

ББК 22.6
Ц27

Рецензенты: докт. физ.-мат. наук, проф. В.В.Витязев
(С.-Петербургский государственный университет)
канд. физ.-мат. наук, научн. сотр. А.Г.Буткевич
(Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория)

А.С.Цветков

РУКОВОДСТВО ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ С КАТАЛОГОМ HIPPARCOS

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
С.-Петербургского государственного университета*

Цветков А.С.

Ц27 Руководство по практической работе с каталогом
Hipparcos: Учебно-метод. пособие. – СПб., 2005. – 104 с.

Затрагиваются практические аспекты работы с космическим астрометрическим каталогом Hipparcos, а именно знакомство с программой Celestia 2000, работа с текстовой версией каталога, сбор статистических данных, изучение распределения звезд по небесной сфере и в пространстве, построение диаграммы Герцшпрунга–Рессела.

Все примеры программ приводятся на трех языках: Pascal, C, Fortran.

В Приложении даны исчерпывающие комментарии ко всем полям каталога.

Пособие предназначено для студентов, аспирантов астрономических отделений университетов, а также научных сотрудников, занимающихся обработкой звездных каталогов.

ББК 22.6

© А.С.Цветков, 2005
© С.-Петербургский
государственный
университет, 2005

Глава I

Общие сведения о проекте Hipparcos

В 1989 году Европейское Космическое Агентство (ESA) осуществило запуск космического аппарата HIPPARCOS (HIGH Precision PARallax COLlecting Satellite – «спутник для сбора высокоточных параллаксов») с целью получения положений, собственных движений и параллаксов звезд на миллисекундном уровне точности. Космический аппарат проработал на орбите 37 месяцев, в течение которых он выполнял астрометрические и фотометрические измерения звезд по заданной программе.

Таблица 1.1. Сравнительные характеристики каталогов Hipparcos и Tycho

Каталог	HIPPARCOS	TYCHO
Система каталога	ICRS	ICRS
Средняя эпоха наблюдений	1991.25	1991.25
Число звезд	118 218	1 058 332
Предельная звездная величина	12.4 ^m	11.5 ^m
Полнота	7.3 ^m –9 ^m	10.5 ^m
Средние точности:		
положений	< 1 mas	7–25 mas
собственных движений	< 1 mas/yr	
параллаксов	≈ 1 mas	
Средняя точность фотометрии	≈ 0.002 mag	0.06–0.10 mag

Обработка этих наблюдений, подробно описанная в [1–3], привела к созданию двух каталогов: *Hipparcos*, содержащего информацию о 118 218 звездах с точностью определения положений, годовых собственных движений и параллаксов на уровне 1 mas (milli arc second), и каталога *Tycho*, содержащего уже свыше 1 млн звезд, с точностью измерения тех же параметров до 25 mas. В табл. 1.1 приведены сравнительные характеристики этих каталогов.

Результаты, полученные в проекте Hipparcos, опубликованы в печатном и электронном виде.

- Печатная версия занимает 16 томов документации, описывающих содержание конечных версий Hipparcos и Tycho, характеристики

спутника, редуцированные процедуры, а также печатную версию каталога Hipparcos.

- Электронная версия состоит из шести компакт-дисков, собранных в виде 17-го тома. В дополнение к печатной версии каталогов электронная версия включает Приложение для двойных и кратных звезд, кросс-идентификацию и дополнительные файлы, содержащие промежуточные стадии получения астрометрических данных. Каталог Hipparcos размещен в базе астрономических данных CDS (Страсбург) и выпущен на компакт-диске в текстовом (ASCII) формате.
- Для работы с электронной версией каталогов было выпущено специальное издание на компакт-диске, называемое Celestia 2000. Этот диск содержит данные каталогов Hipparcos Input Catalogue, Hipparcos и Tycho вместе со специальным программным обеспечением, значительно облегчающим использование каталогов. Программное обеспечение рассчитано на работу в нескольких разных версиях ОС Microsoft Windows.
- Существует информационный портал космической миссии Hipparcos <http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos/hipparcos.html>, который поддерживается Европейским космическим агентством (ESA). Кроме основных результатов миссии, сайт содержит ссылки на самые важные и текущие публикации, полученные по материалам каталогов Hipparcos и Tycho, а также научно-популярную часть.

Содержание 16 томов документации и содержание компакт-дисков представлено в Приложениях А и В. В дальнейшем мы будем использовать ссылки на эти материалы, используя трехступенчатую структуру ссылки. Например, секция 1.2.3 означает третий параграф второй главы первого тома.

Система каталогов Hipparcos и Tycho

Положения и собственные движения звезд в каталогах Hipparcos и Tycho приводятся в фундаментальной системе ICRS (International Celestial Reference System), реализованной в настоящее время с помощью каталога внегалактических радиисточников, получившего название ICRF (International Celestial Reference Frame). Вследствие того, что внегалактические источники (квazarы) были недоступны прямому наблюдению на аппарате Hipparcos (за исключением ЗС 273), пришлось использовать несколько прямых и косвенных методов, чтобы связать предварительную систему каталога Hipparcos с ICRF. Следует отметить, что достигнутая точность привязки осей координат системы от-

счета каталога HIPPARCOS к осям ICRF оценивается величиной 0.6 mas по всем трем углам поворота и величиной 0.25 mas/год по всем трем компонентам вектора остаточного взаимного вращения двух систем отсчета.

До полета спутника HIPPARCOS практика построения астрометрических каталогов положений и собственных движений звезд принципиально основывалась на *динамическом* определении системы отсчета и базировалась на установлении положений средней экваториальной плоскости (после исключения из вращения Земли нутационных членов) и плоскости эклиптики. Одна из точек пересечения этих плоскостей дает среднюю точку весеннего равноденствия, которая служит нуль-пунктом в отсчете прямого восхождения. Эти две плоскости не являются инерциально неподвижными, а медленно перемещаются вследствие лунно-солнечной и планетной прецессии. Для того чтобы зафиксировать систему отсчета (сделать ее инерциальной), необходимо определить некоторую дату E , на которую «заморозить» положение фундаментальных плоскостей, и с этого момента установить оси небесной системы координат. В терминологии классической астрометрии эпоха E определяла равноденствие и экватор каталога (например, J2000). Преобразование координат между системами разных равноденствий E_1 и E_2 выражается в поправках к положениям звезд, вызванных накоплением действия прецессии между двумя этими датами. Этот процесс зависит от принятой динамической теории прецессии и получаемой эмпирически постоянной прецессии и других констант теории. В связи с принятием ICRS, в которой ориентация осей зафиксирована раз и навсегда, средняя экваториальная плоскость и эклиптика потеряли свое фундаментальное значение как основы системы отсчета. По этой причине отпадает необходимость в указании эпохи системы каталога, хотя нуль-пункт отсчета прямых восхождений каталога ICRF формально близок к положению динамического равноденствия эпохи J2000.

При сопоставлении каталогов Hipparcos и Tycho с классическими астрометрическими каталогами следует принять во внимание следующие обстоятельства:

- С одной стороны, можно считать, что каталоги Hipparcos и Tycho являются первыми широкомасштабными реализациями ICRS в оптическом диапазоне, с другой стороны, их можно рассматривать как расширение и улучшение системы FK5 J2000 с сохранением глобальной ориентации этой системы, но без зональных систематических ошибок. Но следует еще раз подчеркнуть, что и каталог

Hipparcos, и каталог Tycho привязаны не к системе FK5, а к системе ICRF.

- Тот факт, что положения звезд каталогов миссии Hipparcos приведены в системе ICRS, означает что они непротиворечивы по отношению к современной внегалактической радиосистеме координат. Для собственных движений это означает, что они показывают угловые скорости звезд по отношению к лучшей на сегодняшний день реализации инерциальной системы отсчета (т.е. не вращающейся по отношению к удаленным галактикам).
- Так как параллаксы звезд получены исключительно в процессе обработки данных космического аппарата, направления на звезды, представленные прямым восхождением и склонением на эпоху каталога $T_0 = J1991.25$ (ТТ), являются строго барицентрическими. В предшествующих астрометрических каталогах неопределенность, вызванная параллактическим смещением, проникала в окончательные координаты звезд каталога.
- В то время как собственные движения звезд, полученные из наземных наблюдений, традиционно определялись на разности эпох от 20 до 50 лет, собственные движения каталога Hipparcos определены на временном базисе всего в несколько лет. «Наземные» собственные движения дают среднее значение движения звезды за период несколько декад, а собственные движения каталога Hipparcos можно назвать почти мгновенными. Здесь нет никакого противоречия до тех пор, пока мы имеем дело с равномерно движущейся звездой, по крайней мере, одиночной. Однако много видимых одиночных звезд являются в реальности двойными и движение компонент или фотоцентра двойной звезды может быть в значительной мере неравномерным. Для таких объектов может наблюдаться значительное разногласие между «наземными» и «космическими» собственными движениями, которые нельзя приписать случайным ошибкам или разностями между фундаментальными системами.

Входной каталог

В процессе выполнения наблюдательной программы на аппарате использовался **Hipparcos Input Catalogue (HIC)** – Входной каталог миссии Hipparcos (ESA SP-1136). Он содержал список звезд и объектов Солнечной системы, составивших подробную наблюдательную программу. Этот каталог представляет собой компиляцию наземных данных астрометрического и астрофизического характера, необходимых для формулирования и выполнения научной программы.

Обозначения и размерности астрометрических параметров

Каждая запись (информация о звезде) каталога НИС предваряется номером. Та же нумерация строго сохранена в финальном каталоге, поэтому номера звезд по каталогу Hipparcos совпадают с НИС. Для размещения других данных о звезде запись делится на поля. Описание всех 77 полей каталога Hipparcos можно найти в Приложении С нашего пособия.

Основные астрометрические данные, содержащиеся в каталогах Hipparcos и Tycho, состоят из положений, собственных движений и тригонометрических параллаксов звезд. Hipparcos – первый в мире каталог, содержащий индивидуальные высокоточные параллаксы и собственные движения для всех звезд, включенных в наблюдательную программу.

Стандартная астрометрическая модель для одиночной звезды (см. секцию 1.2.8) предполагает прямолинейное движение звезды относительно барицентра Солнечной системы. Поэтому для описания положения и движения звезды на некоторую эпоху T_0 используются следующие шесть параметров:

- барицентрические координаты направления на звезду – прямое восхождение α и склонение δ ; в каталоге единицы измерения этих величин – градусы и их десятичные доли;
- годичный параллакс π (в каталоге единица измерения – mas – угловая миллисекунда); с достаточной точностью можно полагать, что $1000 \pi^{-1}$ дает расстояние до звезды в парсеках;
- собственные движения $\mu_\alpha \cos \delta$ и μ_δ в угловых миллисекундах за юлианский год (mas/год);
- лучевая скорость (км/с).

Лучевые скорости обычно получают из спектроскопических наблюдений. К сожалению, на борту аппарата такие измерения не велись. Оставшиеся астрометрические параметры, так называемые «пять астрометрических параметров», определялись из анализа наблюдений спутника Hipparcos и даны почти для всех звезд каталога (117 955).

Для большинства звезд, включая даже компоненты кратных систем, модель пяти астрометрических параметров оказалась вполне адекватной. Однако для нескольких тысяч звезд такая стандартная модель не дает достаточно хорошего приближения к наблюдениям. Вероятно, это двойные звезды, у которых фотоцентр описывает кривую траекторию на небесной сфере, вызванную орбитальным движением компонент относительно общего центра масс. Для таких «астрометрических двойных» стандартная модель требует введения дополнительных па-

раметров, чтобы добиться лучшего согласия с наблюдениями. В большинстве случаев хорошее эмпирическое совпадение было получено путем включения одного или двух членов ряда Тейлора в разложении вариации барицентрического направления на звезду по степеням времени. В нескольких сотнях случаев и этого оказалось недостаточно. Для таких звезд была применена кеплеровская модель орбитального движения фотоцентра (иногда базирующаяся на наземных данных). Такие решения даны в Приложении двойных и кратных систем (Том 10 – Double and Multiple Systems Annex).

Для работы с каталогом Hipparcos используется шкала времени TT (Terrestrial Time) (см. секцию 1.2.3). Положения звезд и их собственные движения даны на одну общую эпоху $T_0 = J 1991.25$ (не путать с фундаментальной эпохой!).

