необходимо анализировать не только звездную, но и субзвездную составляющую околосолнечной популяции. Это связано с тем, что звезды и субзвезды образуются в результате одинакового механизма, а появление дисков у них связывают с интервалом момента количества движения протозвезд, определяемым неравенством Рузмайкиной [20]. Чтобы иметь полную выборку звезд и субзвезд, в табл. 1 мы привели характеристики ближайших 54 субзвезд, которые имеют статус «субзвезд» и были открыты после публи-

Таблица 1. Открытые субзвезды в области ближе 10 пк от Солнца (r — расстояние до субзвезды, Sp — спектр (спектральный тип и класс светимости))

Номер	Субзвезда	r , пк	Sp
1*	LHS 252	0.01	M5.5V
2**	V* V645 Cen	1.3	M5.5Ve
3	V* UV Cet	2.6	M5.5V
4	V* BL Cet	2.7	M5.5Ve
5*	LHS 2	4.7	M5.5V
6*	V* V1581 Cyg	4.7	M5.5V
7*	LHS 3495	4.9	M5.5V
8	GJ 1245 C	4.9	M5.5V
9	LHS 2077	5.3	M5.5V
10	LHS 546	7.2	M5.5V
11*	GJ 2005	7.4	M5.5V
12*	GJ 3146	8.5	M5.5V
13*	WT 469	9.3	M5.5V
14*	GJ 3855	10.0	M5.5V
15**	V* HH And	3.2	M6Ve
16*	V* EZ Aqr	3.3	M6V
17*	V* WX UMa	4.8	M6V
18*	GJ 268 B	6.4	M6V
19	GJ 105 C	7.2	M6V
20*	LHS 1326	8.9	M6V
21*	LHS 1781	9.0	M6V
22*	V* CN Leo	2.4	M6.5Ve
23*	V* DX Cnc	3.6	M6.5V
24	GJ 3622	4.5	M6.5V
25*	LHS 2090	6.4	M6.5V
26*	GJ 644 D	6.5	M6.5V
27*	LHS 234	9.8	M6.5V
28	GJ 473 B	4.4	M7V
29*	LHS 3003	6.3	M7V
30*	Teegarden's star	3.8	M7.5V
31*	SIPS J1259—4336	3.6	M8V
32	LHS 1850	4.1	M8V
33*	V* EI Cnc	5.3	M8Ve
34*	V* V1298 Aql	6.1	M8V
35*	LP 349—25 B	8.5	M8V
36*	DENIS—P J184504.9—635747	3.5	M8.5V
37*	2MUCD 11792	5.7	M8.5V
38	GJ 2005 B	7.4	M8.5V
39*	DENIS—P J104814.9—395604	4.0	M9V
40*	2MUCD 1020	5.0	M9V
41*	LP 666—9	8.6	M9V
42*	LP 647—013	9.9	M9V
43	GJ 2005 C	7.4	L0V
44*	2MUCD 20029	8.8	L3.5V
45*	2MUCD 11296	7.3	L5V
46*	GJ1001 B	9.6	L5V
47*	DENIS—P J025503.3—470049	6.3	L8V
48*	e Ind Ba	3.6	T1V
49*	e Ind Bb	3.6	T6V

Номер	Субзвезда	r , пк	S_p
50*	2MASS J0937347+293142	6.1	T6V
51	GJ 229 B	5.8	T7Vp
52*	LEHPM 2—461	9.1	T7V
53*	GJ 570 D	5.9	T7.5V
54*	2MASSW J0415195—093506	5.7	T8V

* субзвезды, входящие в каталог 2MASS

** субзвезды, входящие в каталоги 2MASS и IRAS

кации интернет-каталога ближайших звезд. Используются результаты работ [41—43, 52, 60, 74, 89, 104, 111, 127] и данные Астрономической базы данных SIMBAD (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=%401405432&Name=LHS%20%20%20121>). Резерв данных еще имеется в материале об компонентах астрометрических двойных. Эти данные можно найти в обзорах [14, 160], они противоречивы, требуют дополнительного анализа и продолжения исследования независимыми методами.

БЛИЗКИЕ К СОЛНЦУ ЗВЕЗДЫ И СУБЗВЕЗДЫ С ИК-ИЗБЫТКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Систематический поиск околозвездных дисков по анализу ИК-избытков начался вследствие осуществления проекта IRAS: из анализа ИК-излучения на длинах волн $\lambda = 12, 25, 60$ и 100 мкм, которое детектировал этот инфракрасный космический телескоп [113]. Интерпретация избытка излучения в непрерывном участке ИК-спектра связывалась с поиском и исследованием околозвездных дисков у отдельных звезд-кандидатов [139, 154], и в первую очередь у Веги [34, 37, 68, 69, 156], с наличием пояса астероидов и комет [156], с остатками протопланетного диска (по аналогии с зодиакальным светом и облаком Оорта в Солнечной системе) [140, 141]. Особое место в исследованиях придавалось близким к Солнцу звездам [16, 33] и звездам главной последовательности [36, 48, 50, 152, 153]. Так, в диапазоне волн $14—35$ мкм с помощью IRS-спектрографа телескопа «Спитцер» измерялись потоки от 19 близких к Солнцу звезд (k Boo, Ross 128, HR 333, HR 506, HR 818, HR 1082, HR 1338, HR 1570, HR 2015, HR 3220, HR 3862, HR 3927, HR 5447, HR 8085, HR 8549, HR 8799, HD 4732, HD 16157, HD 221354) [80]. ИК-избытки обнаружены у шести звезд (в приведенном списке они подчеркнуты). Для них были построены распределения энергии в спектре и оценены физические параметры околозвездных дисков. Для 22 звезд-кандидатов (HD 142, HD 1237 (GJ 3021), HD 4208, HD 23079, HD 33636, HD 52265, HD 82943, HD 102647 (в Leo), HD 134987, HD 139664, HD 141569, HD 155448,

HD 158643 (51 Oph), HD 160691, HD 163296, HD 179949, HD 207129, HD 217107, HD 319139, HR 4796, HT Lup, SAO 185668), большинство которых принадлежат главной последовательности, с помощью адаптивной оптической системы ADONIS, установленной на 3.6-м телескопе ESO в Чили, была проведена J, H, K_s -фотометрия с целью обнаружения у них околозвездных дисков [131].

Исследование звезд главной последовательности, у которых ход зависимости потока излучения в ИК-диапазоне является похожим на аналогичное распределение энергии в спектре Веги, привело к выделению популяции, получившей название Вега-подобные системы. В работах, посвященных анализу такой популяции, объединялись данные о потоках излучения в оптическом (как правило, полосы $UBVRI$), ИК- (JHKLM) и мм-диапазоне волн [143, 144]. Звезды такой популяции имеются и в каталоге ближайших ИК-объектов [16].

Изучение Вега-подобных систем вошло в состав научной программы Инфракрасной космической обсерватории ISO [85], оснащенной фотометрической многоканальной камерой ISOPHOT (диапазон $\lambda = 2.5...200$ мкм). При исследовании 12 Вега-подобных звезд (Вега, Живописца, Фомальгаут, Eri, 49 Ceti, HD34700, HD98800, HD135344, HD139614, HD142666, HD144432, HD169142) длинноволновая камера ISOPHOT на длинах волн 60 и 90 мкм использовалась для составления околозвездных карт с целью установления факта расширения их пылевых дисков; получение спектров низкого разрешения (в интервале $\lambda = 5.8...11.6$ мкм) было направлено на поиск силикатных зерен в околозвездной пыли и исследования ее молекулярных особенностей [151]. Другие кандидаты в Вега-подобные системы для наблюдений в мкм-диапазоне приведены в работе [78].

