

Аннотация к диссертации Миронова Алексея Васильевича на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 астрофизика и звездная астрономия на тему

## ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ WBVR И «ЛИРА-Б» ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ФОТОМЕТРИИ ЗВЕЗД

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, семи приложений и списка литературы.

Во введении дается общая характеристика работы, обосновывается актуальность исследования, формулируются цели и задачи работы, кратко излагается содержание разделов основной части диссертации, формулируются положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена новой фотометрической системе *WBVR*, созданная на основе опыта электрофотометрических наблюдений, проводившихся в Тянь-Шаньской высокогорной экспедиции (обсерватории) с 1976 по 1985 годы. Новизна этой системы заключается не только и не столько в применении оптимального светофильтра для ультрафиолетовой полосы *W*, но в установлении четких и однозначных определений кривых реакции и нуль-пунктов каждой фотометрической полосы и подробно описанных методик выноса измерений за атмосферу и приведения их на стандартную систему. Другими словами, система реализует требования, сформулированные в метрологии для проведения измерений: наличие *эталона*, применение хорошо исследованных *средств измерений* и строго определенных *методик*.

Для работы с в системе *WBVR* был создан первичный стандарт и сеть вторичных стандартов по всему небу. Постоянство первичного стандарта было тщательно исследовано, а величины вторичных стандартов были увязаны в единую систему методом наименьших квадратов. Учет ослабления света в земной атмосфере проводился методом Халиуллина-Мошкалева. Для эффективного применения этого метода была создана программа расчета спектрального пропускания атмосферы, служащая начальным приближением. В системе *WBVR* были проведены наблюдения всех звезд северного неба, имеющих  $V < 7,2$  и  $\delta > -15^\circ$ . На основе этих наблюдений был создан каталог *WBVR*-величин ярких звезд объемом 13600 объектов.

Во второй главе описывается работа по определению показателей цвета Солнца, для чего было произведено усовершенствование аппаратуры и отладка методик контроля параметров фотоприемника. Излучение Солнца, отраженное от экрана из серноокислого бария сравнивалось непосредственно с потоками от ярких звезд. Кроме определения показателей цвета Солнца была выполнена фотометрия звезд Гиад. В результате этих наблюдений был сделан вывод, что в окрестностях Солнца присутствуют несколько подсистем звезд спектрального класса G2 V, различающихся возрастом и металличностью.

.На основе анализа данных в разных фотометрических каталогах был проведен поиск аналогов Солнца и выбор оптимальных объектов для программы SETI.

В третьей главе проводится сравнение звездных величин в высокоточных фотометрических каталогах, а именно в каталоге Hipparcos и каталоге *WBVR*-величин. Для этого был создан метод построения трансформационных полиномов третьего порядка. С помощью найденного полинома перевода величин из каталога *WBVR* в величину *H<sub>p</sub>* Hipparcos удалось добиться того, что среднеквадратическое отклонение наблюдаемой разности *H<sub>p</sub> – V* от вычисленной составило  $0^m,002$ , т.е. ошибки перевода не превосходили ошибок измерений. Это позволило проанализировать поведение величины  $(H_p - V)_{\text{obs}} - (H_p - V)_{\text{calc}}$  в разных направлениях на небесной сфере. В результате было выявлено наличие систематических ошибок, зависящих от небесных координат. Амплитуда этих ошибок достигает  $0^m,015$ , что существенно больше случайных ошибок измерений. Часть этих ошибок связана с погрешностями наблюдений и обработки данных в системе *WBVR*, но по крайней мере одна зона больших величин  $(H_p - V)_{\text{obs}} - (H_p - V)_{\text{calc}}$ , находящаяся в районе полюса эклиптики,

свидетельствует о систематических ошибках фотометрии Hipparcos. В итоге был составлен список из примерно 8000 звезд, показавших наилучшее согласие величин  $H_p$  Hipparcos и  $V$  системы WBVR. Этот список рассматривается как обширный набор кандидатов в стандарты фотометрической системы WBVR. В конце третьей главы приведен пример предвычисления звездных величин в фотометрической системе произвольного фотоприемника на основе данных из имеющихся точных фотометрических и спектрофотометрических каталогов. В качестве такого примера составлена группа формул для вычисления звездных величин в системе типичного ПЗС.

Четвертая глава посвящена разработке и верификации корреляционного метода обнаружения переменных звезд при помощи одновременных многоканальных наблюдений. Идея метода состоит в том, что при одновременных измерениях в нескольких каналах, что типично для многоцветной фотометрии, изменения блеска переменной звезды в разных каналах должны быть скоррелированы. По формулам метода вычисляется параметр, обозначенный нами как  $MZ$ ; если  $MZ > 3$ , то звезда с большой степенью вероятности является переменной. Метод позволяет обнаруживать переменность, даже если амплитуда изменений блеска звезды не превышает  $1\sigma$ . С помощью этого метода на основе данных одновременных измерений в каталогах Hipparcos и Tycho были проверены на переменность звезды списка кандидатов в стандарты, о котором говорилось в предыдущей главе. После этого анализа из списка кандидатов были удалены все звезды, входящие в Общий каталог переменных звезд, в каталог звезд, заподозренных в переменности (NSV), и в списки AAVSO, а также имеющие соответствующий флаг в поле переменности в каталоге Hipparcos. После этого из списка были удалены звезды, для которых  $MZ > 2$ . Оставшиеся 6484 звезды могут считаться надежными стандартами системы WBVR.