В ICRS можно выбрать и использовать экваториальные координаты прямое восхождение α и склонение δ . Собственные движения звезд являются скоростями изменения их координат:

$$\mu_\alpha \equiv \frac{d\alpha}{dt}, \quad \mu_\delta \equiv \frac{d\delta}{dt}. \quad (1.1)$$

По традиции, вызванной удобством использования и сравнения с μ_δ вместо величины μ_α используют нормированную к большому кругу величину μ_{α^*} :

$$\mu_{\alpha^*} \equiv \mu_\alpha \cos \delta, \quad (1.2)$$

которая и приведена и в электронной, и в печатной версиях каталогов. К примеру, в этих обозначениях полное собственное движение звезды выражается формулой

$$\mu = \sqrt{\mu_{\alpha^*}^2 + \mu_\delta^2}, \quad (1.2)$$

а позиционный угол θ собственного движения определяется формулами

$$\mu_{\alpha^*} = \mu \sin \theta, \quad \mu_\delta = \mu \cos \theta. \quad (1.3)$$

Отметим, что в литературе можно встретить написание просто $\mu_\alpha \cos \delta$ или даже $\mu \cos \delta$, в последнем случае собственное движение по склонению обозначают через μ' .

Стандартные ошибки в положении по прямому восхождению также приведены к большому кругу множителем $\cos \delta$: $\sigma_{\alpha^*} = \sigma_\alpha \cos \delta$. Таким образом, полная ошибка положения звезды выражается формулой

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\alpha^*}^2 + \sigma_\delta^2}, \quad (1.4)$$

причем σ_{α^*} не имеет систематического хода по склонению. Например, эта величина при $\delta = 80^\circ$ составляет для большинства звезд около 1 mas, в то время как σ_α достигает 6 mas.

Аналогично представляется ошибка собственного движения: $\sigma_{\mu_{\alpha^*}} = \sigma_{\mu_\alpha} \cos \delta$, а выражение для полной ошибки собственного движения

$$\sigma_\mu = \sqrt{\sigma_{\mu_{\alpha^*}}^2 + \sigma_{\mu_\delta}^2}. \quad (1.5)$$

В звездных каталогах прямое восхождение и склонение традиционно приводятся в шестидесятеричной системе, причем прямое восхождение – еще и во временных единицах, т.е. α измеряется в часах, минутах и секундах времени, а δ в градусах, минутах и секундах дуги. Естественно, такая запись неудобна для современных вычислений. Публикация каталогов Hipparcos и Tycho представляла идеальную возможность для установления нового стандарта. Было решено использовать градусы и их десятичные доли для всех координат на небесной сфере, а для стандартных ошибок, параллаксов и годовых собственных движений – миллисекунды дуги mas.

Тем не менее, для облегчения идентификации приблизительные прямые восхождения и склонения даются для каждого объекта и в шестидесятеричной системе. Однако, в связи с более низкой точностью представления этих данных в каталоге (прямое восхождение – до сотых долей секунды времени, склонение до десятой доли угловой секунды) не следует использовать эти координаты (поля НЗ, Н4) в вычислительных задачах.

Астрометрические параметры, как и другие наблюдаемые величины, даны в каталоге с достаточным числом десятичных цифр, чтобы избежать ошибок округления для самых точных величин. В результате менее точные данные могут содержать несколько незначащих десятичных знаков в конце.

Вариационно-ковариационные данные и корреляции

Процедура построения окончательной версии каталога Hipparcos заключалась в определении из наблюдений поправок к некоторым начальным значениям. Например, для начального значения прямого восхождения α_0 определялась поправка $\Delta\alpha \cos \delta$. Всего методом наименьших квадратов оценивались значения пяти переменных:

$$\begin{aligned} a_1 &= \Delta\alpha^* \equiv \Delta\alpha \cos \delta, & a_2 &= \Delta\delta, \\ a_3 &= \pi, \\ a_4 &= \mu_{\alpha^*} \equiv \mu_\alpha \cos \delta, & a_5 &= \mu_\delta. \end{aligned} \quad (1.6)$$

В контексте метода наименьших квадратов информация о качестве оценки неизвестных a_i содержится в ковариационной матрице с элементами

$$c_{ii} = \sigma_i^2, \quad c_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad i, j = 1, \dots, 5, \quad (1.7)$$

где σ_i – стандартная ошибка оцениваемого параметра, а $\rho_{ij} = \rho_{ji}$ – коэффициенты корреляции.

В каталоге для коэффициентов корреляции используется следующая схема обозначений:

$$\rho_{\alpha^*}^\delta = \rho_{21}, \quad \rho_{\alpha^*}^\pi = \rho_{31}, \quad \rho_{\delta}^\pi = \rho_{32}, \quad \rho_{\alpha^*}^{\mu_{\alpha^*}} = \rho_{41}, \dots, \quad \rho_{\mu_{\alpha^*}}^{\mu_\delta} = \rho_{54}. \quad (1.8)$$

Эта последовательность соответствует треугольной части корреляционной матрицы, расположенной ниже главной диагонали в построчном порядке (или верхней части в порядке по колонкам).

В печатной версии каталога Hipparcos приводится только 10 коэффициентов корреляции среди пяти астрометрических параметров, в то время как в электронной версии приведен полный набор коэффициентов корреляции, включая сложные случаи для двойных и кратных систем. Корреляции необходимы для правильной оценки стандартных ошибок при переводе координат с одной эпохи на другую (см. следующую секцию).

Преобразование астрометрических данных

Над астрометрическими данными каталогов Hipparcos и Tycho определены следующие преобразования: переходы из экваториальной системы координат в эклиптическую и из экваториальной системы в галактическую, а также перевод данных с эпохи $T_0 = J1991.25$ (ТТ) на произвольную эпоху T . Хотя эти или подобные преобразования обсуждаются во многих книгах и учебниках, однако в случае каталогов миссии Hipparcos они имеют специфические особенности.

В эклиптических координатах астрометрические параметры обозначаются как $\lambda, \beta, \pi, \mu_\lambda^*, \mu_\beta$, аналогично в галактической системе координат – $l, b, \pi, \mu_l^*, \mu_b$. Здесь, как обычно, $\mu_\lambda^* = \mu_\lambda \cos \beta$ и

$\mu_{l*} = \mu_l \cos b$. Индекс «0» означает, что данные относятся к эпохе каталога T_0 .

Переход в эклиптическую систему координат

Преобразование координат из экваториальной системы в эклиптическую производится по следующим формулам:

$$\begin{pmatrix} \cos \beta \cos \lambda \\ \cos \beta \sin \lambda \\ \sin \beta \end{pmatrix} = \mathbf{R}_K \begin{pmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{pmatrix}, \quad (1.9)$$

где

$$\mathbf{R}_K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon & \sin \varepsilon \\ 0 & -\sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & +0.9174820621 & +0.3977771559 \\ 0 & -0.3977771559 & +0.9174820621 \end{pmatrix}, \quad (1.10)$$

а $\varepsilon = 23^\circ 26' 21.448'' = 23.4392911111^\circ$ – принятое значение наклона эклиптики к экватору на эпоху J2000.

Переход в галактическую систему координат

В системе ICRS значения координат галактического полюса определены как

$$\alpha_G = 192.85948^\circ, \quad (1.11)$$

$$\delta_G = +27.12825^\circ,$$

а разность между восходящим узлом галактического экватора и нуль-пунктом долгот равна

$$l_\Omega = 32.93192^\circ. \quad (1.12)$$

Значения (1.11) и (1.12) находятся в полном согласии с предыдущим (1960 г.) определением положения галактической системы координат с точностью, которая достигалась в оптическом диапазоне.

Связь между галактическими и экваториальными координатами задается выражением

$$\begin{pmatrix} \cos b \cos l \\ \cos b \sin l \\ \sin b \end{pmatrix} = \mathbf{R}_G \begin{pmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{pmatrix}, \quad (1.13)$$

где

$$\mathbf{R}_G = \begin{pmatrix} -0.0548755604 & +0.4941094279 & -0.8676661490 \\ -0.8734370902 & -0.4448296300 & -0.1980763734 \\ -0.4838350155 & +0.7469822445 & +0.4559837762 \end{pmatrix}. \quad (1.14)$$

Формулы для вычисления собственных движений можно найти путем дифференцирования выражений (1.9) и (1.13) по времени. Элементы матриц (1.10) и (1.14) при этом считаются постоянными. Значения элементов этих матриц даны на фундаментальную эпоху J2000.

Можно использовать и традиционный способ вычисления галактических собственных движений через матрицу поворота:

$$\begin{pmatrix} \mu_{l*} \\ \mu_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mu_{\alpha*} \\ \mu_\delta \end{pmatrix}, \quad (1.15)$$

здесь φ – угол, под которым из данной точки небесной сферы видны полюс Галактики и полюс мира. Этот угол может быть найден с помощью следующих формул:

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{\cos \delta_G \cos(l - l_\Omega)}{\cos \delta}, \\ \cos \varphi &= \frac{\cos b \sin \delta_G - \sin b \cos \delta_G \sin(l - l_\Omega)}{\cos \delta}. \end{aligned} \quad (1.16)$$

Переход к другой эпохе

Простейшие формулы пересчета небесных координат звезды α и δ с эпохи T_0 на произвольную эпоху T выглядят следующим образом:

$$\alpha = \alpha_0 + (T - T_0) \mu_{\alpha*0} \sec \delta_0, \quad (1.17)$$

$$\delta = \delta_0 + (T - T_0) \mu_{\delta 0}.$$

Множитель $\sec \delta_0$ введен для компенсации множителя $\cos \delta_0$, входящего по определению в $\mu_{\alpha 0}$. Среднеквадратичные ошибки преобразованных координат могут быть вычислены с помощью формул

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha*}^2 &= \left[\sigma_{\alpha*}^2 + 2t \rho_{\alpha*}^{\mu_{\alpha*}} \sigma_{\alpha*} \sigma_{\mu_{\alpha*}} + t^2 \sigma_{\mu_{\alpha*}}^2 \right]_0, \\ \sigma_\delta^2 &= \left[\sigma_\delta^2 + 2t \rho_\delta^{\mu_\delta} \sigma_\delta \sigma_{\mu_\delta} + t^2 \sigma_{\mu_\delta}^2 \right]_0, \end{aligned} \quad (1.18)$$

где $t = T - T_0$ – разность эпох, а все величины в правой части относятся к эпохе T_0 .

Если вспомнить, что в процессе движения звезды в пространстве изменяются ее расстояние от Солнца и собственное движение, то становится ясным, что модель (1.17) не очень хороша с физической точки зрения. Хотя разность по отношению к точной модели обычно очень мала, но все-таки в некоторых случаях, особенно для звезд близких к полюсам или на больших временных периодах, она может быть значимой. Поэтому уравнения (1.17) не следует использовать в программах, предназначенных для универсального применения. Тем не менее, в большинстве случаев и в оценочных вычислениях их точность вполне достаточна.

Строгое преобразование параметров и ковариационных матриц встроено в программу Celestia 2000. Из-за относительной сложности этих преобразований ASCII CD-ROM-1 (секция 2.11) содержит тексты программы на языках Fortran и C, реализующих этот алгоритм.

Фотометрические системы каталогов Tycho и Hipparcos

Фотометрические измерения на основном инструменте спутника HIPPARCOS выполнялись в широкой полосе (рис. 1.1). Результаты этих измерений, обозначенные как H_p , приведены в поле H44. В дополнение, почти для всех звезд каталога Tycho (в том числе и звезд Hipparcos, которые имеются в Tycho) была выполнена двухцветная фотометрия (соответственно величины V_T и B_T – поля H32, H34). Точность определения H_p составляет $0.0004^m - 0.007^m$ (для звезд $2-12^m$), а точность одного измерения – $0.003^m - 0.05^m$. Для большинства звезд Hipparcos типичное значение ошибки H_p – около 0.0015^m , а индивидуальной ошибки одного измерения – 0.011^m . Точность фотометрической системы Tycho составляет около 0.012^m для звезд ярче 9^m и около 0.06^m для более слабых звезд.