Аналогично Вега-подобным выделяют системы, похожие на Живописца. С целью исследования таких систем была проведена фотометрия 33 звезд поля Галактики на длинах волн $\lambda = 3.6...8$ мкм матричной ИК-камерой IRAC, установленной на Космическом телескопе «Спитцер» в рамках программы GLIMPSE (Galactic Legacy Infrared Mid-Plane Survey Extraordinaire) [149]. Номера этих звезд согласно обзору GLIMPSE:

G284.3535–00.2021 (10250358–5741409),
 G284.1744–00.5141 (10224039–5751461),
 G283.8842–00.3361 (10213378–5733229),
 G284.1241–00.2429 (10232673–5736249),
 G284.0185–00.1803 (10230188–5729511),
 G284.0547–00.5695 (10214145–5750415),
 G284.0719–00.1637 (10232601–5730435),
 G284.0110–00.1208 (10231333–5726356),
 G284.2320–00.1670 (10242577–5736016),
 G284.0658–00.3254 (10224485–5738431),
 G283.9773–00.3948 (10215463–5739217),

G283.9935–00.1944 (10224911–5729455),
 G283.9239–00.5103 (10210640–5743271),
 G283.9153–00.4337 (10212181–5739183),
 G284.0478–00.1686 (10231576–5730119),
 G283.9076–00.1997 (10221550–5727151),
 G283.9040–00.3687 (10213333–5735398),
 G284.3417–00.2049 (10245840–5741272),
 G283.9403–00.2636 (10221243–5731324),
 G284.1728–00.2039 (10235451–5736004),
 G284.1277–00.5835 (10220574–5753460),
 G284.0335–00.2091 (10230066–5731474),
 G284.2642–00.3156 (10240243–5744359),
 G284.0501–00.2464 (10225795–5734130),
 G283.9567+00.1258 (10235162–5712213),
 G283.9776+00.1738 (10241078–5710353),
 G284.2980–00.5951 (10230784–5759512),
 G283.9831–00.5360 (10212249–5746404),
 G284.0107–00.1372 (10230932–5727250),
 G283.9764–00.1365 (10225656–5726168),
 G284.4730–00.2456 (10253880–5747417),
 G283.9309–00.0712 (10225509–5721302),
 G283.9809–00.1931 (10224464–5730119),

где в скобках приведены соответствующие номера по каталогу 2MASS. Большинство этих звезд (по-видимому, 29) принадлежат главной последовательности. Табличные значения ИК-потокосвеченности в систему звездных величин в полосах V, J, H, K .

Для объяснения минералогического состава околозвездного диска Веги, в частности наличием в пылевой составляющей оливина, тепловой спектр которого был рассчитан теоретически, было построено ее компиляционное распределение в спектре для интервала длин волн $\lambda = 0.1 \dots 1000$ мкм [108]. Наряду с хорошо изученными потоками оптического и коротковолнового ИК-диапазонов, использовались данные IRAS [152], ISOPHOT [70] и субмиллиметровые потоки [76]. Для аналогичного интервала длин волн (0.1—1000 мкм) построено распределение энергии в спектре системы Фомальгаута, в основу которого положены наблюдения Космического телескопа «Спитцер», использовавшего фотометр MIPS и спектрограф IRS, принимающих излучения на длинах волн $\lambda = 24, 70, 160$ мкм и в диапазоне $\lambda = 17.5 \dots 34$ мкм соответственно [138]. Используются также данные об излучении системы Фомальгаута в видимом и ближнем ИК-диапазонах [55, 79], исходного каталога IRAS и субмиллиметрового излучения [75]. Распределение энергии в коротковолновой ИК-области спектра (в интервале длин волн $\lambda = 8 \dots 13$ мкм) Живописца, сосредоточенное в его центральной области от 0 до 2.4 μ , получено с помощью длинноволнового спектрографа LWS обсерватории Кека [155]. На 10-м телескопе Кек I и 5-м Паломарском телескопе с помощью LWS- спектрографа произ-

ведена фотометрия в области $\lambda = 10$ мкм 21 близких молодых звезд с ИК-избытками (AA Tau, DI Tau, CD-33o7795, Hen 3—600A, HD 109573A, CD-38o6968, HD 147809, HD 145519, HD 102647, HD 17925, CD-40o8434, HD 216803, V525 Per, RE J0137+18A, RE J0137+18B, HD 60737, HD 70573, HD 70516, HD 77407, HD 88638, HD 107146) [105]. 13 из них являются звездами спектрального класса F—K («солнечные аналоги»), четыре — класса В или А, четыре — М-карлика. Наблюдения были дополнены известными данными *UBVRILMNQ*-фотометрии, *JHKs*-данными, взятыми из каталога 2MASS, данными для длинноволновой ИК-области спектра отдельных систем [35, 81]. Это позволило для всех 21 звезд построить распределения энергии на спектральном интервале 0.1...1000 мкм.

Фотометрия пяти звезд фактически солнечного типа (спектральных классов главной последовательности G0—K0: HD 105, HD 47875, HD 150706, HD 157664, HD 161897), была проведена с помощью КТ «Спитцер» в рамках программы FEPS (Formation and Evolution of Planetary Systems) [107]. Для детектирования потоков в пределах 3—160 мкм использовалась камера IRAC и многополосный фотометр MIPS. В интервале 4...35 мкм измерения производились спектрографом IRS для двух источников HD 105 и HD 150706. Для этих же источников были получены распределения энергии в их спектрах с явно выраженным ИК-избытком в полосе длин волн $\lambda = 24...160$ мкм. ИК-избытки изучались для 26 звезд солнечного типа (спектральные классы FGK) с открытыми у них методом лучевых скоростей планетами, расположенными на расстоянии 11—59 пк от Солнца [38]. Их номера по HD-каталогу следующие:

142 (GJ 4.2A)	75732 (55 () Cnc)	143761 () CrB)
1237 (GJ 3021)	82943 (BD -11 2670)	145675 (14 Her)
13445 (Gl 86)	95128 (47 UMa)	160691 () Ara, GJ 691)
17051 () Hor, HR 810)	114783 (GJ 3769)	168443 (GJ 4052)
27442 (GJ 167.3)	117176 (70 Vir)	169830 (HR 6907)
33636 (BD +04 858)	120136 () Boo,	177830 (GJ 743.2)
39091 (GJ 9189)	GJ 527A)	186427 (16 Cyg B)
50554 (BD +24 1451)	128311 (GJ 3860)	210277 (GJ 848.4)
52265 (HR 2622)	134987 (23 Lib)	216437 () Ind)

Здесь в скобках приведены собственные имена звезд и/или их номера каталогу близких звезд Глизе и Ярейса [56—59]. Фотометрия проводилась мультиполосным фотометром MIPS, установленным на КТ «Спитцер», на длинах волн 24 и 70 мкм. Избытки не были обнаружены на длине волны 24 мкм, в то время как у шести звезд были обнаружены ИК-избытки на $\lambda = 70$ мкм (HD 33636, HD 50554, HD 52265, HD 82943, HD 117176, HD 128311). Для двух звезд (HD 82943 и HD 117176) построены распределения энергии в спектрах с привлечением данных о потоках на длинах волн 12 и 25 мкм, измеренных IRAS, и субмилли-

