

УДК 524.3-17

ОЦЕНКА РАДИУСОВ, МАСС И СВЕТИМОСТЕЙ ЗВЕЗД ОБЗОРА LAMOST

© 2017 С. Г. Сичевский*

Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

Поступила в редакцию 23 августа 2016 года; принята в печать 23 декабря 2016 года

На основе спектральных наблюдений обзора LAMOST (DR2) сделаны оценки радиусов, масс и светимостей 700 481 звезд спектральных классов A, F, G и K с металличностью от -0.845 до 0.0 . Для определения характеристик звезд использованы современные расчеты моделей внутреннего строения звезды с учетом скорости эволюции звезд и начальной функции масс. Применение эволюционных расчетов звезд двух типов — с вращением и без вращения — позволило учесть неопределенность, связанную с отсутствием данных о скорости вращения исследуемой звезды. Полученные радиусы звезд вместе с оценками межзвездного поглощения и угловых диаметров по данным фотометрии можно использовать для исследования зависимости межзвездного поглощения от расстояния, а также оценки расстояний до звезд.

Ключевые слова: *звезды: фундаментальные параметры — методы: статистические — техники: спектроскопические*

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных направлений в астрофизических исследованиях является разработка и применение способов интеллектуального анализа и извлечения информации из обзоров неба разных диапазонов. Например, современные фотометрические обзоры содержат сведения о 10^5 – 10^6 относительно слабых объектах, а методы кроссождествления объектов [1] позволяют анализировать их, используя все каталогизированные фотометрические данные [2–6].

При решении некоторых астрофизических задач большое количество исходных данных может компенсировать их невысокую точность. В частности, при определении характеристик межзвездной среды по звездам, расположенным компактно в одной области на небе, для которых величины межзвездного поглощения и угловые диаметры найдены из фотометрии [7], оценки радиусов этих звезд позволяют судить о расстоянии до них. Звезды с близкими величинами межзвездного поглощения считаются примерно равноудаленными от наблюдателя, и при этом чем больше исследуемых звезд, тем точнее можно определить зависимость межзвездного поглощения от расстояния.

Для оценки радиусов (R), масс (M), и светимостей (L) в настоящей работе использована боль-

шая выборка звезд обзора LAMOST¹. Его основное назначение — поиск астрофизически важных объектов и статистические исследования звездных населений нашей Галактики. Обзор охватывает практически половину небесной сферы и содержит данные об атмосферных характеристиках более двух миллионов звезд [8]. Атмосферные характеристики звезд определены коллективом LAMOST по распределению энергии в их спектрах. Этот подход позволяет сравнительно точно определить $T_{\text{эф}}$, но не претендует на надежное определение $\lg g$ и $[M/H]$ (металличности), хотя значения двух последних важны для точного определения радиуса звезды. Однако ценность обзора LAMOST заключается не в сверхточной оценке атмосферных характеристик звезд, а в их большом количестве.

Появление массовых расчетов моделей звезд привело к широкому применению метода интерполяции на сетках эволюционных треков и изохрон. Расчеты звездных моделей показывают, что соотношение масса—светимость для красной границы главной последовательности подобно аналогичному соотношению для начальной главной последовательности. На этом факте основан принцип геометрического подобия эволюционных треков. Этот принцип применен в работе Музылева [9], который показал, что при специальной разбивке эволюционных треков можно по положению звезды на диаграмме Гершпрунга–Рассела определить

*E-mail: s.sichevskij@gmail.com

¹<http://www.lamost.org/public/>

ее возраст и массу. Метод, предложенный Музылевым, по существу рассматривал только случай квазигоризонтальных эволюционных треков и нуждался в обобщении. Примером такого обобщения является работа Мякутина и Пискунова [10], которые предложили способ, позволяющий при специальной разбивке эволюционных треков на интервалы определять массы и возрасты звезд в любой области диаграммы Гершпрунга-Рассела. В работе [11] с помощью принципа геометрического подобия эволюционных треков реализован способ определения масс и возрастов звезд по эффективным температурам и поверхностным ускорениям.

Определение радиусов, масс и светимостей звезд в данной работе выполняется способом, основанным на эволюционных расчетах звезд [12], но не требующим ни выделения одинаковых стадий эволюции, ни специальной разбивки эволюционных треков на интервалы.

2. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕЗД

В работе использованы эволюционные расчеты двух типов — с учетом и без учета вращения звезд, выполненные научной группой из Женевской обсерватории [13, 14]. Начальные значения скорости вращения v_n звезд выбирались в зависимости от их критических скоростей вращения v_k^2 и определялись условием $v_n/v_k = 0.4$. Соответствующие этим расчетам эволюционные треки описывают эволюцию звезд с начальной массой от $0.8M_\odot$ до $120M_\odot$ двух химических составов, $Z = 0.014$ и $Z = 0.002$.