Связь системы Tycho со шкалой Джонсона

Фотометрические системы H_p , V_T и B_T – это инструментальные системы, и они не совпадают с общепринятой системой Джонсона. Используя значения звездной величины V_J по шкале Джонсона и показателя цвета $(B-V)_J$ для 8000 стандартных звезд с хорошими фотометрическими данными в системе B_T и V_T , были получены следующие эмпирические линейные соотношения, применимые к диапазону $-0.2 < (B-V)_T < 1.8$:

$$V_J = V_T - 0.090(B-V)_T, \quad (1.19)$$

$$(B-V)_J = 0.850(B-V)_T.$$

Точность этих преобразований в среднем лучше, чем 0.015^m для V_J и 0.05^m для $(B-V)_J$. Эти преобразования применимы к звездам, чей цвет не искажен межзвездным поглощением, и игнорируют зависимость от класса светимости. Формулы вообще не применимы к звездам класса M, даже если их показатель цвета $(B-V)_T < 1.8^m$.

Формальные ошибки величин V_J и $(B-V)_J$ выражаются формулами

$$\sigma_{V_J} = \sqrt{1.09\sigma_{V_T}^2 + 0.09\sigma_{B_T}^2}, \quad (1.20)$$

$$\sigma_{(B-V)_J} \approx G \cdot \sqrt{\sigma_{V_T}^2 + \sigma_{B_T}^2},$$

где множитель G принимает значения от 0.79 до 0.97 в зависимости от показателя цвета звезды. Более точные формулы и таблицы интерполяции приведены в секции 1.3, Приложение 4.

Для удобства использования в основном каталоге Hipparcos приведены величины V_J и $(B-V)_J$ (поля H5, H37). Кроме того, указан источник получения этих параметров: наземные наблюдения, фотометрия Tycho и пр. (поля H7, H39).

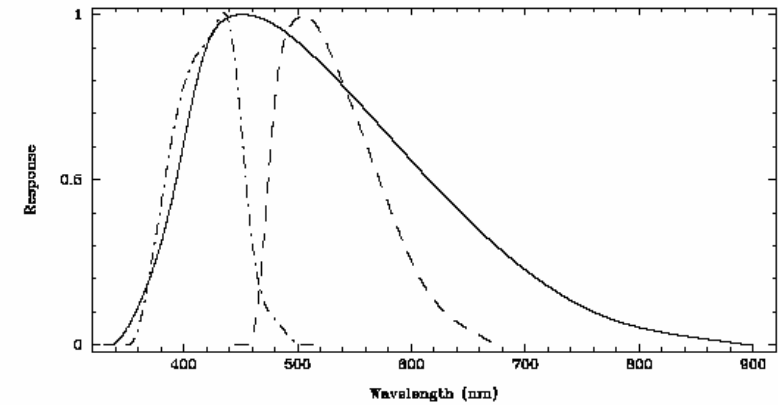


Рис. 1.1. Фотометрические системы H_p (сплошная линия), V_T (штриховая линия) и B_T (штрих-пунктирная линия).

Глава II

Программное обеспечение каталогов Hipparcos и Tycho – Celestia 2000

Для широкого круга астрономов ESA выпустило CD-ROM “Celestia” [Celestia 2000 (C. Turon et al.)], содержащий данные каталогов Hipparcos Input Catalogue, Hipparcos и Tycho, а также программное обеспечение, которое позволяет делать выборки из каталогов по многим критериям и их комбинациям, строить визуализации каталога на небесной сфере, получать подробную информацию о конкретной звезде. Программа Celestia распространяется для трех программных платформ Windows 3.1, Windows 95 и Windows NT. Иногда возникают проблемы с работой программы в самых последних версиях Windows. В этом случае можно рекомендовать установку версии для Windows 3.1 без всякого ущерба для функциональности. Исправления и дополнения можно получить с адреса

<http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos/CELESTIA/celestia-pr.html>.

Рассмотрим основные приемы работы с программой. Пользовательский интерфейс программы очень лаконичен. Все возможные команды перечислены в главном меню, нет никаких панелей инструментов и скрытых «горячих клавиш». Главное меню программы состоит из пунктов *File, Object, Criterion, Sample, Local chart, Global chart, Text output, Configuration, Window* и *Help*. Мы познакомимся со всеми ними.

Меню Criterion

Мы начнем обзор с этого меню, поскольку его команды являются, пожалуй, самым главным компонентом в программе Celestia, а работа команд из остальных меню требует заранее определенных критериев выбора звезд. Критерий выбора по одному параметру мы будем называть простым критерием. Простые критерии можно объединять, результат такого объединения будем называть комбинированным критерием. Покажем, как это делается на примере получения выборки звезд, у которых параллаксы заключены в пределах от 20 до 50 mas, а видимая звездная величина варьируется в диапазоне от 0 до 6 видимой звездной величины.

Команда *Create* вызовет большую диалоговую панель, пользователю предлагается отметить каталог, из которого он желает получить данные, и только один параметр отбора (рис. 2.1). После нажатия кнопки *OK* появляется уточняющий диалог, индивидуальный для каж-

дого вида критерия, в котором приведены максимальное и минимальное значения выбранной величины, а также различные дополнительные сведения (рис. 2.2).

Каждому созданному критерию присваивается порядковый номер. С помощью логических операций (пункт *combine*) можно объединять критерии, например, рис. 2.3 демонстрирует объединение критериев 1 и 2 с помощью операции AND. Критерии можно изменять (*modify*) и удалять (*delete*). К неудобствам следует отнести то обстоятельство, что логические критерии не пересчитываются автоматически при изменении входящих в них критериев. Необходимо войти в пункт *modify*, выбрать необходимый критерий и, к сожалению, сконструировать заново логическое выражение.

Подобным образом можно определять разнообразные простые критерии и объединять их различным образом, создавая соответствующие комбинированные критерии.

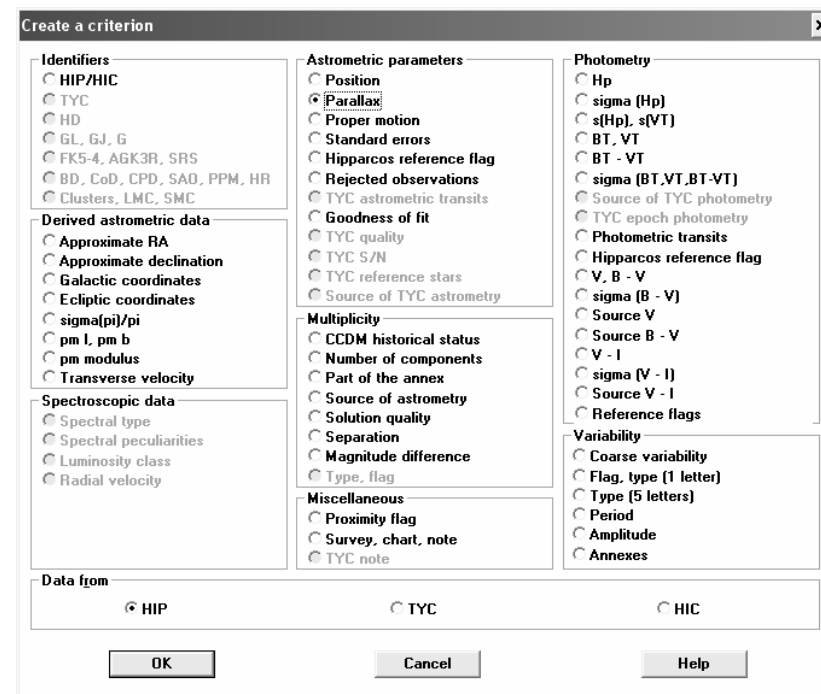


Рис. 2.1. Диалог программы Celestia, позволяющий выбрать критерии отображаемых объектов.

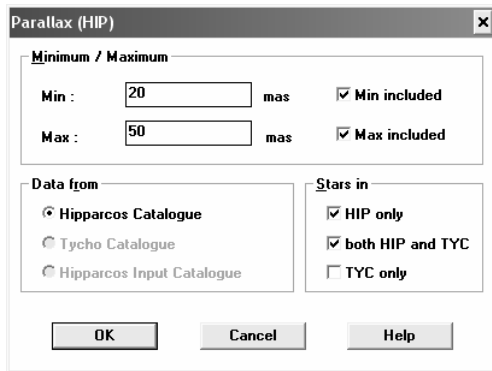


Рис. 2.2. Диалог программы Celestia, уточняющий значения параллакса.

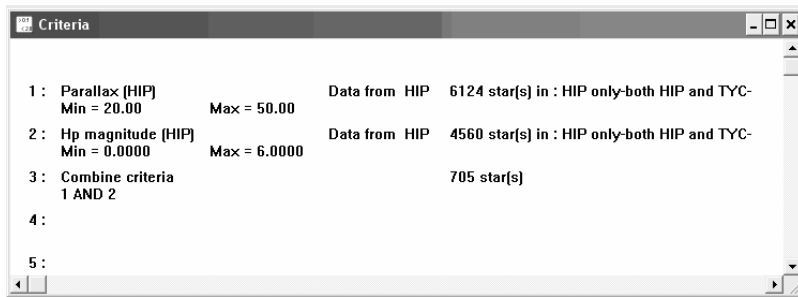


Рис. 2.3. Список созданных критериев отбора звезд в программе Celestia.

В программе Celestia предусмотрено создание критериев выбора звезд при использовании более 100 параметров. Рассмотрим подробнее возможности создания простых критериев. Первое, что должен сделать пользователь при работе с диалоговым окном 2.1, – это указать с помощью кнопок Data from один из трех возможных каталогов: Hipparcos (HIP), Tycho (TYC) или Hipparcos Input Catalogue (HIC). В зависимости от этого становятся доступными или недоступными те или иные «радиокнопки» выбора критерия, которые сгруппированы в связанные одной темой блоки.

Основное назначение критерия – составить список номеров звезд по каталогу Hipparcos или Tycho, удовлетворяющих этому критерию.

Блок Identifiers

Этот блок позволяет отобрать звезды по их номерам в известных каталогах: Hipparcos, Tycho, HD, Gliese, FK5, FK4, AGK3, SRS, BD, SAO, CPD, PPM, HR и даже выбрать звезды, принадлежащие опреде-

ленным звездным скоплениям и Большому и Малому Магелланову облаку. При использовании данных каталога Hipparcos доступен номер только по каталогу Hipparcos, наибольшее число идентификаторов звезд каталогов доступно при использовании данных HIC. Однако это не означает, что вы ограничены получением других параметров звезды из каталога HIC, как раз напротив. Вы указываете только источник данных для получения номера звезды по определенному каталогу. Критерий работает своим обычным образом – определяет список номеров звезд в каталоге Hipparcos или Tycho, удовлетворяющих заданному условию.

Рассмотрим, например, процедуру построения списка номеров тех звезд Hipparcos, которые содержатся в FK5/FK5 ext. В диалог *Create a criterion* укажем в качестве **исходных данных** каталог HIC и отметим кнопку *FK5-4, AGK3R, SRS*, нажмем *OK*. В появившемся диалог (рис. 2.4) отметим пункт *Stars in FK5, FK5 ext* и пункт *Stars in HIP only*, еще раз нажмем *OK*. Будет создан соответствующий критерий с сообщением о том, что ему удовлетворяют 4638 звезд Hipparcos.

Забегая вперед, покажем, как просмотреть список этих звезд. Перейдем в главное меню *Sample* (см. далее) и выберем команду *List*. В появившемся окне будут отображены номера всех звезд Hipparcos, которые содержатся в FK5/FK5 ext. Двойной щелчок мышью по номеру звезды откроет окно с подробной информацией о звезде.

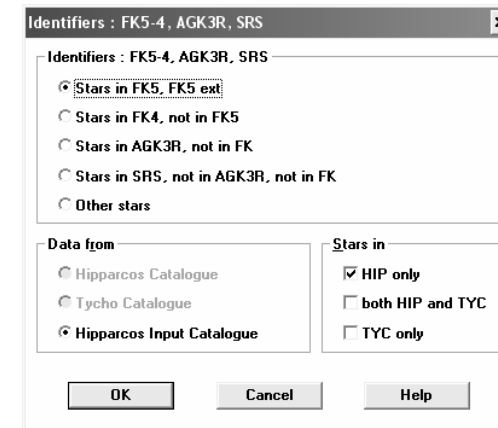


Рис. 2.4. Отбор звезд по их нахождению в наземных каталогах.