В пятой главе излагаются цели и принципы реализации космического астрофотометрического проекта «Лири-Б».

Стоящая задача создания обширного фотометрического многоцветного обзора всего неба привела к осознанию необходимости проведения космического эксперимента по наблюдениям звезд до 16-й звездной величины в десяти спектральных полосах. Обзор должен быть проведен с высокой фотометрической точностью. В тех полосах, в которых сигнал от звезды максимален, все непостоянные звезды ярче  $12^m$ , включая самые яркие, будут измерены с результирующей погрешностью не превышающей  $0^m,001$ , а более слабые объекты — с погрешностью не более  $0^m,01$ – $0^m,02^m$ . Будут приняты специальные меры, чтобы с высокой точностью измерить блеск ярких звезд от  $3^m$  включительно.

Для достижения этих целей были разработаны принципы фотометрического обзора неба с борта Международной космической станции. К числу этих принципов относятся решения о сканирующем режиме обзора, о параметрах космического телескопа, о применении матриц ПЗС с обратной засветкой, работающих в режиме ВЗН, о порядке покрытия небесной сферы наблюдениями, о системе стабилизации изображения (гидирования), о количестве фотометрических полос, о выборе размеров матриц ПЗС и размеров пикселя, о порядке обнаружения и регистрации объектов, о режиме наблюдений ярчайших звезд, о наземных и полетных калибровках приемников излучения, об объеме получаемой информации и методах ее передачи в герметический отсек и на Землю.

В результате был сделан вывод о реализуемости проекта.

Данные, которые предполагается получить в результате проведения фотометрического обзора, должны будут послужить основой для получения разнообразных научных данных, таких как создание высокоточного фотометрического каталога звезд, фотометрическое исследование поверхностей малых тел Солнечной системы, изучение статистических закономерностей строения Галактики и распределения межзвездной материи, определение для миллионов звезд их физических характеристик, проведение многоцветной поверхностной фотометрии протяженных объектов, открытие и изучение переменных звезд и многое другое.

Объединение астрометрической части каталога Gaia с фотометрическим каталогом «Лири-Б» позволит получить суперкаталог с принципиально новыми характеристиками.

Шестая глава посвящена описанию многоцветной фотометрической системы «Ли́ра-Б». В этой главе предложено расположение десяти полос фотометрической системы «Ли́ра-Б» в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях. С помощью специалистов ФИАН им. Лебедева найден способ нанесения интерференционных покрытий на матрицы ПЗС с обратной засветкой. Проведен предварительный расчет этих покрытий, который показал возможность создания светофильтров с высоким пропусканием в рабочих областях и очень малым пропусканием вне этих областей. Показано, что предложенное расположение полос фотометрической системы «Ли́ра-Б» позволяет эффективно определять межзвездное поглощение и для звезд многих спектральных типов проводить классификацию по спектральным классам и классам светимости. В целом ряде случаев фотометрическая система «Ли́ра-Б» позволяет оценивать обилие металлов в звездных атмосферах.

Выведены ожидаемые предельные величины для всех полос фотометрической системы для случая измерений с отношениями «сигнал/шум» 10 и 100. Найденные предельные величины позволили оценить количество звезд, для которых будет проведена фотометрия в разных полосах. Показано, что измерения в полосах “440” и “700” позволят детектировать тысячи звезд на каждом квадратном градусе.

Предложен способ создания системы стандартов для произвольного фотоприемника на основе планируемого каталога опорных фотометрических стандартов в системе «Ли́ра-Б». Способ не требует дополнительных наблюдений.

В заключении обсуждается проблема создания в будущем фундаментальной фотометрической системы и приводятся основные выводы диссертации.

В Приложении «А» даются оценки некоторых систематических ошибок фотометрии и спектрофотометрии. В Приложении «Б» уточняются некоторые термины и приводятся важнейшие формулы. В Приложении «В» приводятся уравнения трансформации звездных величин между некоторыми фотометрическими системами. В Приложении «Г» даны Таблицы, в которых приведены кривые реакции системы *WBVR*, величина стандартов системы *WBVR*, использовавшиеся в 1976-1989 годах, величины звезд скопления Ги́ады, каталог объектов SETI. В Приложении «Д» описан алгоритм расчета спектральной функции пропускания атмосферы Земли. В Приложении «Е» выполнен расчет предельных величин звезд различных спектральных типов, которые ожидается получить в ходе эксперимента «Ли́ра-Б». В Приложении «Ж» сделана оценка количества звезд в будущем каталоге «Ли́ра-Б»

Список работ, в которых опубликовано основное содержание диссертации состоит из 44 наименований.

Список цитированной литературы содержит 176 ссылок.