Способ определения радиуса, массы и светимости звезды является последовательным развитием методов, описанных ранее [15, 16], и позволяет получать как точечные оценки на основе метода максимального правдоподобия, так и интервальные оценки. Интервальная оценка вычисляется с помощью многократной генерации значений эффективной температуры, поверхностного ускорения и металличности с учетом их погрешностей, в предположении их равномерного распределения, и определения соответствующих им радиусов, масс и светимостей. На основе полученных выборок для каждой характеристики (R , M , L) вычисляются первый (Q_1) и третий (Q_3) квантили³, определяющие интервальную оценку.

²Критическая скорость вращения звезды достигается, когда сила тяжести полностью компенсируется центробежной силой.

³Квантиль — значение случайной величины, которое оно не превышает с заданной вероятностью. Первый и третий квантили соответствуют таким значениям случайной величины, которые оно не превышает с вероятностью 0.25 и 0.75, соответственно.

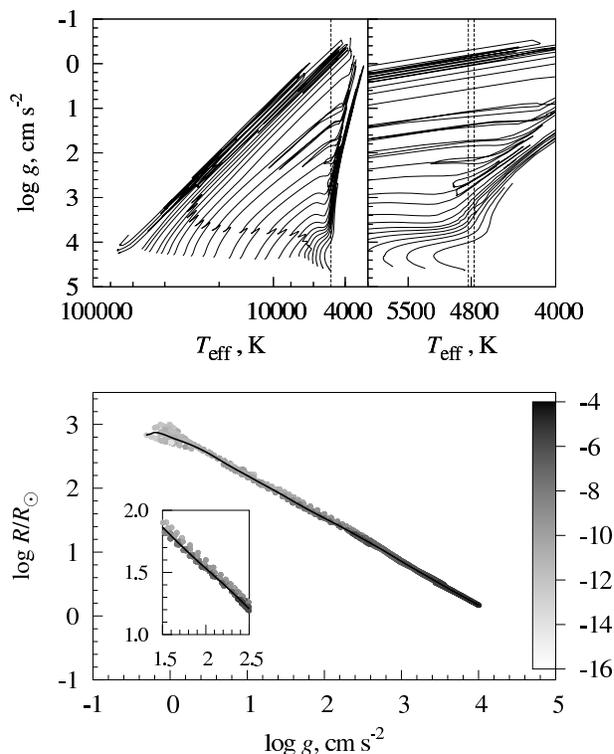


Рис. 1. Вверху — область, покрываемая эволюционными треками (левая часть), и область (правая часть), для которой внизу показана зависимость $\lg R$ от $\lg g$ для узкого интервала T_{eff} . Сплошная линия внизу — среднее вероятное значения радиуса; оттенки серого — логарифм вероятности того, что звезда имеет соответствующий радиус.

Две звезды с одинаковыми величинами эффективной температуры и поверхностного ускорения могут иметь различные радиусы, однако особенности появления и эволюции звезд приводят к тому, что их значения должны быть не равновероятны. То же самое справедливо для массы и светимости.

Для учета разной скорости эволюции и начальной функции масс вычисляются соответствующие функции вероятностей. При этом делается предположение о постоянном темпе звездообразования на протяжении 13.7 млрд лет. В качестве начальной функции масс используется классическая зависимость из работы [17]. Получаемые функции вероятностей применяются при анализе узких последовательных интервалов, полностью покрывающих весь диапазон эффективных температур, определяемый эволюционными треками. На рис. 1 показан результат вычисления функции вероятностей радиусов для случая $Z = 0.014$ и $T_{\text{eff}} = 4800 \pm 43 \text{ K}$. На врезке нижней панели хорошо видно влияние учета скорости эволюции и начальной функции масс на оценку радиуса звезды — оценка смещена к более вероятным значениям. Аналогичные результаты получены для массы и светимости. С учетом

небольшой ширины интервалов считается, что для эффективной температуры, соответствующей значению середины интервала, получена зависимость характеристик звезды (R , M , L) от поверхностного ускорения. Далее, чтобы добиться ее непрерывности, применяется линейная интерполяция.

Металличность учитывается в два этапа. Сначала определяются характеристики, соответствующие значениям металличностей, между которыми лежит значение для исследуемой звезды. После этого выполняется линейная интерполяция. Подробности и другие детали изложены в работе [12], где также выполнен анализ ошибок, к которым приводит линейная интерполяция, в том числе по металличности, и предложен способ их исправления.

Он был проверен на данных о звездах, хорошо изученных различными методами. Сведения о компонентах затменных двойных звезд взяты из работы [18]. Данные о трех десятках кандидатов в обладатели планет — из работы [19], а характеристики красных гигантов — из каталога APOKASC [20]. На рис. 2 показаны результаты сравнения известных характеристик красных гигантов и кандидатов в обладатели планет R_o , M_o и L_o и их оценок R_c , M_c и L_c . Имеется хорошее соответствие с наблюдениями. Среднее значение μ и среднеквадратичное отклонение σ относительного отклонения оценки радиуса равны -0.5% и 5.1% , соответственно. Среднее значение относительного отклонения оценки массы составило -1.1% , а его среднеквадратичное отклонение — 10.1% , а в случае оценки светимости — -0.003 и 0.046 , соответственно.