Блок *Derived Astrometric data*

Блок вычисляемых астрометрических данных осуществляет отбор звезд по

- экваториальным,
- эклиптическим,
- галактическим координатам,
- относительной ошибке параллакса,
- галактическим собственным движениям,
- трансверсальной скорости.

Во всех случаях пользователь получает возможность определить диапазон конкретной величины.

Блок *Spectroscopic data*

Этот блок параметров становится доступным только в случае выбора в качестве исходных данных каталога НИС, поскольку спектроскопические измерения не выполнялись на аппарате Hipparcos. В этом блоке можно осуществлять выборку по

- спектральному классу, от O4 до M9, а также R, N, S, WN, WR, WC, DC-DG;
- особенностям спектра: необычный химический состав, избыток металлов, наличие эмиссионных линий, наличие или отсутствие оболочки, очень узкие или широкие линии и т. п.;
- классу светимости: от I до VII с подклассами;
- лучевой скорости звезды, 23 868 звезд имеют данные о лучевой скорости.

Блок *Astrometric data*

В этом блоке сосредоточены критерии выборки по астрометрическим параметрам звезд, определенных на космическом аппарате. Среди них:

- точные координаты звезд в системе ICRS на эпоху J 1991.25 (выраженные в градусах и десятичных долях);
- параллакс (в mas);
- собственные движения (в mas в год);
- стандартные ошибки всех эти величин;
- ссылочный флаг для двойных и кратных звезд, поясняющий относятся астрометрические параметры к какой-либо компоненте двойной звезды (A, B, C) или к фотоцентру;
- процент отброшенных наблюдений;

- качество ряда наблюдений (отклонение от нормального распределения);
- количество прохождений звезды через главную решетку телескопа (только в ТУС);
- качество наблюдений в ТУС – условное число от 1 до 9;
- отношение сигнал/шум в изображении звезды (только в ТУС);
- возможность использования в астрометрических работах – возможно или сомнительно;
- источник астрометрических данных (только для ТУС; возможные значения: P – для звезды определено только положение, остальная астрометрическая информация отсутствует; A – для звезды определено так только положение, да и то ненадежно).

Блок *Multiplicity*

Пункты этого блока позволяют отбирать звезды по признакам их кратности. Перечислим возможные критерии отбора:

- *CCDM historical status* – определяет момент, в который звезда была внесена в Catalogue of Components of Double and Multiple Stars: в НИС, НРР или другое время;
- *Number of components* – кратность звезды от 1 до 4;
- *Multiplicity annexes* – информация о кратности и вид модели, применявшейся при редукции данных (модель для разрешенной двойной звезды, модель ускоренного движения, модель для выявленного орбитального движения и т. п.);
- *Source of system astrometry* – источник астрометрических данных для двойной системы;
- *Quality of system solution* – качество определения двойной системы: от надежного до подозрения в двойственности;
- *Separation* – расстояние между компонентами (в секундах дуги);
- *Magnitude difference* – различие в блеске компонент (в звездных величинах);
- *Type, flag* – флаг неразрешенной двойной системы в каталоге Tycho.

Блок *Miscellaneous*

Блок «разное» содержит всего три пункта:

- *Proximity flag* – флаг, указывающий, что поблизости от данного объекта (менее 10") находится другой объект;

- *Survey, chart, note* – флаги, определяющие то, принадлежит ли звезда основному обзору (survey stars – всего 52 045 звезд) или включена в каталог по другим причинам (идентификационная карта, интересный объект и т. п.);
- *TYS note* – флаг, говорящий о возможных сомнениях в определении параллакса, собственного движения (только для ТУС).

Блок *Photometry*

В этом блоке собраны параметры, описывающие блеск, цвет и сопутствующие величины. К сожалению, нельзя отобразить звезды по абсолютной звездной величине, хотя *Celestia 2000* обладает возможностью вычислять абсолютную звездную величину, не прибегая к другим программам. Перечислим имеющиеся в этом меню пункты.

- *H_p* – звездная величина в системе *Hipparcos*;
- *sigma (H_p)* – среднеквадратичная ошибка *H_p*;
- *s(H_p)*, *s(V_T)* – разброс *H_p* (вычисляется другим способом, нежели предыдущий параметр);
- *B_T*, *V_T* – звездная величина в полосах *B_T* и *V_T* в фотометрической системе *Tycho*;
- *B_T-V_T* – показатель цвета в системе *Tycho*;
- *sigma (B_T, V_T, B_T-V_T)* – среднеквадратичные ошибки соответствующих величин;
- *Source of TYS photometry* – источник фотометрических данных: проверенные данные, данные из фотометрии двойных звезд, приближенная оценка блеска и т.п.;
- *TYS epoch photometry* – значение *A* или *B* указывает на Приложение (*Annex A*, *Annex B*), в котором приведены данные о эпохе определения фотометрических величин, пробел свидетельствует об отсутствии этих данных;
- *Photometric transits* – число фотометрических наблюдений;
- *Hipparcos reference flag* – для кратной системы указывает, к какой компоненте относится фотометрия, либо это интегральная величина для двойной звезды;
- *V*, *B-V* – звездная величина и показатель цвета по шкале Джонсона;
- *sigma (B-V)* – среднеквадратичная ошибка *B-V*;
- *Source V* – источник *V*: из наземных наблюдений, вычислено по данным *Hipparcos* или *Tycho*;
- *Source B-V* – то же самое для показателя цвета;

- *V-I* – показатель цвета *V-I*;
- *sigma (V-I)* – среднеквадратичная ошибка *V-I*;
- *Source V-I* – источник *V-I* – большой выбор флагов;
- *Reference flags* – уточняющий флаг для кратных систем, информирующий о том, к какой компоненте относится измерение цвета.

Блок *Variability*

Этот блок содержит пункты, имеющие отношение к переменности блеска звезды:

- *Coarse variability* – грубая оценка переменности, меньше 0.06^m , до 0.6^m , свыше 0.06^m ;
- *Flag, type (1 letter)* – однобуквенная классификация переменности: проверено отсутствие переменности, микропеременность и т. п.
- *Type (5 letters)* – подробно тип переменной: затменно-переменная, цефеида, взрывная и т. д.;
- *Period* – период изменения блеска (в сутках);
- *Amplitude* – амплитуда переменности (в звездных величинах);
- *Annexes* – наличие дополнений: таблица изменения блеска, графическая кривая.

Меню *Sample*

Данное меню содержит всего один пункт *List*, который позволяет построить список номеров звезд, удовлетворяющих заданному критерию (рис. 2.5). С полученным списком (рис. 2.6) можно производить дальнейшие операции, например, двойной щелчок по номеру звезды вызовет открытие окна с информацией об объекте (рис. 2.7). К тому же эффекту приведет использование меню *Object* с явным указанием номера звезды (см. далее).

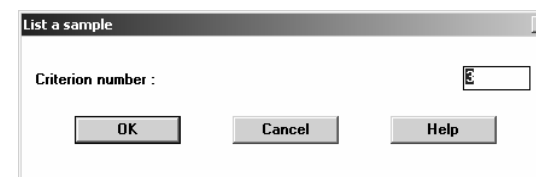


Рис. 2.5. Выбор номера критерия для создания списка номеров звезд.

Criterion : 3 - 705 star(s)									
194	443	522	677	765	950	1086	1473	1686	2072
2081	2383	2484	2578	2711	2762	2802	3092	3330	3419
3505	3810	4288	4436	5296	5310	5346	5364	5542	5886
5737	5799	5833	5896	6537	6606	6706	6740	6813	7078
7083	7276	7535	7588	7916	8209	8433	8487	9153	9236
9480	9487	9598	9727	9884	10064	10212	10305	10306	10535
10540	10602	10670	10723	11001	11029	11072	11090	11258	11477
11486	11569	11783	12153	12186	12225	12288	12390	12394	12413

Рис. 2.6. Список звезд, удовлетворяющих критерию 3.

Меню Object

Пункты меню *Main catalogues*, *Multiplicity annexes*, *Variability annexes* позволяют просмотреть информацию о конкретной звезде в каталоге. Вы должны указать непосредственно номер объекта по каталогу, на наш взгляд гораздо удобнее произвести двойной щелчок мышью на номере объекта в списке звезд, удовлетворяющих тому или иному критерию. Пример такого обращения показан на рис. 2.8. С помощью кнопок вверху информационного окна можно менять каталог, из которого берутся данные об объекте. Второй ряд кнопок предназначен для отображения более подробных данных о кратности или переменности звезды (см. далее).

Главное информационное окно состоит из 9 почти квадратных областей. Перечислим их назначения, придерживаясь порядка слева направо и сверху вниз.

1. Общая информация о звезде: номер, примерные координаты, блеск, proximity flag.
2. Астрометрические параметры: координаты, собственные движения, параллакс.
3. Карта окрестностей объекта (не всегда).
4. Фотометрические параметры, полученные на космическом аппарате: Hp, VT, VT.
5. Корреляции и флаги: процент отброшенных наблюдений, качество данных.
6. Данные о переменности звезды: амплитуда, период.
7. Фотометрия по системе Джонсона, возможно с использованием наземных данных.
8. Заметки.
9. Данные о кратности.

Кнопки второго ряда становятся доступными, если имеется дополнительная информация о кратности и переменности, как, например,

для звезды № 2286. Информационный диалог о кратности звезды подробно описывает свойства компонент и содержит иллюстрацию их взаимного собственного движения (рис. 2.8). Диалоговая панель о свойствах переменной звезды содержит информацию о периоде, амплитуде, типе переменной звезды и даже график изменения блеска (рис. 2.9).

Пункт меню *Calculation* содержит два подпункта. Один из них вычисляет абсолютную звездную величину и ошибку ее определения, а второй пункт *Coordinate transformations* позволяет вычислить экваториальные, галактические и эклиптические координаты на эпоху в диапазоне от J1800.0 до J2100.0. Почему-то эпоху можно указать только перемещением ползунка в полосе прокрутки (рис. 2.10).

HIP	TYC	HIC	?	
DMSA(C)	DMSA(G,O,V,X)	CCDM(HIC)	Var.(1/2)	
Satellite data : Hipparcos Catalogue				
HIP 2286 00h 29m 12.10s -37° 54' 30.5" (Approximate position, J1991.25, ICRS)				
Variability flag [mag] > 0.6 Survey star Proximity flag HIP entry or comp. within 10" (H)		Astrometric parameters Epoch J1991.25, ICRS α, δ in deg. Others in mas (yr)		
TYC TYC	9.64 α δ $\mu\alpha^*$ $\mu\delta$ Astrometry of	7.30052001 -37.90848297 -2.13 6.83 -14.45 4.00 Photocentre (*)	4.86 4.25 3.75 3.62 4.00 Photocentre (*)	J (15)
Magnitudes (satellite) Hp 9.7697 σ 0.0304 Accepted transits (Hp) 147 Photometry of Combined photometry (*)		Correlations and flags δ α^* δ π $\mu\alpha^*$ $\mu\alpha^*$ $\mu\delta$ $\mu\delta$ $\mu\delta$ $\mu\delta$		Variability Hp (max) 8.78 Hp (min) 11.30 Period [days] 205.20 Type Periodic variable (P) Details in annex 1 Light curve B
Photometry (satellite or ground-based or combined) V 9.64 σ - Source H B - V 1.500 0.510 G V - I 1.53 0.76 K Joint photometry Combined V, B-V, V-I (*)		Note		Multiplicity CCDM 00292-3755 History System discovered by Hipparcos (H) Resolved in [components] 2 Number of HIP entries with same CCDM 1 Solution quality Reliable (A) Source of astrometry Details in annex Component solution (C)

Рис. 2.7. Подробная информация программы Celestia о конкретной звезде.