метрового диапазона (850 мкм), зарегистрированного фотометром SCUBA (на телескопе JCMT) [61]. Результаты ИК-фотометрии КТ «Спитцер» в рамках программы FEPS (на длинах волн $\lambda = 3.6, 4.5, 8.0, 13, 24, 33, 70, 160$ мкм) 37 ярких осколочных дисков со звездами представлены в работе [72]. Эти системы с дисками (HD 104860, HD 105, HD 107146, HD 122652, HD 141943, HD 14306, HD 145229, HD 150706, HD 17925, HD 187897, HD 191089, HD 201219, HD 202917, HD 204277, HD 206374, HD 209253, HD 219498, HD 22179, HD 25457, HD 31392, HD 35850, HD 37484, HD 377, HD 38207, HD 38529, HD 61005, HD 6963, HD 70573, HD 72905, HD 85301, HD 8907 MML 17, PDS 66, [PZ99] J161411.0- 230536, RX J1111.7-7620, RX J1842.9-3532, RX J1852.3-3700), расположенные в пределах 10—153 пк, выбирались из полной выборки исследуемых 328 звезд по программе FEPS таким образом, чтобы их возраст попадал в интервал 0.003—3 млрд лет. Для этих систем построены распределения энергии в спектрах, проведены оценки температуры, внутреннего радиуса и минимальной массы околозвездных дисков. Приводится также список из пяти звезд с неподтвержденными данными о наличии у них осколочных дисков (HD 41700, HD 104467, HD 134319, HD 216803, ScoPMS 214).

Приемник излучения ISOPHOT ISO ($\lambda = 25$ мкм) был использован с целью составления фотометрического обзора 81 ближайшей звезды главной последовательности для установления уровня нагрева околозвездных пылевых дисков в зависимости от их возраста [91]. Их номера по HD-каталогу следующие:

693	14802	33262	88230	115383	157214	203280
1581	15008	34411	90839	117176	157881	203608
4628	17051	37394	95128	120136	160691	207129
4813	17925	38392	97603	126660	166620	209100
7570	19373	38393	101501	128167	172167	215789
9826	20630	38678	102365	134083	173667	216956
10700	20766	39060	102647	139664	185144	217014
10780	20807	43834	106591	142373	185395	219134
12311	22001	48915	110833	142860	187642	222368
13445	22484	50281	112758	149661	191408	
13709	26965	74576	114710	154088	192310	
14412	30495	84737	114762	156026	197692	

Для измерения потоков в более длинноволновой области электромагнитного излучения использовались 15 м JCMT-телескоп (с вышеупомянутым фотометром SCUBA) и субмиллиметровый 10 м телескоп Генриха Герца SMT0. Были измерены потоки 15 Вега-подобных звезд (HD 34700, HD 39944, HD 42137, HD 43954, HD 43955, HD 56192, HD 98800, HD 110058, HD 121617, HD 123160, HD 131885, HD 141569, HD 145263, HD 176638, HD 233517) на длине волны 1.35 мм (SCUBA)

[142] и 11 звезд (10 близких Вега-подобных и одна Ae-звезда Хербига: HD 4614, HD 10700, HD 32923, HD 37357, HD 39415, HD 82189, HD 102647, HD 131156, HD 165341, HD 185144, HD 192425) на длине волны 1.30 мм [77]. Полученные данные были скомпилированы с ранее зафиксированными потоками IRAS и потоками более коротковолнового участка, включая видимый диапазон, для получения распределения энергии в спектрах этих объектов и проведения оценок масс околозвездной пыли. Аналогичные исследования с использованием телескопа JCMT с фотометром SCUBA на длинах волн 450 мкм и 850 мкм были проведены для 3 Ворона [159] и восьми близких молодых звезд (HD 35850, HD 199143, HD 358623 (AZ Cap), GJ 803 (AU Mic), GJ 799 (AT Mic), EK Dra (HD 129333), HD 77407, GJ 182), похожих на систему Живописца [95]. У двух из них (GJ 803 (AU Mic) и GJ 182) были обнаружены избытки излучения. Это позволило в сочетании с данными об их излучении на более коротких длинах волн построить кривые распределения в спектре на участке от 0.1 до 1000 мкм и оценить массу пыли околозвездных дисков.

Непрерывный спектр излучения диска получают из анализа ИК- и УФ-избытков [32, 124]. Отмечается корреляция не только между ними, а и между ними и наличием аккреции [32]. Вращательные и колебательные переходы молекул H_2 , CO, CS, NH_3 , H_2O , CH, OH и др. проявляются в наличии соответствующих линий в спектре [124]. Форма и интенсивность излучения (поглощение) этих линий несет информацию о температуре, концентрации диска, его вращении, сжатии, распределении вещества в диске. Излучение в линии H α характеризует процесс аккреции на центральный источник [32] и коррелирует с наличием ИК-избытка. Наличие поляризованного излучения характеризует пылевые частицы в диске: их концентрацию, размер, химический состав.

Наблюдения в линиях также способствуют установлению химического состава и геометрических параметров околозвездных дисков. Спектрометр SWS ISO, обеспечивающий детектирование на длине волны 28 мкм, позволил надежно измерить наличие молекулярного водорода (H_2) у осколочных дисков Вега-подобных звезд: ρ Pic, 49 Cent и HD135344 [146]. Наблюдения линий в далеком УФ-диапазоне спектре ρ Pic космическим телескопом FUSE (Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer) позволило выявить молекулярный водород и угарный газ CO [92]. Проведенные наблюдения на телескопе JCMT (James Clerk Maxwell Telescope) показали отсутствие линий CO в спектре околозвездного пылевого диска Eri [51]. Наблюдение на 2.7-м телескопе Смита со спектрометром CS21 (Coude Spectrometer [147]) оптического дублета Na I (589.59242 и 588.99510 нм) звезды HD 3229 позволило открыть газовое поглощение от края осколочного околозвездного диска типа ρ Pic [125].

Как известно, открытие субзвезд (коричневых карликов) привело к необходимости в конце 1990-х гг. ввести дополнительные спект-

ральные типы L и T [88, 103]. При уточнении шкалы эффективных температур звезд выяснилось, что минимальным по массе звездам (пределу Кумара) отвечает спектральный класс M5V. Более поздние спектры (M5.5V и далее) характеризуют уже субзвезды. Таким образом, часть ближайших объектов, которые ранее считались звездами, являются на самом деле субзвездами. Типичный пример — Проксима Центавра спектрального типа M5.5. Следовательно, ИК-избытки поздних M-карликов могут отражать наличие у них дисков. Как видно из табл. 1, большинство ближайших субзвезд (42 из 54) имеют ИК-излучение на $\lambda = 2$ мкм, а два из них — еще и зафиксированы обсерваторией IRAS (V* V645 Cen — Proxima и V* HH And). Все они представляют интерес с точки зрения поиска у них дисков.

В заключение следует отметить, что каталог COBE DIRBE содержит данные о точечной ИК-фотометрии 11788 источников [136]. Он является важным составным элементом исследования фотометрии околозвездных дисков, излучающих в диапазоне волн от 1.25 до 240 мкм.