Результат определения радиусов, масс и светимостей компонентов двойных звезд показан на рис. 3. Достигнуто хорошее соответствие с наблюдениями. Систематические отклонения практически отсутствуют. Средние значения относительного отклонения радиуса, массы и светимости равны соответственно -0.2% , -0.1% и -0.013 .

3. ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕЗД ОБЗОРА LAMOST

Второй выпуск (DR2) спектроскопического обзора LAMOST содержит данные, полученные как в результате пробного обзора с 2011 по 2012 года, так и в результате двухгодичного основного обзора, завершено в 2014 году. DR2 включает около четырех миллионов спектров, а также несколько каталогов с оценками атмосферных характеристик звезд. Самый представительный из них — каталог данных для более двух миллионов звезд, принадлежащих к спектральным классам A, F, G и K. Именно для объектов указанного каталога были

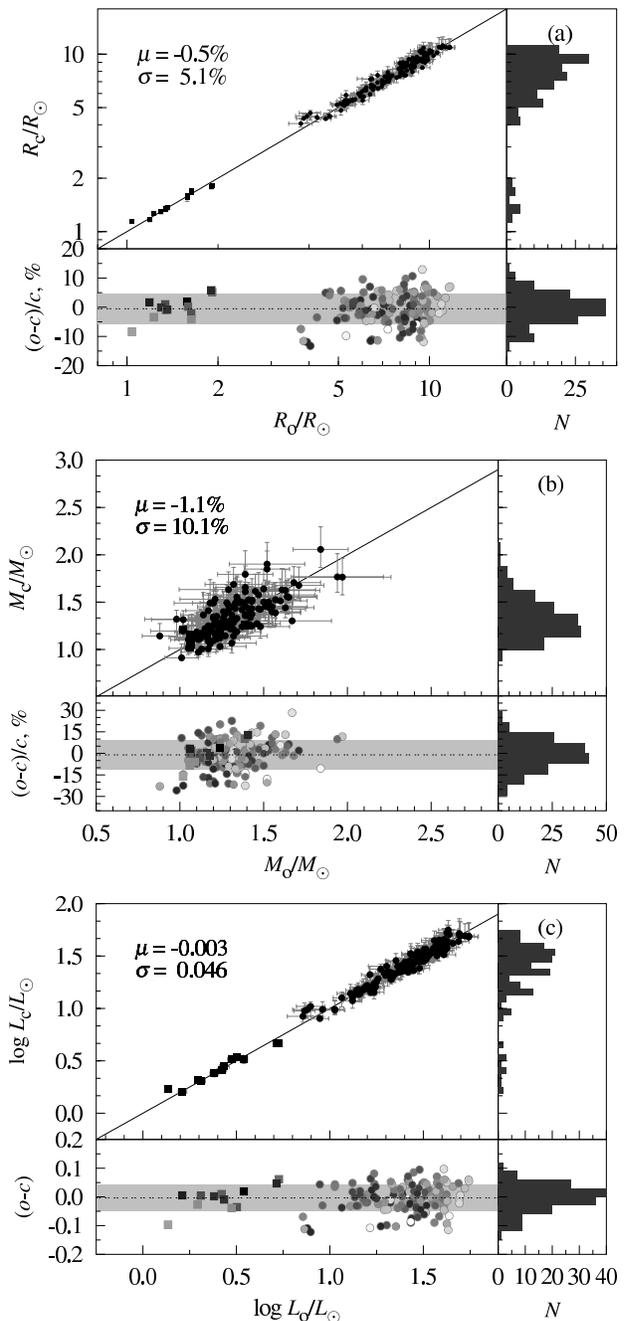


Рис. 2. Сравнения радиусов (а), масс (б) и светимостей (с) красных гигантов (кружки) и кандидатов в обладатели собственных планет (квадраты) с оценками, определенными по температурам, поверхностным ускорениям и металличностям. Оттенки серого — значения металличностей (большим значениям соответствуют более темные тона).

определены фундаментальные характеристики (радиус, масса и светимость).