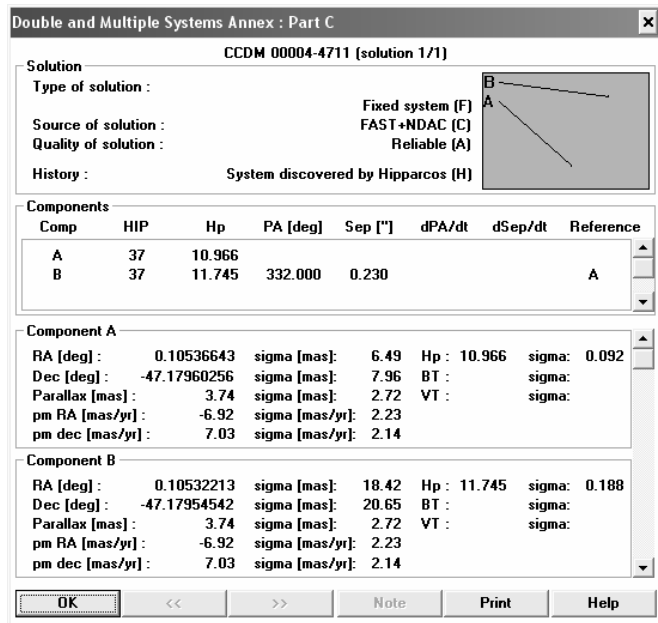


Рис. 2.8. Информационная панель для кратной звезды.

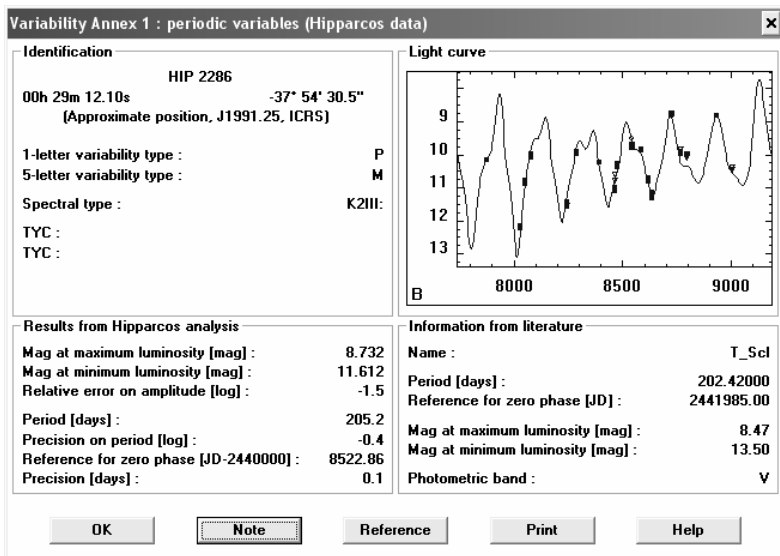


Рис. 2.9. Информационная панель для переменной звезды.

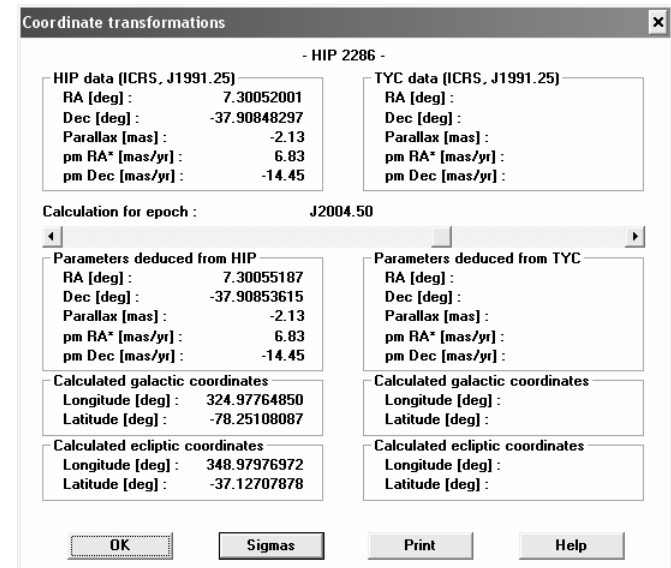


Рис. 2.10. Определение координат звезды на заданную эпоху.

Меню Local chart

Основной пункт данного меню – *Coordinates*. При его выборе предлагается заполнить параметры просмотра карты: центр поля, размер диагонали и номер критерия отбора звезд. Размер диагонали поля более 10° задать невозможно (рис. 2.11).

При нажатии кнопки *OK* появляется локальная карта неба в указанной области, для управления видом карты используется панель инструментов (рис. 2.12). Стрелки «вверх-вниз-влево-вправо» вызывают перемещение центра поля зрения, соседние две кнопки – изменение масштаба. Следующие кнопки управляют количеством объектов на карте.

- Кнопка с вертикальной чертой отображает или скрывает звезды, содержащиеся только в каталоге Hipparcos.
- Кнопка с горизонтальной и вертикальной чертой отображает или скрывает звезды, содержащиеся и в каталоге Hipparcos, и в каталоге Tycho.
- Кнопка с горизонтальной чертой отображает или скрывает звезды, содержащиеся только в каталоге Tycho.

- Последняя кнопка с двумя перекрестиями управляет отображением пользовательских объектов, список которых может редактироваться в пунктах меню *Personal objects* (см. далее). Все эти действия также дублируются в подменю *Displayed objects*.

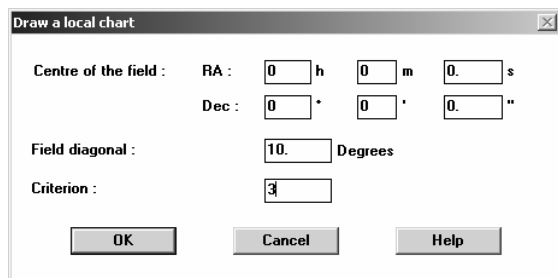


Рис. 2.11. Выбор параметров локальной карты неба.

Для отображения координатной сетки служит пункт меню *Displayed objects – Coordinate grid*.

Если для построения локальной карты был задан номер критерия, то звезды, удовлетворяющие ему, будут закрасены:

- красным – звезды, содержащиеся только в Hipparcos;
- желтым – звезды, принадлежащие как Hipparcos, так и Tycho;
- зеленым – звезды, содержащиеся только в Tycho.

Звезды, не удовлетворяющие заданному критерию, отображаются незакрашенными. Двойной щелчок мышью по звезде открывает окно со свойствами объекта (см. рис. 2.8), а двойной щелчок по *персональному объекту* производит центрирование локальной карты по этому объекту.

Можно увеличить часть карты. Для этого, удерживая *правой* клавишей мыши, надо выделить желаемый участок и щелкнуть опять *правой* клавишей внутри выделенного прямоугольника.

Существует возможность добавить на локальную карту свои собственные объекты. Для этого нужно приготовить текстовый файл, в довольно простом формате: необходимо, чтобы в нем были предусмотрены поля для идентификатора, прямого восхождения, склонения, причем знак склонения должен занимать фиксированную позицию, и звездной величины. В диалоге *Load personal objects* (рис. 2.13) указываются стартовые позиции этих величин и длины полей, координатная система, а также имена двух текстовых файлов: первый – собственно каталог объектов, а второй – файл для вывода сообщений об ошибках,

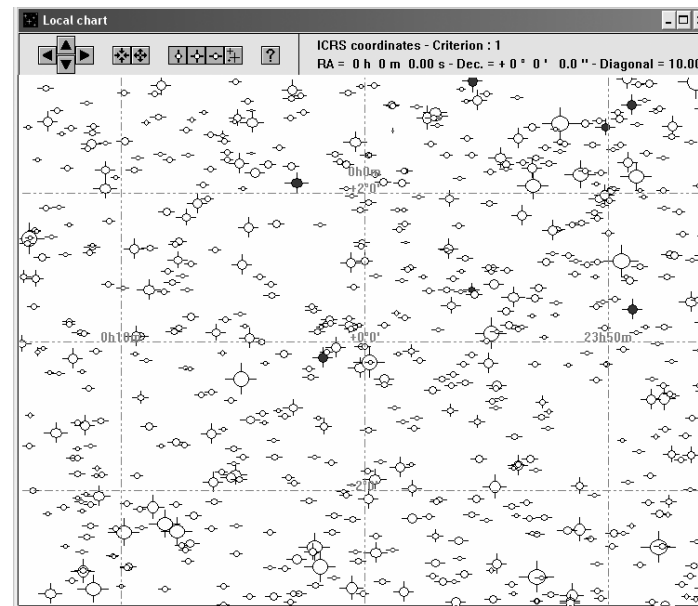


Рис. 2.12. Общий вид локальной карты.

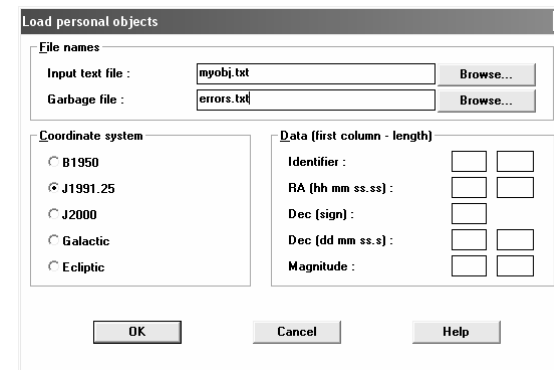


Рис. 2.13. Диалог загрузки.

которые могут возникнуть при интерпретации каталога персональных объектов. Персональные объекты отображаются на карте крестами.

Основное предназначение меню *Local chart* является идентификация звезд в фотографической (ПЗС) астрономии.

Меню Global chart

Данное меню содержит всего один пункт *New chart* и предназначено для изучения распределения интересующих объектов по небесной сфере в целом. Пользователь имеет возможность выбрать систему координат (экваториальная ICRS, эклиптическая, галактическая) и вид проекции (Хаммер–Айтофа, гомолографическая, синусоидальная, стереографическая полярная) (рис. 2.14). По умолчанию используется равновеликая проекция Хаммера–Айтофа. Звезды отображаются в соответствии с заданным критерием (рис. 2.15). Если число отображаемых звезд превышает 1000, то вместо отдельных точек отрисовывается карта плотностей распределения звезд по небесной сфере (рис. 2.16).

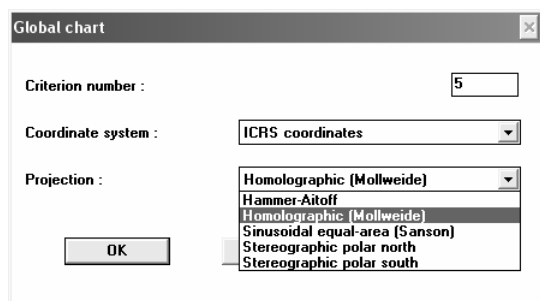


Рис. 2.14. Выбор параметров глобальной карты.

Двойной щелчок мышью также вызывает отображение свойств звезды (см. рис. 2.7) при небольшом количестве звезд, а на карте плотностей открывает локальную карту (см. рис. 2.12).

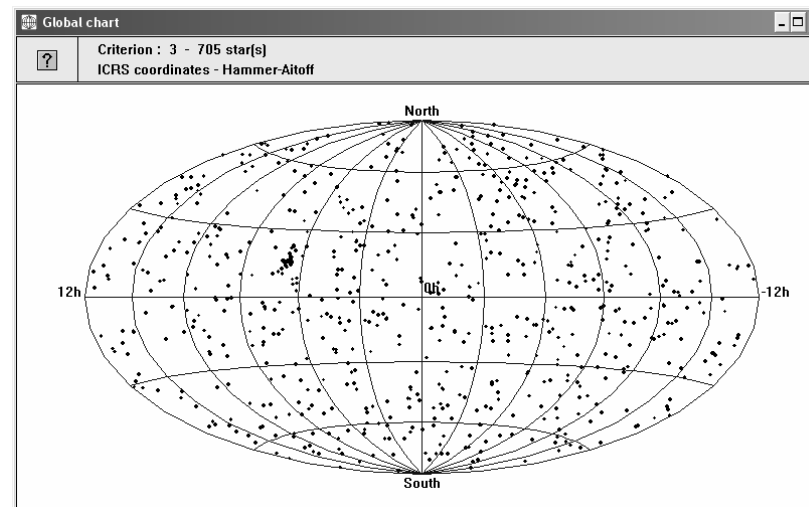


Рис. 2.15. Небольшое число звезд в проекции Хаммера–Айтофа.