СТРУКТУРА ИЗОБРАЖЕНИЙ БЛИЖАЙШИХ ОКОЛОЗВЕЗДНЫХ ДИСКОВ

В табл. 2 приведены основные данные о шести дисках, обнаруженных в окрестностях 10 пк. Основные данные для систем Eri, PsA, Lyr, Cep и AU Mic приведены из работы [128], для Cet — из работ [64, 66]. Массы для всех звезд и радиус для Cet приведены из работ [12, 13]. Диски Eri, PsA, Lyr, Cep и AU Mic являются осколочными, т. е. вторичными — образовавшимися путем дробления первичных планетезималей [128]. Диск у Cet также осколочный, но более поздний, предположительно состоящий из объектов, похожих на объекты пояса Койпера [64].

Изображения пяти (Eri, Cet, PsA, Lyr, AU Mic) из шести систем, приведенных в табл. 2, получены в нескольких диапазонах волн. Первыми были получены изображения Веги (Lyr) и Фомальгаута (PsA) на длине волны $\lambda = 850$ мкм [76]. Вега в субмиллиметровом диапазоне спектра выглядит как одиночный источник со сложным распределением яркости, максимум которой смещен относительно местоположения звезды. Более информативным выглядит изображение Веги в близком ИК-диапазоне ($\lambda = 10.6$ мкм) [94]: центральная эллипсообразная область окружена примерно повторяющим форму тонким кольцом, имеющим неоднородную яркость. В K-полосе в окрестностях Веги обнаружены яркие «точки» неизвестной природы [100].

Система Фомальгаута выглядит как двойной источник, между которыми находится звезда [75, 76]. Такая структура характерна для изображения дискового источника с «центральной дырой», наклоненного

Таблица 2. Звезды с дисками, расположенные от Солнца в пределах 10 пк (d — расстояние, t — возраст, Sp — спектр; m/m_{\odot} и R/R_{\odot} — масса и радиус звезд; R_d — радиус диска, $(m_d/m_E) 10^{-4}$ — масса диска, T_d — эффективная температура)

Название	d , пк	t , Мг	Звезда			Диск		
			m/m_{\odot}	R/R_{\odot}	Sp	$(m_d/m_E) 10^{-4}$	R_d , а. е.	T_d , К
Eri	3.2	730	0.80	0.69	K2V	26.1	27	40
Cet	3.7	10000	0.94	0.99	G8V	2)5	55	60
PsA	7.7	100—300	2.05	1.81	A3V	24.1	~160	65
Lyr	7.8	220	2.40	2.58	A0Vvar	83.7	93	80
Lep	9.0	>1000	1.19	1.18	F7V	4.48	15	90
AU Mic (тройная система)	9.9	12	0.49	0.86	M1Ve	88.0	9	50

к лучу зрения и полученного с низким пространственным разрешением. Качественно такая структура изображения Фомальгаута наблюдается и на более коротких волнах: $\lambda = 450$ мкм [75] и на $\lambda = 350$ мкм [102]. На изображении Фомальгаута, полученного Космическим телескопом Хаббла с высоким пространственным разрешением на длине волны $\lambda = 0.6$ мкм, удалось обнаружить формирующуюся планету [82]. Диск имеет сложную морфологическую структуру. Внешняя его часть является наиболее яркой, внутри нее расположена близкая к круговой структура, пронизанная радиальными «спицами». Обнаруженная планета находится между этими составляющими диска. Центральная область, по-видимому, полая.

Яркий диск просматривается в системе AU Mic в полосах V -, B -, I - [90], R - [83], H - [93] и в синтезированном изображении в JHK -полосах [53]. Это самый молодой околозвездный диск, известный в окрестностях Солнца; на полученных изображениях виден светящийся газ.

В окрестностях Eri также обнаружены, как и возле Веги, яркие «точки» неизвестной природы [100]. Изображение этой системы, полученное на длине волны 850 мкм, имеет сложную структуру и обладает примерной центральной симметрией (принципиально, оно имеет аналогичную структуру и на длине волны $\lambda = 450$ мкм): наблюдается неоднородное по яркости кольцо с низким пространственным разрешением [62, 63].

Система Cet, как и система Фомальгаута, вероятно, наблюдается с ребра. Изображение Cet, полученное на длине волны $\lambda = 850$ мкм, концентрируется в трех областях, являющихся существенно неоднородными [64]. Центральная область имеет два максимума, один из которых совпадает с центральной звездой. Боковые источники отражают неоднородность кольца, предположительно являющегося аналогом пояса Койпера, заключенного между 35 и 55 а. е. от звезды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Околосолнечные диски стали предметом наблюдательной астрономии и интенсивно исследуются в последние 25 лет с помощью наземных и космических средств исследования. В этот период удалось составить представления о звездной популяции, входящей в самые ближайшие окрестности Солнца и выявить субзвездную составляющую. Представления об протопланетных дисках получили существенное развитие в связи с развитием не только теории строения и эволюции этих объектов, а и благодаря исследованиям реально наблюдаемых объектов. Важную роль здесь сыграли исследования распределения энергии спектров звезд и субзвезд с дисками. Большое значение имеет получение изображений околосолнечных дисков в различных областях инфракрасного участка спектра. Для исследования эволюционных процессов развития протопланетных дисков важное место занимают методы оценки их возраста. Это открывает перспективу определения возраста молодых звезд и субзвезд из анализа наблюдаемых параметров дисков. Исследование ближайших протопланетных дисков, получение их изображений дает возможность исследовать их «тонкую структуру», недоступную для наблюдения удаленных систем. Выявление всех таких систем в ближайшей околосолнечной области позволит объективно оценить также долевое содержание планетных систем различного возраста среди звездно-субзвездной популяции. Обнаружение планет в эволюционирующих протопланетных дисках открывает перспективу установления временной шкалы их развития. Повышение чувствительности приемной аппаратуры, увеличение апертуры телескопов и вынос их за пределы земной атмосферы позволит обнаруживать и исследовать протопланетные диски у субзвезд. И такие исследования уже начались: обнаружены первые кандидаты в протопланетные диски по избыткам ИК-излучения [96], отождествлены ближайшие к Солнцу субзвезды с источниками каталога 2MASS (табл. 1).

1. Александров Ю. В., Захожай В. А. Что такое планеты // Астрон. вестн.—1980.—14, № 3.—С. 129—132.
2. Александров Ю. В., Захожай В. А. Проблемы внесолнечных планет в Галактике // Астрон. вестн.—1983.—17, № 3.—С. 131—144.
3. Александров Ю. В., Захожай В. А. Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска // Проблемы поиска жизни во Вселенной. — М.: Наука, 1986.—С. 201—210.
4. Блэк Д., Саффолк Г. К. Д. Спутники звезды Барнарда с точки зрения теории возмущений // Происхождение Солнечной системы / Под ред. Г. Ривса / Пер. с англ. — М.: Мир, 1976.—С. 496—500.
5. Гершберг Р. Е. Основные научные достижения Лаборатории физики звезд и галактик // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2008.—104.—С. 49—54.
6. Голд Т. Другие планетные системы // Проблема СЕТИ (связь с внеземными цивилизациями) / Под ред. С. А. Каплана. — М.: Мир, 1975.—С. 15—25.