В работах последнего времени, посвященных анализу точности определения звездных характеристик, указывается на то, что в DR2 суще-

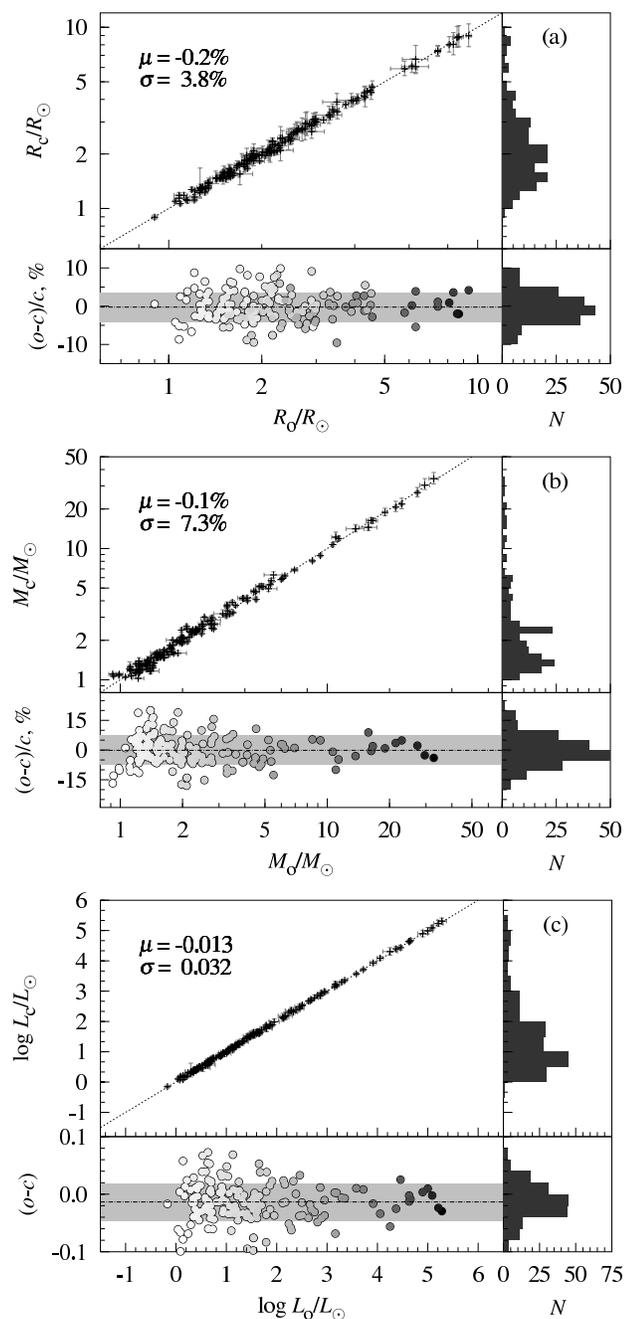


Рис. 3. Сравнение радиусов (а), масс (б) и светимостей (с) компонентов затменных двойных звезд с оценками, сделанными по температурам и поверхностным ускорениям. Оттенки серого — значения масс компонентов двойных звезд (большим значениям соответствуют более темные тона).

ствуют систематические ошибки, которые для поверхностного ускорения достигают больших значений [21]. По этой причине атмосферные характеристики звезд (температура, поверхностное ускорение и металличность) были откорректированы с учетом эмпирических зависимостей, полученных

авторами цитируемой статьи. Способ определения характеристик звезд имеет ограничения, поэтому, насколько это возможно, были исключены звезды красного сгущения. С этой целью использовалось соотношение из работы [22], которое по значениям температуры, поверхностного ускорения и металличности позволяет судить о принадлежности звезды к красному сгущению. По той же причине были исключены звезды, для которых оценка радиуса превышала значение $10 R_{\odot}$. В общей сложности оценки получены для 700 481 звезд с металличностью в диапазоне от -0.845 до 0.0 , который ограничен применяемыми эволюционными расчетами. В таблице приведена часть каталога полученных оценок характеристик звезд. Его полная версия доступна в базе данных VizieR⁴ и содержит оценки, полученные как с учетом корректировки атмосферных характеристик, так и без него. Наряду с оценками приведены значения коэффициентов доверия (K_d), которые позволяют охарактеризовать качество интервальных оценок: чем ближе K_d к единице, тем больше доверие к интервальной оценке.⁵ На рис. 4а показано распределение по атмосферным характеристикам количества звезд, для которых были сделаны оценки радиусов, масс и светимостей. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела, построенная на основе полученных оценок светимостей, показана на рис. 4б.

Была исследована характерная точность сделанных оценок. Для этого было проанализировано распределение количества звезд в зависимости от значений интервальных и точечных оценок. Результаты для оценок радиуса, массы и светимости показаны на рис. 5. В случае оценки радиуса видно, что имеется концентрация около значения $1.5 R_{\odot}$, при этом погрешность равна $20\text{--}30\%$. Оценки массы концентрируются около значения $1.25 M_{\odot}$ и имеют характерную погрешность около 10% , при этом хорошо видно, что погрешность оценки массы заметно увеличивается для красных гигантов и достигает порядка 40% . Характерная погрешность оценки логарифма светимости составляет около 40% . На рис. 5 также показано распределение количества звезд в зависимости от их значений масс и радиусов.