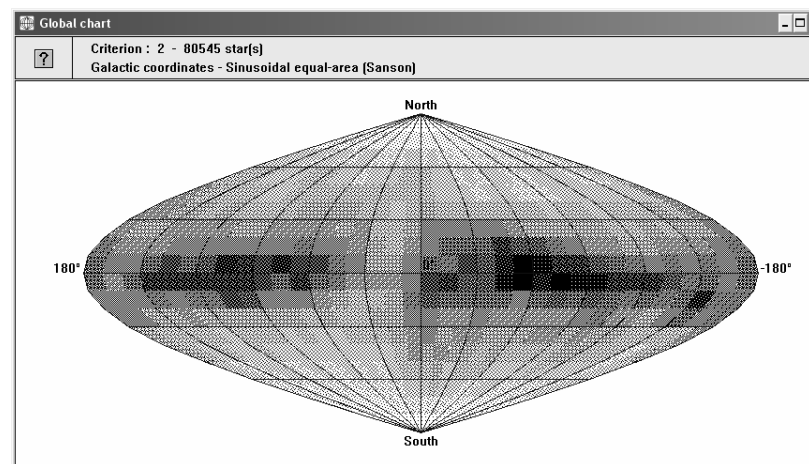


Рис. 2.16. Большое число звезд в синусоидальной проекции.

Меню Text output

Данное меню позволяет сохранить в текстовых файлах информацию

- о конкретной звезде (*Object*),
- о выборке (*Sample*),
- о заданных критериях (*Criteria*),
- об объектах на локальной карте (*Local chart*).

В случае выбора вывода информации о конкретном объекте или критериях запрашивается только имя файла, в который помещается информация. Наибольший интерес для статистических и звездно-кинематических исследований представляют оставшиеся два пункта: *Sample* и *Local chart*, особенно первый. При выборе этих пунктов появляется развернутый диалог, в котором предлагается указать, какую информацию желает получить пользователь в выходном текстовом файле (рис 2.17). При выводе выборки ее необходимо предварительно построить с помощью меню *Sample*.

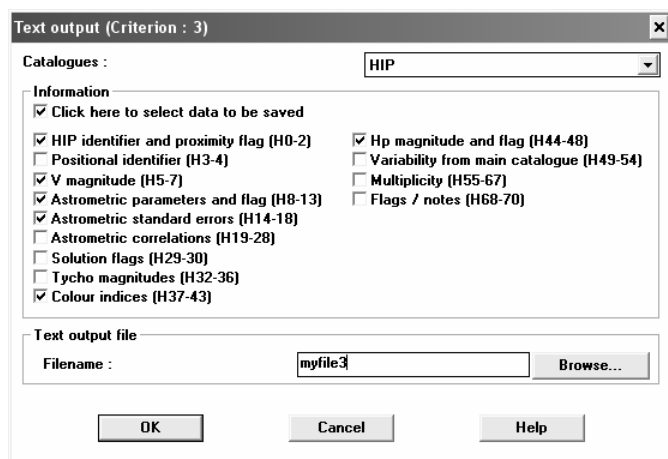


Рис. 2.17. Выбор выводимых в текстовый файл полей записей для звезд каталога *Hipparcos*.

Полученный текстовый файл имеет простой формат и необходимые пояснения, облегчающие его интерпретацию (рис. 2.18). Он легко может быть прочитан программами, написанными на языках C/C++, Pascal, Fortran и др. Также, после удаления заголовочных строк, файл может быть импортирован в электронную таблицу MS Excel для даль-

нейшего анализа. В строках файла в качестве разделителей полей между данными используется символ «вертикальная черта», поэтому использование Pascal для ввода данных в программу будет сопряжено с известными трудностями, связанными с анализом текстовых строк. В языках C и Fortran имеются операторы ввода данных по формату, что облегчает чтение таких файлов. В электронной таблице Excel можно указать явно символ-разделитель.

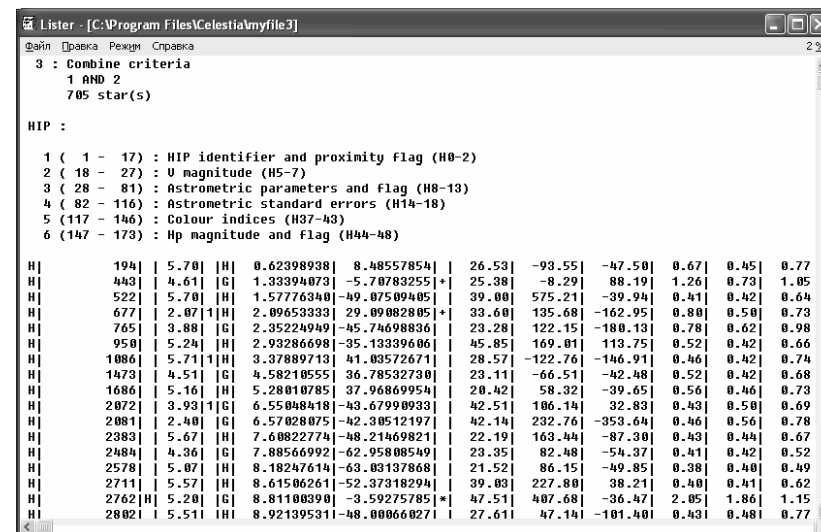


Рис. 2.18. Общий вид текстового файла, сформированного программой *Celestia*.

Меню Configuration

Это меню позволяет выбрать язык интерфейса, однако русского языка в нем нет. Язык справки – только английский.

Меню Window

Стандартное меню многодокументного (MDI) приложения Windows, пункты которого позволяют манипулировать расположением окон программы (рис. 2.19).

Меню File

Набор открытых окон, критериев, карт неба называется «исследованием» (investigation), можно сохранять и открывать существующие исследования в пунктах этого меню, а также распечатывать сведения о выбранном объекте, локальную или глобальную карту.

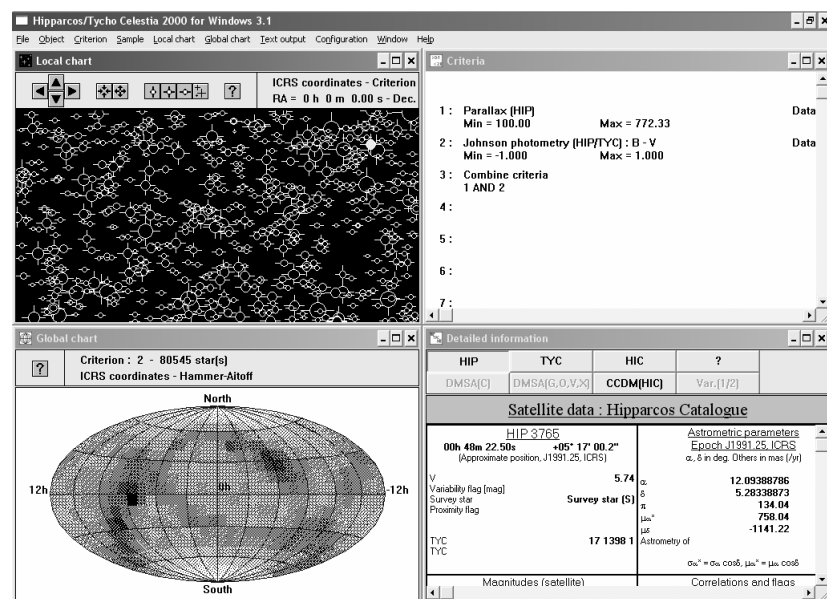


Рис. 2.19. Окна программы Celestia, расположенные «черепицей».

Меню Help

Содержит весьма исчерпывающую справку не только о пользовании программой, но и о каталогах, с подробным описанием всех полей, а также и самой миссии Hipparcos (рис. 2.20). К некоторым недостаткам можно отнести слабую контекстную зависимость справки. Тем не менее, используя поиск по ключевым словам или оглавление справки, можно получить полную информацию обо всех пунктах меню и возможностях программы.

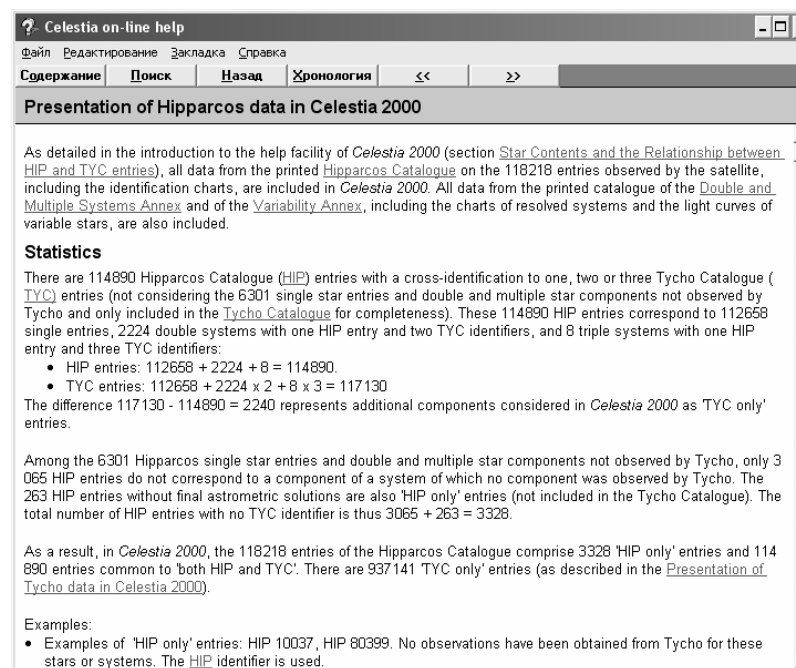


Рис. 2.20. Фрагмент справочной системы программы Celestia, поясняющий представление данных каталога Hipparcos.

Таким образом, программа Celestia 2000 представляет достаточно удобный инструмент для знакомства с каталогами Hipparcos Input Catalogue, Hipparcos и Tycho и может применяться для создания выборок в виде текстовых файлов, которые далее можно обрабатывать в других программах.

Глава III

Работа с ASCII версией каталога Hipparcos

Чтение полной версии каталога

Несмотря на большие возможности программы Celestia 2000, существует большое число задач, которые не могут быть решены с ее помощью. Например, сбор различных статистических характеристик: распределение по расстояниям, абсолютной звездной величине и т. п.; построение диаграммы Герцшпрунга–Рессела для различных выборок звезд; изучение распределения звезд в пространстве и разнообразные звездно-кинематические исследования. Для проведения такого рода исследований придется прибегнуть к программированию на универсальных языках высокого уровня (C/C++, Fortran, Pascal/Delphi и т. п.) с использованием полных версий каталогов.

Полная электронная версия каталогов включает 6 компакт-дисков. Главный из них – первый, он содержит собственно каталоги Hipparcos и Tycho объемом 53 и 373 Мбайт соответственно. Остальные компакт-диски содержат информацию о двойных и кратных звездах, кривые блеска переменных звезд, фотометрические приложения к Hipparcos и Tycho, времена прохождения звезд через решетку аппарата, а также полную документацию. Эти диски поступили в библиотеку Астрономического института СПбГУ, так как сотрудники института принимали участие в работе над проектом Hipparcos, и копии их доступны всем желающим. Подробно содержание этих дисков изложено в [The Hipparcos/Tycho ASCII CD-ROMs and Access Software (*H. Schrijver*)].

Вместо полных версий каталогов в качестве исходных данных программы могут фигурировать и текстовые файлы, создаваемые программой Celestia 2000. Однако этот путь, вероятно, не очень удобен, поскольку формат выходных файлов Celestia зависит от полей, которые выберет пользователь, кроме того, при проведении большого числа различных экспериментов дисковая система компьютера будет быстро заполнена достаточно большими файлами с данными.

Можно предложить компромисс – в качестве основного источника данных все-таки использовать полную версию Hipparcos с первого ASCII CD-ROM (ее без труда можно перенести на локальный диск компьютера для более быстрого доступа), а для выбора звезд, удовлетворяющих какому-либо критерию, использовать файл с номерами звезд, сформированный программой Celestia, который весьма компактен по размеру. С помощью программы, написанной на любом языке высокого уровня, каждый пользователь сможет сам выбрать необходи-

мые ему поля из основного каталога Hipparcos. Интерпретация полной версии каталога не сложнее, чем синтаксический разбор файлов, формируемых программой Celestia. На наш взгляд, самая большая сложность при таком анализе – учет пустых полей в записи звезды (в случае отсутствия данных в поле помещаются пробелы – рис. 3.1), что делает невозможным прямое применение операторов форматного ввода, которые есть практически в любом языке программирования, поскольку это может привести к искаженным результатам (например, в языке Fortran поле, состоящее целиком из пробелов, может пониматься как имеющее нулевое значение). Нам следует для каждого (или почти каждого) поля задать какой-либо способ, который позволил бы понять, имеются ли в каталоге данные для него или нет.