7. *Гринин В. П., Петров П. П., Шаховская Н. И.* Результаты спектроскопических и фотометрических патрульных наблюдений RW Aurigae. I. Переменность балмеровских линий // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1985.—**71**.—С. 109—127.
8. *Захожай В. А.* Ближайшие звезды // Вестн. Харьков. ун-та.—1979.— № 190, вып. 14: Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия.—С. 52—77.
9. *Захожай В. А.* Функция светимости и пространственная плотность ближайших звезд // Астрометрия и астрофизика.—1980.—Вып. 42.—С. 64—69.
10. *Захожай В. А.* Дополнения и исправления каталога ближайших звезд до 10 пс // Вестн. Харьков. ун-та.—1982.—№ 232, вып. 17: Астрометрия и физика Солнечной системы.—С. 64—70.
11. *Захожай В. А.* Статистические свойства звезд и кратных систем в области 10 пк // Астрономо-геодезические исследования: Близкие двойные и кратные звезды. —Свердловск: УрГУ, 1990.—С. 44—54.
12. *Захожай В. А.* Массы ближайших звезд // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—**10**, № 2.—С. 68—73.
13. *Захожай В. А.* Радиусы и спектры ближайших звезд // Кинематика и физика небес. тел.—2002.—**18**, № 6.—С. 535—552.
14. *Захожай В. А.* Проблема существования планетных систем. II. Ожидаемые свойства и первые результаты поиска // Вісник астрон. школи.—2005.—**4**, № 2.—С. 55—72.
15. *Захожай В. А.* Статистические закономерности в звездных системах: Дис. ... докт. физ.-мат. наук. — Харьков, 2007.—317 с.—Машинопись.
16. *Захожай В. А., Шапаренко Э. Ф., Васильев В. П., Васильева Л. В.* ИК-источники в окрестностях Солнца // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—**10**, № 2.—С. 74—85.
17. *Кравцова А. С.* Анализ ультрафиолетовых спектров звезд типа Т Тельца: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — М.: МГУ, 2004.—87 с.
18. *Мороз В. И.* Методы поиска внесолнечных планетных систем // Проблемы поиска внеземных цивилизаций. — М.: Наука, 1981.—С. 171—172.
19. *Ридгрен А. У.* Интерпретация наблюдений звезд типа Т Тельца в инфракрасной области спектра // Протозвезды и планеты / Под ред. Т. Герелса. — М.: Мир, 1982.—Т. 2.—С. 790—799.
20. *Рузмайкина Т. В.* Угловой момент протозвезд, порождающих протопланетные диски // Письма в Астрон. журн.—1981.—**7**.—С. 188—190.
21. *Сафронов В. С.* Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. — М.: Наука, 1969.—244 с.
22. *Тер Хаар Д.* Является ли звезда Барнарда другой Солнечной системой // Происхождение Солнечной системы / Под ред. Г. Ривса / Пер. с англ. — М.: Мир, 1976.—С. 502—503.
23. *Уорд У. Р.* Образование Солнечной системы // На переднем крае астрофизики. — М.: Мир, 1979.—С. 9—48.
24. *Шакура Н. И.* Дисковая модель аккреции газа релятивистской звездой в двойной системе // Астрон. журн.—1972.—**49**.—С. 921—929.
25. *Adams F. C., Shu F. H.* Infrared spectra of rotating protostars // *Astrophys. J.*—1986.—**308**, N 2.—P. 836—853.
26. *Adams F. C., Lada C. J., Shu F. H.* Spectral evolution of young stellar objects // *Astrophys. J.*—1987.—**312**, N 2.—P. 788—806.
27. *Alcala J. M., Spezzi L., Frasca A., et al.* The first brown dwarf with a disk in Cha-maeleon II // *Astron. and Astrophys.*—2006.—**453**.—P. L1—L4.

28. *Apai D., Luhman K., Liu M. C.* Disks around brown dwarfs and cool stars // arXiv:astro-ph/0702286v1 10 Feb 2007.
29. *Apai D., Pascucci I., Bouwman J., et al.* The onset of planet formation in brown dwarf disks // *Science*.—2005.—**310**.—P. 834—836.
30. *Apai D., Pascucci I., Henning Th., et al.* Probing dust around brown dwarfs: The naked LP 944-20 and the disk of Chamaeleon H₂ // *Astrophys. J.*—2002.—**573**.—P. L115—L117.
31. *Apai D., Pascucci I., Sterzik M. F., et al.* Grain growth and dust settling in a brown dwarf disk: Gemini/T-ReCS observations of CFHT-BD-Tau 4 // *Astron. and Astrophys.*—2004.—**426**.—P. L53—L57.
32. *Armitage P. J.* Lecture notes on the formation and early evolution of planetary systems // arXiv:astro-ph/0701485v1 16 Jan 2007.
33. *Aumann H. H.* IRAS observations of matter around nearby stars // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1985.—**97**.—P. 885—891.
34. *Aumann H. H., Beichman C. A., Gillett F. C., et al.* Discovery of a shell around Alpha Lyrae // *Astrophys. J.*—1984.—**278**.—P. L23—L27.
35. *Aumann H. H., Probst R. G.* Search for Vega-like nearby stars with 12 micron excess // *Astrophys. J.*—1991.—**368**.—P. 264—271.
36. *Backman D. E., Gillett F. C.* Exploiting the infrared: IRAS observations of the main sequence // *Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun* / Eds J. L. Linsky, R. E. Stencel. — Berlin: Springer-Verlag, 1987.—P. 340—360.
37. *Backman D. E., Paresce F.* Main sequence stars with circumstellar solid material: The Vega Phenomenon // *Protostars and Planets III* / Eds E. H. Levy, J. I. Lunine. — Tucson: Univ. Arizona Press.—P. 1253—1304.
38. *Beichman C. A., Bryden G., Rieke G. H., et al.* Planets and infrared excesses: Preliminary results from a SPITZER MIPS survey of solar-type stars // *Astrophys. J.*—2005.—**622**.—P. 1160—1170.
39. *Black D. C.* In search of other planetary systems // *Space Sci. Rev.*—1980.—**25**, N 1.—P. 35—82.
40. *Bryden G., Beichman C. A., Trilling D. E., et al.* Frequency of debris disks around solar-type stars: First results from a Spitzer MIPS survey // *Astrophys. J.*—2006.—**636**.—P. 1098—1113.
41. *Burgasser A. J., Kirkpatrick J. D., Brown J. D., et al.* Discovery of four field methane (T-type) dwarfs with the Two Micron All-Sky Survey // *Astrophys. J.*—1999.—**522**, N 1.—P. L65—L68.
42. *Burgasser A. J., Kirkpatrick J. D., Cutri R. M.* Discovery of brown dwarf companion to the Gl 570ABC: a 2MASS T dwarf significantly cooler than Gl 229B // *Astrophys. J.*—2000.—**531**, N 1.—P. L57—L60.
43. *Burgasser A. J., Kirkpatrick J. D., Reid I. N., et al.* Detection of H emission in a methane (T-type) brown dwarfs // *Astron. J.*—2000.—**120**.—P. 473—478.
44. *Calvet N., D'Alessio P., Hartmann L., et al.* Evidence for a developing gap in a 10 Myr old protoplanetary disk // *Astrophys. J.*—2002.—**568**.—P. 1008—1016.
45. *Cameron A. G. W., Pine M. R.* Numerical models of the primitive solar nebula // *Icarus*.—1973.—**18**.—P. 377—406.
46. *Cassen P.* Protostellar disks and planet formation // *Extrasolar Planets of P. Cassen, T. Guillot, A. Quirrenbach* / Saas-Fee Advanced Course 31. Swiss Society for Astrophysics and Astronomy / Eds D. Queloz, S. Udry, M. Mayor, W. Benz. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2006.—242 p.
47. *Chen C. H., Patten B. M., Werner M. W., et al.* A Spitzer study of dusty disks around nearby, young stars // *Astrophys. J.*—2005.—**634**.—P. 1372—1384.