Значения характерных погрешностей определяются в первую очередь точностью значений поверхностного ускорения и металличности исследуемых звезд. В случае повышения точности будущих выпусков в рамках спектрального обзора

⁴<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

⁵Например, $K_d = 0.5$ означает, что только 50% значений атмосферных характеристик звезды, сгенерированных для вычисления интервальной оценки, попадают в область значений эволюционных расчетов, а в случае $K_d = 1.0$ в указанную область попадают все 100% .

Оценки радиусов, масс и светимостей звезд спектральных классов A, F, G и K обзора LAMOST DR2 и значения коэффициента доверия (K_d). Знак «*» означает, что температура, поверхностное ускорение и металличность указаны с учетом их корректировки (см. электронную версию таблицы).

ID	$\lg T_{\text{eff}}$, K	$\lg g$, см с ⁻²	[M/H]	R , R_{\odot}	M , M_{\odot}	$\lg L$, L_{\odot}	K_d
3203084	3.67 ± 0.01	2.8 ± 0.3	-0.2 ± 0.1	8 ₋₁ ⁺⁴	1.3 _{-0.1} ^{+0.6}	1.4 _{-0.1} ^{+0.4}	0.81
15014005	3.66 ± 0.01	2.8 ± 0.3	-0.1 ± 0.1	6 ₋₁ ⁺³	1.0 _{-0.1} ^{+0.4}	1.2 _{-0.1} ^{+0.3}	0.62
27205024	3.69 ± 0.01	3.1 ± 0.3	-0.1 ± 0.1	6 ₋₂ ⁺¹	1.6 _{-0.4} ^{+0.2}	1.2 _{-0.3} ^{+0.2}	0.70
28009228	3.66 ± 0.01	2.7 ± 0.3	-0.0 ± 0.1	8 ₋₂ ⁺³	1.2 _{-0.3} ^{+0.3}	1.4 _{-0.2} ^{+0.3}	0.58
40306145	3.66 ± 0.01	2.7 ± 0.2	-0.1 ± 0.1	7 ₋₁ ⁺²	0.9 _{-0.1} ^{+0.3}	1.3 _{-0.1} ^{+0.2}	0.61
45309142	3.65 ± 0.01	2.5 ± 0.3	-0.1 ± 0.1	10 ₋₁ ⁺⁵	1.1 _{-0.1} ^{+0.7}	1.5 _{-0.1} ^{+0.4}	0.64
51806145	3.70 ± 0.01	3.1 ± 0.3	-0.1 ± 0.1	6 ₋₁ ⁺²	1.8 _{-0.1} ^{+0.3}	1.3 _{-0.1} ^{+0.2}	1.00
99801092	3.66 ± 0.01	2.7 ± 0.2	-0.1 ± 0.1	8 ₋₂ ⁺²	1.1 _{-0.2} ^{+0.3}	1.4 _{-0.2} ^{+0.2}	0.85
123212196	3.84 ± 0.01	3.4 ± 0.3	-0.0 ± 0.2	4 ₋₁ ⁺²	1.9 _{-0.2} ^{+0.3}	1.6 _{-0.2} ^{+0.2}	0.60
180701091	3.68 ± 0.01	3.0 ± 0.2	-0.0 ± 0.1	7 ₋₂ ⁺¹	1.4 _{-0.3} ^{+0.2}	1.3 _{-0.2} ^{+0.1}	0.73
183106118	3.67 ± 0.01	2.6 ± 0.2	-0.2 ± 0.1	10 ₋₂ ⁺³	1.6 _{-0.3} ^{+0.4}	1.6 _{-0.2} ^{+0.2}	0.97
190708079	3.68 ± 0.01	2.8 ± 0.3	-0.2 ± 0.1	8 ₋₁ ⁺²	1.5 _{-0.2} ^{+0.4}	1.5 _{-0.2} ^{+0.2}	0.96
106239	3.83 ± 0.01	4.1 ± 0.2	-0.7 ± 0.2	2.0 _{-0.2} ^{+0.2}	1.87 _{-0.01} ^{+0.04}	0.9 _{-0.1} ^{+0.2}	0.83
206108	3.82 ± 0.01	4.1 ± 0.3	-0.5 ± 0.1	1.9 _{-0.2} ^{+0.4}	1.64 _{-0.02} ^{+0.09}	0.8 _{-0.1} ^{+0.2}	1.00
505063	3.81 ± 0.02	4.3 ± 0.3	-0.2 ± 0.3	1.4 _{-0.1} ^{+0.4}	1.34 _{-0.04} ^{+0.13}	0.5 _{-0.1} ^{+0.3}	0.74
503014	3.82 ± 0.02	4.2 ± 0.3	-0.2 ± 0.3	1.5 _{-0.1} ^{+0.4}	1.40 _{-0.05} ^{+0.14}	0.6 _{-0.1} ^{+0.3}	0.72
711141	3.83 ± 0.01	4.2 ± 0.3	-0.5 ± 0.3	1.9 _{-0.3} ^{+0.3}	1.72 _{-0.01} ^{+0.10}	0.9 _{-0.2} ^{+0.1}	1.00
709047	3.83 ± 0.01	4.1 ± 0.3	-0.4 ± 0.2	1.8 _{-0.2} ^{+0.4}	1.58 _{-0.02} ^{+0.12}	0.8 _{-0.2} ^{+0.2}	1.00
709185	3.83 ± 0.01	4.0 ± 0.3	-0.4 ± 0.2	2.2 _{-0.3} ^{+0.5}	1.7 _{-0.1} ^{+0.2}	1.0 _{-0.2} ^{+0.2}	1.00
809242	3.84 ± 0.02	3.9 ± 0.3	-0.2 ± 0.4	2.5 _{-0.5} ^{+0.6}	1.7 _{-0.1} ^{+0.2}	1.1 _{-0.2} ^{+0.2}	0.81
806228	3.80 ± 0.02	4.1 ± 0.3	-0.3 ± 0.3	1.8 _{-0.2} ^{+0.5}	1.40 _{-0.04} ^{+0.17}	0.7 _{-0.2} ^{+0.2}	1.00
808195	3.83 ± 0.02	4.1 ± 0.3	-0.5 ± 0.3	2.0 _{-0.3} ^{+0.4}	1.68 _{-0.03} ^{+0.15}	0.9 _{-0.2} ^{+0.2}	1.00
811117	3.83 ± 0.01	4.0 ± 0.3	-0.3 ± 0.3	2.0 _{-0.3} ^{+0.5}	1.61 _{-0.05} ^{+0.19}	0.9 _{-0.2} ^{+0.2}	1.00
807163	3.83 ± 0.02	4.2 ± 0.3	-0.4 ± 0.3	1.8 _{-0.2} ^{+0.4}	1.62 _{-0.03} ^{+0.16}	0.8 _{-0.1} ^{+0.2}	0.94
815246	3.82 ± 0.02	4.0 ± 0.3	-0.1 ± 0.2	2.0 _{-0.4} ^{+0.5}	1.4 _{-0.1} ^{+0.2}	0.9 _{-0.3} ^{+0.2}	0.75
814119	3.84 ± 0.01	3.9 ± 0.3	-0.1 ± 0.2	2.5 _{-0.5} ^{+0.6}	1.7 _{-0.2} ^{+0.1}	1.1 _{-0.2} ^{+0.2}	0.81
803027	3.83 ± 0.01	4.1 ± 0.3	-0.2 ± 0.2	1.9 _{-0.3} ^{+0.4}	1.5 _{-0.1} ^{+0.2}	0.8 _{-0.1} ^{+0.2}	0.89
807130	3.81 ± 0.01	4.1 ± 0.3	-0.5 ± 0.2	1.9 _{-0.3} ^{+0.3}	1.57 _{-0.02} ^{+0.09}	0.8 _{-0.2} ^{+0.1}	1.00