Постановка задачи

Напишем программный модуль (подпрограмму), читающую из основного каталога Hipparcos только те поля, которые наиболее часто используются в звездно-кинематических исследованиях (табл. 3.1), и только для тех номеров звезд, которые хранятся в файле, сгенерированном программой Celestia 2000 при указании только первого флага для сохраняемой информации (рис. 3.2).

Файл	Правка	Режим	Справка
H	405	00 04 57.48 +51 10 50.3	8.15
H	404	00 04 57.51 +45 40 26.2	7.47
H	406	00 04 58.54 +26 43 30.9	8.63
H	407	00 04 58.63 -70 12 43.9	8.13
H	408	00 04 58.83 +57 28 07.5	8.23
H	409	00 04 59.06 -70 29 32.7	8.41
H	410	00 05 01.13 +27 40 29.3	6.47
H	411	00 05 01.59 +33 21 36.0	9.83
H	412	00 05 01.81 +66 31 00.4	8.64
H	413	00 05 02.48 -36 00 55.0	7.73
H	414	00 05 02.94 -59 49 41.2	8.64
H	415	00 05 03.31 +09 16 48.1	8.94
H	416	00 05 03.46 +01 02 16.2	8.84
H	417	00 05 03.80 -00 30 10.5	6.32
H	418	00 05 06.13 +61 18 50.3	5.80
H	419	00 05 06.89 -42 34 04.1	8.97
H	420	00 05 07.60 -52 09 05.1	7.53
H	421	00 05 08.11 +45 13 32.4	8.83
H	422	00 05 08.82 +67 50 24.1	7.41
H	423	00 05 09.26 +30 19 44.8	7.80
H	425	00 05 09.71 -62 50 43.0	8.14
H	424	00 05 09.78 +45 13 44.7	6.71
H	427	00 05 09.95 -43 51 03.0	8.73
H	426	00 05 10.02 +30 19 52.7	9.37
H	429	00 05 10.16 +02 23 50.3	8.69

Рис. 3.1. Фрагмент полной версии каталога Hipparcos. Обратите внимание на пустые поля у некоторых звезд.

Таблица 3.1. Наиболее употребимые в кинематических исследованиях параметры звезд

Байты	Формат	Ед. изм.	Пояснение
3-14	I12		Номер по Hipparcos
52-63	F12.8	градусы	Прямое восхождение (ICRS, J1991.25)
65-76	F12.8	градусы	Склонение (ICRS, J1991.25)
80-86	F7.2	mas	Тригонометрический параллакс
88-95	F8.2	mas/год	Собственное движение $\mu_\alpha \cos \delta$ (ICRS)
97-104	F8.2	mas/год	Собственное движение μ_δ (ICRS)
78	A1		Флаг для кратных систем [A, B, ..., +, *]
42-46	F5.2	mag	Звездная величина по шкале Джонсона
246-251	F6.2	mag	Показатель цвета $B-V$ в системе Джонсона
106-111	F6.2	mas	Ошибка прямого восхождения ($\cdot \cos \delta$)
113-118	F6.2	mas	Ошибка склонения
120-125	F6.2	mas	Ошибка параллакса
127-132	F6.2	mas/год	Ошибка собственного движения $\mu_\alpha \cos \delta$
134-139	F6.2	mas/год	Ошибка собственного движения μ_δ
436-447	A10		Спектральный класс

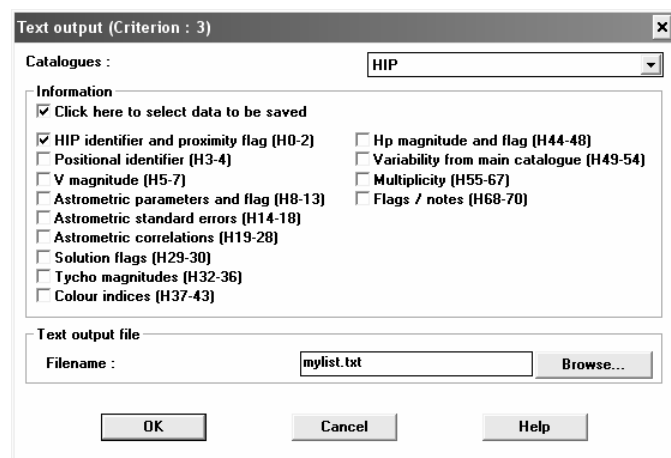


Рис. 3.2. Установленные флаги при сохранении выборки звезд.

Файл номеров звезд (рис. 3.3) предваряется несколькими строками служебной информации, а далее идут собственно данные в три колонки:

- H0 – каталог H или T;
- H1 – номер по Hipparcos;
- H2 – Proximity flag – есть ли ближе 10" другие объекты.

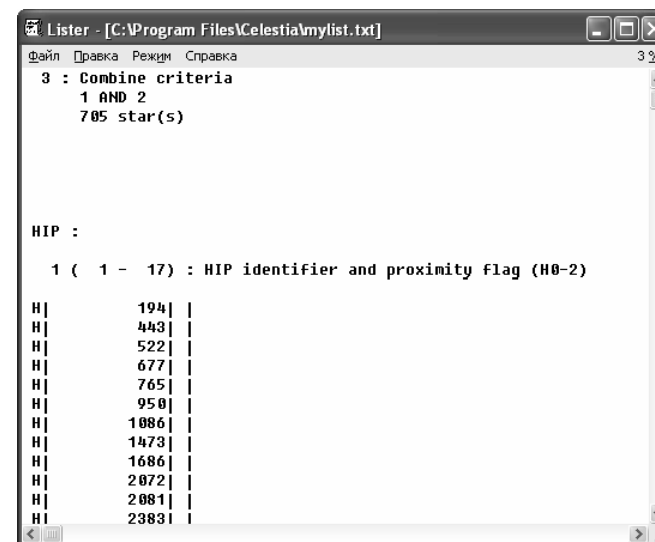


Рис. 3.3. Файл номеров звезд, удовлетворяющих заданному критерию, сформированный программой Celestia 2000.

Хранить прочитанные из полной версии каталога Hipparcos данные о звезде мы будем в структуре. Такой способ организации данных есть во всех современных языках программирования (включая Fortran-77, 90). Это позволит манипулировать прочитанной записью о звезде как единым целым. Для учета пустых полей применим стандартный подход – битовую маску – целочисленную переменную, установка отдельных битов которой обозначает наличие тех или иных данных. С помощью логической операции AND и набора констант будет легко осуществить контроль прочитанной информации. Забегая вперед, скажем, что «полноценных» звезд, для которых заполнено большинство полей в Hipparcos – 117955, для 263 звезд нет точной астрометрической информации (собственных движений, параллакса) и многих других параметров. Это в основном слабые звезды, использовавшиеся для привязки каталога к системе квазаров.

Основное изложение проведем на языке Pascal, как наиболее абстрактном алгоритмическом языке. В Приложениях D и E даны тексты на языках Fortran-90 и ANSI C.

Рассмотрим устройство модуля, реализующего процедуру чтения полной версии каталога Hipparcos (листинг 3.1).

В начале модуля определены константы, определяющие местоположение каталога и количество звезд в нем. Далее идут битовые константы, которые будут использоваться в условных операторах для выяснения наличия или отсутствия данных о точных координатах, звездной величине, собственных движениях. Ниже приводится описание структуры (в терминах Pascal – записи) THipparcos. Ее поля: номер звезды, координаты, параллакс, собственные движения, флаг для кратных систем, звездная величина и показатель цвета, данные о спектральном классе, а также подструктура sigma, содержащая значения ошибок соответствующих величин. Поле info – целочисленная переменная, установка отдельных битов которой свидетельствует об отсутствии в записи у звезды определенных данных.

Модуль экспортирует три функции: OpenHipparcosMain открывает каталог, CloseHipparcosMain закрывает, ReadHipparcosName читает одну запись из каталога, заполняя структуру типа THipparcos.

Изучим устройство функции ReadHipparcosMain. Функция возвращает True в случае успешного чтения и False при достижении конца файла. Такой способ позволяет использовать ее непосредственно в условии оператора цикла While. Оператор read считывает одну запись каталога (включая символы конца строки) в буфер hs.

Основная часть текста состоит из операторов, интерпретирующих отдельные колонки в записи звезды. Рассмотрим подробнее эти фрагменты кода на примере чтения звездной величины.

```
Val (StrLCopy (st, @hs [42], 5), VMag, code);
if code<>0 then info := info or NoVMag;
```

В данном примере функция StrLCopy копирует в буфер st 5 байтов, начиная с 42-го байта строки hs. Функция возвращает результат – адрес первого параметра, поэтому она может использоваться в качестве аргумента функции Val, которая преобразовывает текст в своем первом аргументе в числовое значение переменной, которая задается вторым параметром. Третий параметр – код ошибки конвертации. Он равен нулю в случае отсутствия ошибок и отличен от нуля, если перевод символической строки в числовое значение невозможен. В последнем случае мы с помощью логической операции от устанавливаем соответствующий бит в поле info.

Листинг 3.1. Модуль чтения каталога Hipparcos

```
Unit HipMain; { Чтение каталога Hipparcos }

Interface { Интерфейсная часть модуля }

{ Расположение полной версии каталога Hipparcos }
Const HipparcosName = 'D:\CATALOGS\HIPARCOS\hip_main.dat';
      HipNumOfStars = 118218;

{ Битовые константы флага о наличии информации }
Const NoRaDe = 1; { Нет данных о точных координатах }
      NoPlx = 2; { Нет данных о параллаксе }
      NoPm = 4; { Нет данных о собственных движениях }
      NoVMag = 8; { Нет данных о звездной величине }
      NoB_V = 16; { Нет данных о показателе цвета }

Type THipparcos=record

  { Идентификаторы }
  HIP : longint; { Номер звезды по Hipparcos }

  { Астрометрическая информация }
  RAdeg, DEdeg : double; { Экваториальные координаты в градусах }
  Plx : double; { Тригонометрический параллакс в mas }
  pmRa, pmDE : double; { Собств. движ. ma*cos(d) и md mas/год }
  AstroRef : char; { Флаг для кратных систем }

  { Фотометрическая информация }
  VMag : single; { Звездная вел. по шкале Джонсона }
  B_V : single; { Показатель цвета B-V по шкале Джонсона }

  sigma : record { ошибки соотв. величин }
    RAdeg, DEdeg : double;
    Plx : double;
    pmRa, pmDE : double;
  end;

  Sp : array [0..9] of char; { Развернутый спектральный класс }

  Info : integer; { Битовый флаг отсутствия информации }

end;

Procedure OpenHipparcosMain; { Открытие файла каталога }
Procedure CloseHipparcosMain; { Закрытие файла каталога }

{ Чтение одной строчки каталога:Результат помещается в s,
  возвращает false при достижении конца файла }
Function ReadHipparcosMain(var s : THipparcos):boolean;
```

```

Implementation { Исполнительная часть модуля }

Uses Strings;

Type THipStr=array[1..452] of char; { Тип строки каталога }

Var f : file of THipStr; { Файловая переменная каталога }

{ Открытие файла каталога в режиме "только чтение" }
Procedure OpenHipparcosMain;
begin
  FileMode:=0; { Read only }
  assign(f,HipparcosName); reset(f);
end;

{ Закрытие файла каталога }
Procedure CloseHipparcosMain;
begin
  close(f);
end;

{ Чтение одной записи }
Function ReadHipparcosMain(var s : THipparcos):boolean;
{ Локальные переменные функции }
var hs : THipStr; { Строчка каталога }
    st : array [0..15] of char; { вспомогательный буфер }
    code : integer; { код ошибки при преобразовании в число }
    i : integer; { вспомогательная переменная }
begin
  { Если достигнут конец файла, то возвращаем False }
  if eof(f) then ReadHipparcosMain:=false else
  begin
    ReadHipparcosMain:=true; { Результат функции - true }
    read(f,hs); { Чтение одной строки каталога }

    with s do { Операции с полями структуры s }
    begin
      info:=0; { Обнуление всех битов флага }

      { + Операция @ обозначает адрес.
      + Процедура Val преобразует текстовую строку в число,
      code отличается от нуля в случае ошибки преобразования.
      + Функция StrLCopy копирует подстроку с указанием
      стартовой позиции и количества байт. }

      { Интерпретация 12 байт, начиная с 3-го - это номер HIP. }
      Val(StrLCopy(st,@hs[3],12),hip,code);

      { Чтение координат: по 12 байт с 52 и с 65 позиции. }
      Val(StrLCopy(st,@hs[52],12),RAdeg,code);
      if code<>0 then info := NoRaDe;