48. *Cheng K.-P., Bruhweiler F. C., Kondo Y., Grady C. A.* Newly identified main-sequence A stars with circumstellar dust // *Astrophys. J. Lett.*—1992.—396.—P. L83—L86.
49. *Chiang E. I., Goldreich P.* Spectral energy distributions of T Tauri stars with passive circumstellar disks // *Astrophys. J.*—1997.—**490**, N 1.—P. 368—376.
50. *Cohen M., Schwartz D. E., Chokshi A., Walker R. G.* IRAS colors of normal stars // *Astron. J.*—1987.—**93**.—P. 1199—1219.
51. *Coulson I. M., Dent W. R. F., Greaves J. S.* The absence of CO from the dust peak around eps Eri // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2004.—**348**.—P. L39—L42.
52. *Cruz K. L., Reid I. N.* Meeting the cool neighbors III: spectroscopy of northern NLTT stars // *Astron. J.*—2002.—**123**.—P. 2828—2840.
53. *Fitzgerald M. P., Kalas P. G., Duchene G., et al.* The AU Microscopii debris disk: Multiwavelength imaging and modeling // *Astrophys. J.*—2007.—**670**.—P. 536—556.
54. *Frank J., King A., Raine D.* Accretion power in astrophysics: 3rd edit. — Cambridge: Univ. Press, 2002.—398 p.
55. *Glass I. S.* JHKL Photometry of 145 Southern Stars // *Mon. Notes Astron. Soc. South. Afr.*—1974.—**33**.—P. 53—58.
56. *Gliese W.* Catalogue of nearby stars. — Karlsruhe: Braun, 1969.—118 p.
57. *Gliese W.* Smethell's stars nearer than 25 parsecs // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 1981.—**44**.—P. 131—135.
58. *Gliese W., Jahreiss H.* Nearby star data published 1969—1978 // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1979.—**38**.—P. 423—448.
59. *Gliese W., Jahreiss H.* Catalogue of nearby stars: 3-rd ed. — Data Centre CD-ROM. Selected Astronomical Catalogs.—1993.—1.
60. *Goldman B. et al.* EROS 2 proper motion survey: a field brown dwarf, and an L dwarf companion to LHS 102 // *Astron. and Astrophys.*—1999.—**351**, N 1.—P. L5—L9.
61. *Greaves J. S., Holland W. S., Jayawardhana R., et al.* A search for debris disks around stars with giant planets // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2004.—**348**.—P. 1097—1104.
62. *Greaves J. S., Holland W. S., Moriarty-Schieven G., et al.* A dust ring around epsilon Eridani: Analog to the young solar system // *Astrophys. J.*—1998.—**506**.—P. L133—L137.
63. *Greaves J. S., Holland W. S., Wyatt M. C., et al.* Structure in the epsilon Eridani debris disk // *Astrophys. J.*—2005.—**619**.—P. L187—L190.
64. *Greaves J. S., Wyatt M. C., Holland W. S., Dent W. R. F.* The debris disc around tau Ceti: A massive analogue to the Kuiper Belt // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2004.—**351**.—P. L54—L58.
65. *Gullbring E., Hartmann L., Bricezo C., Calvet N.* Disk accretion rates for T Tauri stars // *Astrophys. J.*—1998.—**492**, N 1.—P. 323—341.
66. *Habing H. J., Dominik C., Jourdain de Muizon, M., et al.* Incidence and survival of remnant disks around main-sequence stars // *Astron. and Astrophys.*—2001.—**365**.—P. 545—561.
67. *Haisch K. E., Lada E. A., Lada C. J.* Disk frequencies and lifetimes in young clusters // *Astrophys. J.*—2001.—**553**.—P. L153—L156.
68. *Harper D. A., Loewenstein R. F., Davidson J. A.* On the nature of the material surrounding VEGA // *Astrophys. J.*—1984.—**285**.—P. 808—812.
69. *Harvey P. M., Wilking B. A., Joy M.* On the far-infrared excess of VEGA // *Nature*.—1984.—**307**.—P. 441—442.
70. *Heinrichsen I., Walker H. J., Klaas U.* Infrared mapping of the dust disc around VEGA

- // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1998—**293**.—P. L78—L82.
71. *Heppenheimer T. A.* Outline of a theory planet formation in binary systems // *Icarus*.—1974.—**22**.—P. 436—447.
72. *Hillenbrand L. A., Carpenter J. M., Kim J. S., et al.* The complete census of 70 m-bright debris disks within «the Formation and Evolution of Planetary Systems» Spitzer Legacy Survey of Sun-like Stars // *Astrophys. J.*—2008.—**677**.—P. 930—656.
73. *Hillenbrand L., Strom S., Carvet N., et al.* Circumstellar disks in the Orion Nebula Cluster // *Astron. J.*—1998.—**116**.—P. 1816—1841.
74. *Hinz J. L., McCarthy D. W., Jr., Simons D. A., et al.* A near-infrared, wide-field, proper-motion search for brown dwarfs // *Astron. J.*—2002.—**123**.—P. 2027—2032.
75. *Holland W. S., Greaves J. S., Dent W. R. F., et al.* Submillimeter observations of an asymmetric dust disk around Fomalhaut // *Astrophys. J.*—2003.—**582**.—P. 1141—1146.
76. *Holland W. S., Greaves J. S., Zuckerman B., et al.* Submillimetre images of dusty debris around nearby stars // *Nature*.—1998.—**392**.—P. 788—791.
77. *Holmes E. K., Butner H. M., Fajardo-Acosta S. B., Rebull L. M.* A Survey of nearby main-sequence stars for submillimeter emission // *Astron. J.*—2003.—**125**.—P. 3334—3343.
78. *Jayawardhana R., Fisher R. S., Telesco C. M., et al.* Mid-infrared imaging of candidate Vega—like systems // *Astrophys. J.*—2001.—**122**.—P. 2047—2054.
79. *Johnson H. L., Iriarte B., Mitchell R. I., Wisniewski W. Z.* UBVR_IJKL photometry of the bright stars // *Communs Lunar Planet Lab.*—1966.—**4**.—P. 99—110.
80. *Jura M., Chen C. H., Furlan E., et al.* Mid-infrared spectra of dust debris around main sequence stars // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2004.—**154**.—P. 453—457.
81. *Jura M., Zuckerman B., Becklin E. E., Smith R. C.* Constraints on the evolution of remnant protostellar dust debris around HR 4796 // *Astrophys. J.*—1993.—**418**.—P. L37—L40.
82. *Kalas P., Graham J. R., Chiang E., et al.* Optical images of an exosolar planet 25 light year from Earth // *arXiv:0811.1994v2 [astro-ph]* 19 Nov 2008.
83. *Kalas P., Liu M. C., Matthews B. C.* Discovery of a large dust disk around the nearby star AU Microscopii // *Science*.—2004.—**303**.—P. 1990—1993.
84. *Kenyon S. J., Hartmann L.* Spectral energy distributions of T Tauri stars: disk flaring and limits on accretion // *Astrophys. J.*—1987.—**323**, N 2—P. 714—733.
85. *Kessler M. F., Steinz J. A., Andregg M. E., et al.* The Infrared Space Observatory (ISO) mission // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**315**.—P. L27—L31.
86. *Kessler-Silacci J., Augereau J.-C., Dullemond C. P., et al.* c2d Spitzer IRS spectra of disks around T Tauri stars. I. Silicate emission and grain growth // *Astrophys. J.*—2006.—**639**.—P. 275—291.
87. *Kessler-Silacci J. E., Dullemond C. P., Augereau J.-C., et al.* Proding protoplanetary disks with silicate emission: where is the silicate emission zone // *ArXiv: astro-ph/0612450v1* 15 Dec 2006.
88. *Kirkpatrick J. D., et al.* Dwarfs cooler than «M»: The definition of spectral type «L» using discoveries from the 2 Micron All-Sky Survey (2MASS) // *Astrophys. J.*—1999.—**519**.—P. 802—833.
89. *Kirkpatrick J. D., Reid I. N., Liebert J., et al.* 67 Additional L dwarfs discovered by the 2MASS // *Astron. J.*—2000.—**120**.—P. 447—472.
90. *Krist J. E., Ardila D. R., Golimowski D. A., et al.* Hubble Space Telescope advanced