*Приведена только часть таблицы. Полностью таблица доступна в базе данных VizieR.

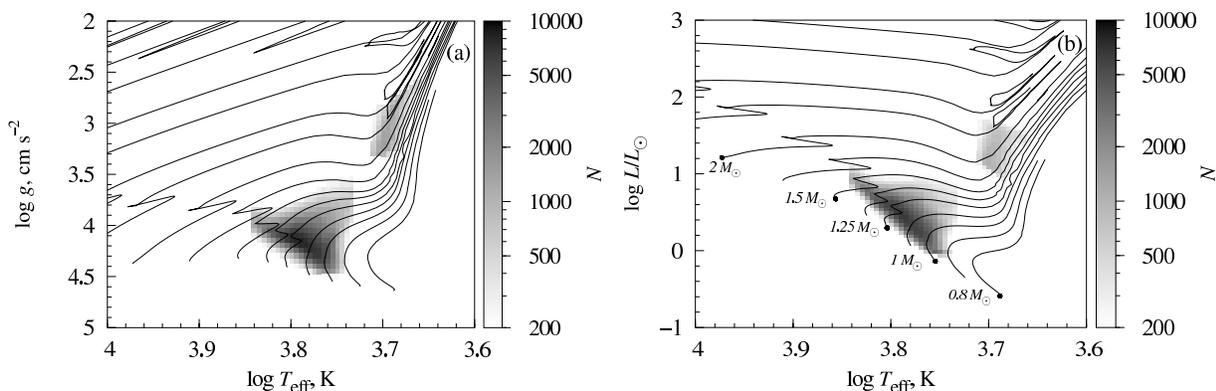


Рис. 4. Распределение по атмосферным характеристикам количества звезд спектральных классов А, F, G и К, для которых были определены радиусы, массы и светимости (а), и соответствующая диаграмма Герцшпрунга–Рассела (b).

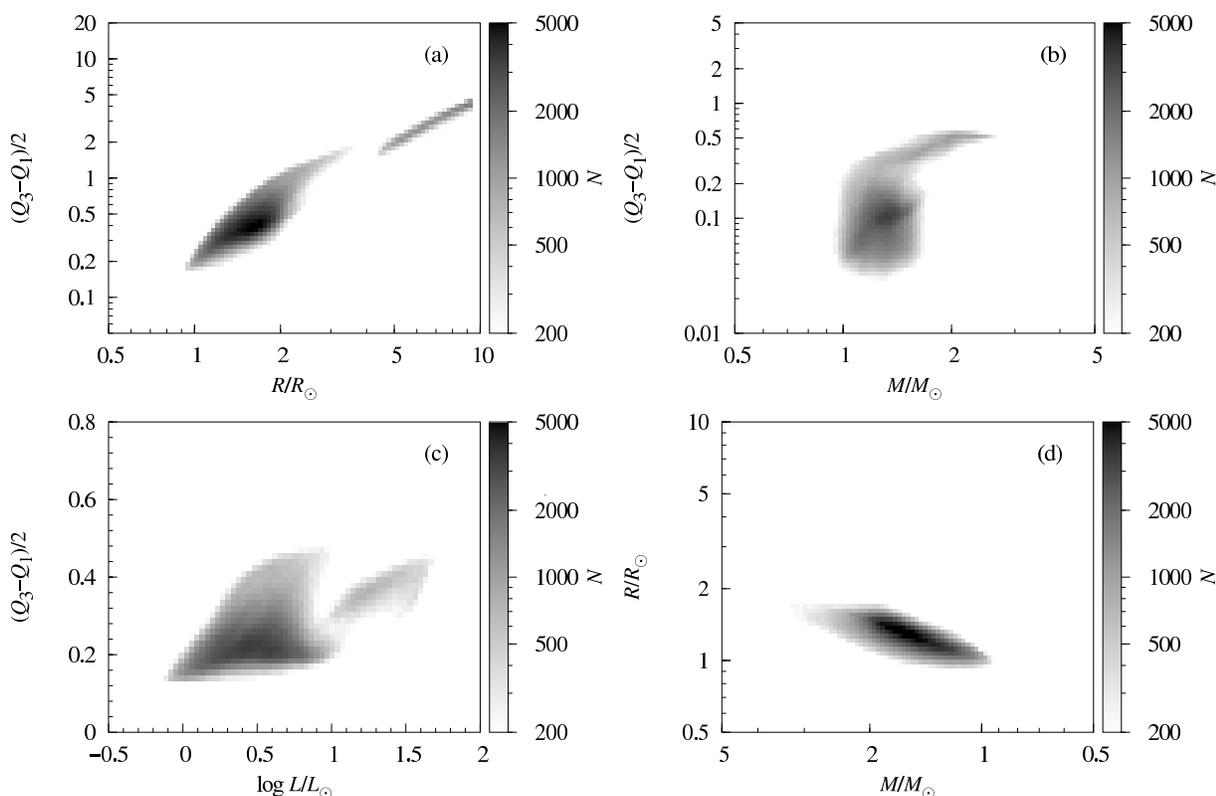


Рис. 5. Распределение количества звезд в зависимости от интервальных и точечных оценок радиуса (а), массы (b), светимости (с) и распределение количества звезд в зависимости от их масс и радиусов (d).

LAMOST возможно получение более точных оценок характеристик звезд.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены радиусы, массы и светимости и выполнен анализ их характерных погрешностей для 700 481 звезд спектральных классов А, F, G и К из обзора LAMOST, атмосферные характеристики которых (температура, поверхностное ускорение и

металличность) откорректированы с учетом эмпирических зависимостей, полученных в работе [21]. Металличность исследованных звезд лежит в диапазоне от -0.845 до 0.0 , что определено используемыми эволюционным расчетами.

Определение радиусов, масс и светимостей звезд выполнено на основе современных эволюционных расчетов. С этой целью были использованы расчеты Женевско–Тулусской группы, описывающие эволюцию звезд с начальной массой от

$0.8M_{\odot}$ до $120M_{\odot}$ двух химсоставов ($Z = 0.014$ и $Z = 0.002$), с учетом и без учета вращения звезды, при этом начальные скорости вращения звезд определялись условием $v_n/v_k = 0.4$.

В случае оценки радиуса показано, что имеется концентрация около значения $1.5 R_{\odot}$, при этом характерная погрешность равна 20–30%. При оценке массы значения концентрируются около $1.25M_{\odot}$ и имеют характерную погрешность около 10%, при этом погрешность заметно увеличивается для красных гигантов и достигает порядка 40%.