- camera for surveys coronagraphic imaging of the AU Microscopii debris disk // *Astron. J.*—2005.—**129**.—P. 1008—1017.
91. *Laureijs R. J., Jourdain de Muizon M., Leech, et al.* A 25 micron search for Vega-like disks around main-sequence stars with ISO // *Astron. and Astrophys.*—2002.—**387**.—P. 285—293.
92. *Lecavelier des Etangs A., Vidal-Madjar A., Roberge A., et al.* Deficiency of molecular hydrogen in the disk of beta Pictoris // *Nature*.—2001.—**412**.—P. 706—708.
93. *Liu M. C.* Substructure in the circumstellar disk around the young star AU Microscopii // *Science*.—2004.—**305**.—P. 1442—1444.
94. *Liu W. M., Hinz P. M., Hoffman W. F., et al.* Adaptive optics nulling interferometric constraints on the mid-infrared exozodiacal dust emission around Vega // *Astrophys. J.*—2004.—**610**.—P. L125—L128.
95. *Liu M. C., Matthews B. C., Williams J. P., Kalas P. G.* A submillimeter search of nearby young stars for cold dust: Discovery of debris disks around two low-mass stars // *Astrophys. J.*—2004.—**608**.—P. 526—532.
96. *Liu M. C., Najita J., Tokunaga A. T.* A Survey for circumstellar disks around young substellar objects // *Astrophys. J.*—2003.—**585**.—P. L372—L391.
97. *Low F. J., Young E., Beintema D. A., et al.* Infrared cirrus — New components of the extended infrared emission // *Astrophys. J.*—1984.—**278**.—P. L19—L22.
98. *Lynden-Bell D.* The role of magnetism in spiral structure // *Observatory*.—1966.—**86**.—P. 57—60.
99. *Lynden-Bell D.* Galactic nuclei as collapsed old quasars // *Nature*.—1969.—**223**.—P. 690—694.
100. *Macintosh B. A., Beklin E. E., Kaisler D., et al.* Deep Keck adaptive optics searches for extrasolar planets in the dust of Epsilon Eridani and Vega // *Astrophys. J.*—2003.—**594**.—P. 538—544.
101. *Marengo M., Megeath S. T., Fazio, et al.* A Spitzer IRAC search for substellar companions of the debris disk star epsilon Eridani // *Astrophys. J.*—2006.—**647**.—P. 1437—1451.
102. *Marsh K. A., Velusamy T., Dowell C. D., et al.* Image of Fomalhaut dust ring at 350 microns: The relative column density map shows pericenter—apocenter // *Astrophys. J.*—2005.—**620**.—P. L47—L50.
103. *Martin E. L., Basri G., Delfosse X., Forveille T.* Keck HIRES spectra of the brown dwarf DENIS-P J1228. 2-1547 // *Astron. and Astrophys. Lett.*—1997.—**327**.—P. L29—L32.
104. *Martin E. L., Delfosse X., Basri G., et al.* Spectroscopic classification of late-M and L field dwarfs // *Astron. J.*—2000.—**118**.—P. 2466—2482.
105. *Metchev S. A., Hillenbrand L. A., Meyer M. R.* Ten micron observations of nearby young stars // *Astrophys. J.*—2004.—**600**.—P. 435—450.
106. *Meyer M. R., Backman D. E., Weinberger A. J., Wyatt M. C.* Evolution of circumstellar disks around normal stars: Placing our Solar system in context // arXiv:astro-ph/0606399v1 16Jun 2006.
107. *Meyer M. R., Hillenbrand L. A., Backman D. E., et al.* The formation and evolution of planetary systems: First results from a Spitzer Legacy Science Program // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2004.—**154**.—P. L422—L427.
108. *Min M., Dominik C., Waters L. B. F. M.* Spectroscopic diagnostic for the mineralogy of large dust grains // *Astron. and Astrophys.*—2004.—**413**.—P. L35—L38.
109. *Mohanty S., Jayawardhana R., Basri G.* The T Tauri phase down to nearly planetary masses: echelle spectra of 82 very low mass stars and brown dwarfs // *Astrophys. J.*—2005.—**626**.—P. 498—522.

110. *Mohanty S., Jayawardhana R., Natta A., et al.* Flared disks and silicate emission in young brown dwarfs // *Astrophys. J.*—2004.—**609**, N 1.—P. L33—L36.
111. *Nakajima T., Oppenheimer B. R., Hulkarni S. R., et al.* Discovery of a cool brown dwarf // *Nature*.—1995.—**378**, N 6556.—P. 463—465.
112. *Natta A., Testi L., Comeryn F., et al.* Exploring brown dwarf disks in Ophiuchi // *Astron. and Astrophys.*—2002.—**393**.—P. 597—609.
113. *Neugebauer G., Habing H. J., van Duinen R., et al.* The Infrared Astronomical Satellite (IRAS) mission // *Astrophys. J.*—1984.—**278**.—P. L1—L6.
114. *Pascucci I., Apai D., Henning Th., Dullemond C. P.* The first detailed look at a brown dwarf disk // *Astrophys. J.*—2003.—**590**.—P. L111—L114.
115. *Petrov P. P.* T Tauri stars // *Astrophysics*.—2003.—**46**.—P. 506—529.
116. *Petrov P. P., Gahm G. F., Gameiro J. F., et al.* Non-axisymmetric accretion on the classical TTS RW Aur A // *Astron. and Astrophys.*—2001.—**369**.—P. 993—1008.
117. *Petrov P. P., Gullbring E., Ilyin I., et al.* The gas flows of SU Aurigae // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**314**.—P. 821—834.
118. *Perryman M. A. C.* Extra-solar planets, review article // *Preprint Rep. Prog. Phys.*—2000.—31 May.—P. 1—60.
119. *Publications of the United States Naval Observatory: 2d series.* — Washington, 1970.—Vol. 20, part 3.
120. *Publications of the United States Naval Observatory: 2d series.* — Washington, 1972.—Vol. 20, part 6.
121. *Publications of the United States Naval Observatory: 2d series.* — Washington, 1975.—Vol. 24, part 1.
122. *Publications of the United States Naval Observatory: 2d series.* — Washington, 1976.—Vol. 24, part 3.
123. *Publications of the United States Naval Observatory: 2d series.* — Washington, 1983.—Vol. 24, part 7.
124. *Quirrenbach A.* Detection and characterization of extrasolar planets // *Extrasolar Planets (Saas-Fee Advanced Course 31) / P. Cassen, T. Guillot, A. Quirrenbach.* — Swiss Society for Astrophysics and Astronomy / Eds D. Queloz, S. Udry, M. Mayor, W. Benz. — Heidelberg: Springer, 2006.—242 p.
125. *Redfield S.* Gas absorption detected from the edge-on debris disk surrounding HD 32297 // *Astrophys. J.*—2007.—**656**.—P. L97—L100.
126. *Rees M. J.* Opacity-limited hierarchical fragmentation and the masses of protostars // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1976.—**176**, N 3.—P. 483—486.
127. *Reid I. N., Kirkpatrick J. D., Gizis J. E., et al.* Four nearby L dwarfs // *Astron. J.*—2000.—**119**.—P. 369—377.
128. *Rhee J. H., Song I., Zuckerman B., McElwain M.* Characterization of dusty debris disks: The IRAS and Hipparcos Catalogs // *Astrophys. J.*—2007.—**660**.—P. 1556—1571.
129. *Roellig T. L., Van Cleve J. E., Sloan G. C., et al.* Spitzer Infrared Spectrograph (IRS) Observations of M, L, and T Dwarfs // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2004.—**154**.—P. 438—421.
130. *Scholz A., Jayawardhana R., Wood K.* Exploring brown dwarf disks: a 1.3 mm survey in Taurus // *Astrophys. J.*—2006.—**645**.—P. 1498—1508.
131. *Scholz O., Bohnhardt H., Pantin E., et al.* A search for circumstellar dust disks with ADONIS // *Astron. and Astrophys.*—2004.—**424**.—P. 613—618.
132. *Shakura N. I., Syunyaev R. A.* Black holes in binary systems. Observational appearance // *Astron. and Astrophys.*—1973.—**24**.—P. 337—355.