Несмотря на то, что метод учитывает погрешности оценок атмосферных характеристик, получаемых по распределениям энергии в спектрах звезд, и возможность того, что звезды с идентичными атмосферными характеристиками могут иметь различающиеся радиусы, к сожалению, он не позволяет разделить вклады этих двух факторов в разброс значений оцениваемых характеристик. Однако значения характерных погрешностей в первую очередь зависят от точности оценок поверхностного ускорения и металличности звезд. Спектроскопический обзор LAMOST изначально не предназначен для определения сверхточных значений атмосферных характеристик звезд, но содержит результаты наблюдений нескольких миллионов звезд. Улучшить ситуацию могут космические обсерватории. В частности, проект Gaia позволит получить спектры большого количества звезд, а спектроскопические наблюдения космического аппарата «Спектр-УФ» (WSO-UV) будут отличаться высоким разрешением [23, 24].

При решении некоторых астрофизических задач важна не столько высокая точность исходных данных, сколько их количество. Например, определение зависимости межзвездного поглощения от расстояния по звездам, расположенным компактно в одной области на небе, с известными из фотометрии угловыми диаметрами и значениями межзвездного поглощения. Полученные оценки физических характеристик почти миллиона звезд являются важным исходным материалом для решения такой задачи.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор искренне благодарен О. Ю. Малкову за постоянную помощь в работе. Автор благодарит

анонимного рецензента за полезные замечания. Работа выполнялась при поддержке гранта «Научная школа НШ-9951.2016.2».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O. Malkov, O. Dluhnevskaya, S. Karpov, et al., *Baltic Astronomy* **21**, 319 (2012).
2. O. Malkov, A. Mironov, and S. Sichevskij, *Astrophys. and Space Sci.* **335**, 105 (2011).
3. S. G. Sichevskij, *Astronomy Reports* **56**, 710 (2012).
4. S. G. Sichevskiy, A. V. Mironov, and O. Y. Malkov, *Astronomische Nachrichten* **334**, 832 (2013).
5. S. G. Sichevskij, A. V. Mironov, and O. Y. Malkov, *Astrophysical Bulletin* **69**, 160 (2014).
6. D. Chulkov, M. Prokhorov, O. Malkov, et al., *Baltic Astronomy* **24**, 137 (2015).
7. S. Sichevsky and O. Malkov, *Baltic Astronomy* **25**, 67 (2016).
8. A.-L. Luo, Y.-H. Zhao, G. Zhao, et al., *Research in Astronomy and Astrophysics* **15**, 1095 (2015).
9. В. В. Музылев, *Научные информации Астрономического совета АН СССР* **41**, 94 (1978).
10. V. I. Myakutin and A. E. Piskunov, *Astronomy Reports* **39**, 316 (1995).
11. O. Y. Malkov, S. G. Sichevskij, and D. A. Kovaleva, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **401**, 695 (2010).
12. S. G. Sichevsky, *Astronomy Reports* **94**, 210 (2017).
13. S. Ekström, C. Georgy, P. Eggenberger, et al., *Astron. and Astrophys.* **537**, A146 (2012).
14. C. Georgy, S. Ekström, P. Eggenberger, et al., *Astron. and Astrophys.* **558**, A103 (2013).
15. S. G. Sichevsky, *Astronomy Reports* **60**, 581 (2016).
16. S. G. Sichevsky, *Astronomy Reports* **60**, 804 (2016).
17. E. E. Salpeter, *Astrophys. J.* **121**, 161 (1955).
18. O. Y. Malkov, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **382**, 1073 (2007).
19. V. Silva Aguirre, G. R. Davies, S. Basu, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **452**, 2127 (2015).
20. M. H. Pinsonneault, Y. Elsworth, C. Epstein, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **215**, 19 (2014).
21. L. Wang, W. Wang, Y. Wu, et al., *Astron. J.* **152**, 6 (2016).
22. J. Bovy, D. L. Nidever, H.-W. Rix, et al., *Astrophys. J.* **790**, 127 (2014).
23. B. Shustov, A. I. Gómez de Castro, M. Sachkov, et al., *Astrophys. and Space Sci.* **354**, 155 (2014).
24. A. A. Boyarchuk, B. M. Shustov, I. S. Savanov, et al., *Astronomy Reports* **60**, 1 (2016).

Estimates of the Radii, Masses, and Luminosities of LAMOST Stars**S. G. Sichevskij**

Based on the spectral observations of the LAMOST (DR2) survey, the radii, masses, and luminosities of 700 481 stars were estimated. These stars belong to spectral types A, F, G, and K, and have metallicities between -0.845 and 0.0 . To determine the properties of the stars, we used up-to-date models of the stellar interior structure, computed with account for the stellar evolution rate and the initial mass function. The use of evolutionary estimates for two types of stars—with and without rotation—allowed us to account for the uncertainty associated with the lack of data on the rotation velocity of the stars under consideration. The obtained stellar radii, together with the photometric estimates of interstellar extinction and angular diameters can be used to study the dependence of interstellar extinction on distance as well as to estimate the stellar distances.

Keywords: *stars: fundamental parameters—methods: statistical—techniques: spectroscopic*