133. *Shlosman I., Begelman M. C.* Evolution of self-gravitating accretion disks in active galactic nuclei // *Astrophys. J.*—1989.—**341**, N 2—P. 685—691.
134. *Siegler N., Muzerolle J., Young E. T., et al.* Spitzer 24 micron observations of open cluster IC 2391 and debris disk evolution of FGK stars // *Astrophys. J.*—2007.—**654**.—P. 580—594.
135. *Smith B. A., Terrile R. J.* A Circumstellar disk around beta Pictoris // *Science.*—1984.—**226**.—P. 1421—1424.
136. *Smith B. J., Price S. D., Baker R. I.* The COBE DIRBE Point Source Catalog // *Astrophys. J. Suppl. ser.*—2004.—**154**.—P. 673—704.
137. *Spangler C., Sargent A., Silverstone M., et al.* Dusty debris around solar-type stars: temporal disk evolution // *Astrophys. J.*—2001.—**555**.—P. 932—944.
138. *Stapelfeldt K. R., Holmes E. K., Chen C., et al.* First look at the Fomalhaut debris disk with the Spitzer space telescope // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—2004.—**154**.—P. 458—462.
139. *Stern S. A., Festou M. C., Weintraub D. A.* A map of a collisionally evolving dust disk around Fomalhaut // *Nature.*—1994.—**368**.—P. 312—314.
140. *Stern S. A., Stocke J., Weissman P. R.* An IRAS search for extra-solar Oort clouds // *Icarus.*—1991.—**91**.—P. 65—75.
141. *Sykes M. V., Greenberg R.* The formation and origin of the IRAS zodiacal dust bands as a consequence of single collisions between asteroids // *Icarus.*—1986.—**65**.—P. 51—69.
142. *Sylvester, R. J., Dunkin, S. K., Barlow M. J.* SCUBA photometry of candidate Vega-like sources // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2001.—**327**.—P. 133—140.
143. *Sylvester R. J., Mannings V.* Optical, infrared and millimetre-wave properties of Vega-like systems. IV. Observations of a new sample of candidate Vega-like sources // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2000.—**313**.—P. 73—86.
144. *Sylvester R. J., Skinner C. J., Barlow M. J., Mannings V.* Optical, infrared and millimetre-wave properties of Vega-like systems // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1996.—**279**.—P. 915—939.
145. *Tarter J.* Interaction of gas and galaxies within galaxy clusters: Ph. D. thesis. — Berkeley, Univ. Calif., 1975.—281 p.
146. *Thi W. F., Blake G. A., van Dishoeck E. F., et al.* Substantial reservoirs of molecular hydrogen in the debris disks around young stars // *Nature.*—2001.—**409**.—P. 60—63.
147. *Tull R. G., MacQueen P. J., Sneden C., Lambert D. L.* The high-resolution cross-dispersed echelle white-pupil spectrometer of the McDonald Observatory 2.7-m telescope // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1995.—**107**.—P. 251—264.
148. *Udry S., Eggenberger A., Mayor M., et al.* Planets in multiple-star systems: properties and detections // *RevMexAA (Serie de Conferencias).*—2004.—**21**.—P. 207—214.
149. *Uzpen B., Kobulnicky H. A., Olsen K. A., et al.* Identification of main-sequence stars with mid-infrared excesses using GLIMPSE: Beta Pictoris analogs // *Astrophys. J.*—2005.—**629**.—P. 512—525.
150. *VarniPre P., Bjorkman J. E., Frank A., et al.* Observational properties of proto-planetary disk gaps // *Astrophys. J.*—2006.—**637**.—P. L125—L128.
151. *Walker H. J., Heinrichsen I.* ISOPHOT observations of dust disks around main sequence (Vega-like) stars // *Icarus.*—2000.—**143**.—P. 147—154.
152. *Walker H. J., Wolstencroft R. D.* Cool circumstellar matter around nearby main-sequence stars // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1988.—**100**.—P. 1509—1521.
153. *Waters L. B. F. M., Cote J., Aumann H. H.* IRAS far-infrared colours of normal stars //

- Astron. and Astrophys.—1987.—**172**.—P. 225—234.
154. *Waters L. B. F. M., Cote J., Geballe T. R.* 51 Ophiuchi (B9.5 Ve) — A Be star in the class of Beta Pictoris stars? // Astron. and Astrophys.—1988.—**203**.—P. 348—354.
155. *Weinberger A. J., Becklin E. E., Zuckerman B.* The first spatially resolved mid-infrared spectroscopy of β Pictoris // Astrophys. J.—2003.—**584**.— P. L33—L37.
156. *Weissman P. R.* The Vega particulate shell — Comets or asteroids? // Science.—1984.—**224**.—P. 987—989.
157. *Wolstencroft R. D., Walker H. J.* Dust discs around low-mass main sequence stars // Phil. Trans. Roy. Soc. London A.—1988.—**325**, N 1587.—(The Solar System: Chemistry as a Key to Its Origin).—P. 423—437.
158. *Wooley R., Epps E. A., Penston M. J., Poccock S. B.* Catalogue of stars within twenty-five parsecs of the Sun // Roy. Observ. Ann.—1970.—N 5.—228 p.
159. *Wyatt M. C., Greaves J. S., Dent W. R. F., Coulson I. M.* Submillimeter images of a dusty Kuiper Belt around α Corvi // Astrophys. J.—2005.—**620**.—P. 492—500.
160. *Zakhzhaj V. A.* Astrometrical method of searching for cool satellites of stars. Results and perspectives // Extension and connection of reference frames using ground based CCD technique. — Nikolaev, 2001.—P. 274—283.
161. *Zuckerman B., Becklin E. E.* Submillimeter studies of main-sequence stars // Astrophys. J.—1993.—**414**, N 2.—P. 793—802.
162. *Zuckerman B., Song I.* Dusty debris disks as signposts of planets: Implications for Spitzer Space Telescope // Astrophys. J.—2004.—**603**.—P. 738—743.

Поступила в редакцию 12.02.09