```

```

Val(StrLCopy(st,@hs[65],12),DEdeg,code);
if code<>0 then info := NoRaDe;

{ Чтение параллакса - 7 байт с 80-й позиции }
Val(StrLCopy(st,@hs[80],7),Plx,code);
if code<>0 then info := info or NoPlx;

{ Чтение собственных движений: по 8 байт с 88 и с 97 позиции }
Val(StrLCopy(st,@hs[88],8),pmRA,code);
if code<>0 then info := info or Nopm;
Val(StrLCopy(st,@hs[97],8),pmDE,code);
if code<>0 then info := info or Nopm;
s.AstroRef:=hs[78]; { Флаг кратной звезды }

{ Чтение зв.величины и показателя цвета B-V по шкале Джонсона }
Val(StrLCopy(st,@hs[42],5),VMag,code);
if code<>0 then info := info or NoVMag;
Val(StrLCopy(st,@hs[246],6),B_V,code);
if code<>0 then info := info or NoB_V;

{ Чтение ошибок соотв. величин }
with sigma do begin

  if (info and NoRADE) = 0 then
  begin
    { Данные об ошибках всегда присутствуют, }
    { если присутствуют и сами координаты. }
    Val(StrLCopy(st,@hs[106],6),RAdeg,code);
    Val(StrLCopy(st,@hs[113],6),DEdeg,code);
  end;

  if (info and NoPlx) = 0 then
  begin
    Val(StrLCopy(st,@hs[120],6),Plx ,code);
  end;

  if (info and Nopm) = 0 then
  begin
    Val(StrLCopy(st,@hs[127],6),pmRA,code);
    Val(StrLCopy(st,@hs[134],6),pmDE,code);
  end;
end; { with sigma }

{ Чтение данных о спектральном классе }
for i:=0 to 9 do Sp[i]:=hs[436+i];

end; { with s }
end; { if eof(f) }
end; { Function }
end.

```

Функция ReadHipparcosMain читает далеко не все поля каталога, однако нет никаких трудностей в дополнении записи THipparcos другими полями и по приведенному образцу прочитать их значения из текстового буфера hs.

Листинг 3.2 представляет пример использования данного модуля. Программа TestHip подсчитывает: сколько звезд в каталоге Hipparcos не имеют данных о точных координатах, собственных движениях и параллаксах. На рис. 3.4 можно видеть результаты.

Листинг 3.2. Подсчет звезд без данных о координатах, собственных движениях и параллаксах

```

Program TestHip;
Uses HipMain; { Подключение модуля работы с каталогом }
var s : THipparcos; { Структура данных о звезде }
    NoCoord : longint; { Счетчик звезд без точных координат }
    NoProp : longint; { Счетчик звезд без собств. движений }
    NoPar : longint; { Счетчик звезд без параллаксов }

begin
  NoCoord:=0; NoProp:=0; NoPar:=0; { Обнуление счетчиков }
  OpenHipparcosMain; { Открытие каталога }
  while ReadHipparcosMain(s) do { Цикл чтения каталога }
  begin
    { Сравнение битов в маске с константами }
    if (s.info and NoRADE) <> 0 then inc(NoCoord);
    if (s.info and NoPm) <> 0 then inc(NoProp);
    if (s.info and NoPlx) <> 0 then inc(NoPar);
  end;
  CloseHipparcosMain; { Закрытие каталога }
  { Вывод результатов }
  writeln('Звезд без точных координат ', NoCoord);
  writeln('Звезд без собственных движений ', NoProp);
  writeln('Звезд без параллаксов ', NoPar);
end.

```

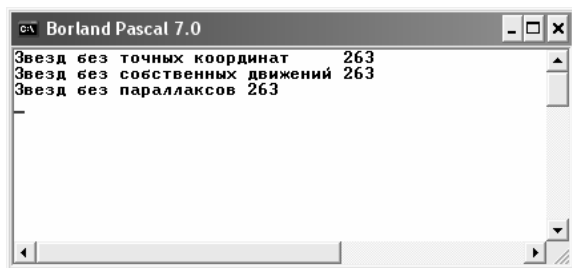


Рис. 3.4. Результат работы программы TestHip.

Как мы видим, звезд без точных астрометрических данных – 263. Путем небольшого усложнения программы (сделайте самостоятельно) можно показать, что если у звезды нет данных о точных координатах, то нет данных ни о параллаксе, ни о собственных движениях.

Использование собственных критериев отбора звезд

Несложные критерии отбора звезд легко можно реализовать самостоятельно в программе, не прибегая к помощи Celestia. Например, напишем программу, которая построила бы распределение звезд Hipparcos по абсолютной звездной величине с шагом в одну величину для звезд, относительная точность определения параллаксов которых лучше, чем 50% (следует отметить, что даже отбор звезд по такому критерию не возможен в Celestia).

Программа на листинге 3.3 решает поставленную задачу.

Листинг 3.3. Вычисление распределения звезд по абсолютной звездной величине

```

Program AbsMagDistrib;
Uses HipMain;

{ Реализация функции вычисления десятичного логарифма }
function log(x:double):double;
begin
  log:=ln(x)/ln(10.0);
end;

var s : THipparcos;
    a : array [-12..+12] of longint; { статистика }
    i : integer; { вспомогательная переменная }
    r : double; { расстояние }
    m : double; { абсолютная звездная величина }

begin
  for i:=low(a) to high(a) do a[i]:=0; { обнуление статистики }
  OpenHipparcosMain;
  while ReadHipparcosMain(s) do
  begin
    if (s.info and NoPlx) <> 0 then continue; { нет данных о паралл. }
    if s.plx <= 0.0 then continue; { неположительный параллакс }
    if s.sigma.plx/s.plx > 0.5 then continue; { точность хуже 50% }
    r:=1000.0/s.plx; { Вычисление расстояния в пк }
    m:=S.VMag-5.0*log(r)+5.0; { Вычисл. абсолютной звезд. величины }
    i:=round(m); { Определение индекса ячейки массива }
    if (i >= low(a)) and (i <= high(a)) then inc(a[i]); {ув.на 1}
  end;
  CloseHipparcosMain;
  for i:=low(a) to high(a) do writeln(i:3,a[i]:7);
end.

```

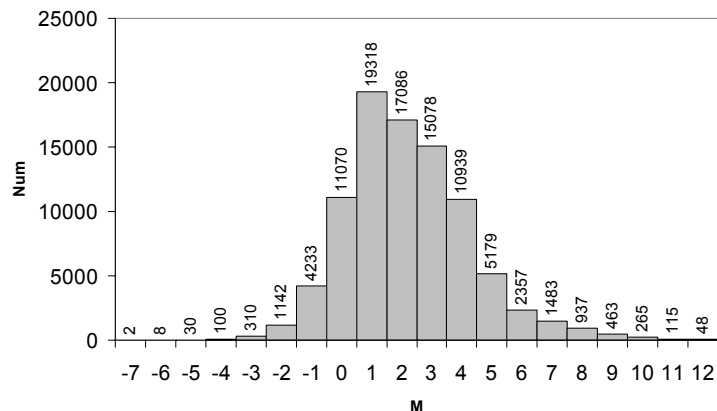


Рис. 3.5. Распределение звезд Hipparcos по абсолютной звездной величине.

Разберем структуру программы. Массив a служит для накопления статистики распределения звезд по абсолютным звездным величинам. Элемент с индексом n содержит количество звезд, попадающих в диапазон звездных величин от $n - 0.5$ до $n + 0.5$. Например, элемент с индексом -3 содержит количество звезд, у которых звездная величина в диапазоне от -3.5 до -2.5 .

В цикле чтения звезд сначала мы отбрасываем звезды, у которых нет данных о параллаксе (оператор *continue* приводит к пропуску оставшихся операторов тела цикла и начинает следующую итерацию). Следующий условный оператор отбрасывает звезды с отрицательным и нулевым значением параллакса. Таких звезд относительно немного – 4245, неположительное значение параллакса свидетельствует о том, что ошибка определения параллакса оказалась больше самой величины, а решение для конкретной звезды дало формальное значение величины.

Третий условный оператор пропускает звезды, для которых относительная точность определения параллакса оказалась хуже, чем 0.5 (50%).

Следующие два оператора вычисляют расстояние и абсолютную звездную величину.

Следующая строка содержит оператор, определяющий индекс элемента массива $a[i]$, в который «падает» звезда. Это делается с помощью встроенной функции округления вещественного числа до ближайшего целого *round*. Если индекс i находится в допустимом диапа-

зоне, то соответствующий элемент массива увеличивается на единицу оператором *inc*.

После завершения цикла чтения каталога в элементах массива a будет храниться распределение звезд Hipparcos по абсолютным звездным величинам. В цикле *for* результаты выводятся на экран (или по желанию в файл). Эти данные могут быть обработаны другими программами, например, электронной таблицей MS Excel в Windows или OO Spread в Linux. Диаграмма, полученная таким способом, представлена на рис. 3.5.

Использование номеров звезд, сгенерированных программой Celestia, в пользовательских программах

Поставим такую задачу: «узнать среднюю абсолютную звездную величину звезд, класс светимости которых от Ia0-a до Ib».

С помощью программы Celestia найдем номера звезд, удовлетворяющих такому критерию, сформируем выборку (*sample*) и выведем ее в текстовый файл, отметив только первый флаг в диалоге, изображенному на рис. 3.2. Назовем формируемый файл lumin.txt. Надо сказать что, используя только полную версию каталога Hipparcos, без Celestia, эту задачу решить невозможно.

Следующая программа определит среднюю абсолютную звездную величину (листинг 3.4). В программе появляется три новых имени функций: *InitCriteria*, *InCelestia*, *ClearCriteria*. Первая из них читает список номеров звезд (рис. 3.3), переданный через единственный параметр и инициализирует в памяти массив их номеров. Функция *InCelestia* проверяет, находится ли передаваемый в качестве параметра номер в списке прочитанных номеров. Последняя функция очищает массив номеров. Ее всегда следует использовать, если вы хотите определить новый список.

Мы добавили текст этих трех функций в модуль HipMain (листинг 3.5). Давайте познакомимся с ним.

Функция *InitCriteria* читает текстовый файл, сформированный программой Celestia и интерпретирует его содержимое. В третьей строке находится число звезд *NList*, удовлетворяющих заданному в программе Celestia критерию. Процедура *GetMem* выделяет память под массив *List* (который объявлен как ссылка) в размере $NList * \text{SizeOf}(\text{longint})$ байт.

Листинг 3.4. Вычисление средней абсолютной звездной величины звезд, список которых находится в файле *lumin.txt*

```

Program Aver;
Uses HipMain;

{ Реализация функции вычисления десятичного логарифма }
function log(x:double):double;
begin
  log:=ln(x)/ln(10.0);
end;

var s : THipparcos;
    r : double; { расстояние }
    m : double; { абсолютная звездная величина }
    mav : double; { средняя абсолютная звездная величина }
    n : longint; { количество подходящих звезд }
begin
  n:=0; mav:=0;
  OpenHipparcosMain;

  { Инициализация критерия }
  writeln(InitCriteria('lumin.txt'),' звезд в критерии.');
```

```

while ReadHipparcosMain(s) do
begin

  if (s.info and NoPlx)<>0 then continue; { нет данных о паралл. }
  if s.plx<=0.0 then continue; { неположительный параллакс }

  r:=1000.0/s.plx; { Вычисление расстояния в пк }
  m:=S.VMag-5.0*log(r)+5.0; { Вычисл. абс. звезд. величины }

  if inCelestia(s.HIP) then { Звезда в списке Celestia }
  begin
    mav:=mav+m; { накопление суммы абс. зв. величин }
    inc(n);      { суммирование числа звезд }
  end;

end; { while }

ClearCriteria; { Очистка критерия }

CloseHipparcosMain;

mav:=mav/n; { Вычисление среднего значения }
writeln('Средняя абсолютная звездная величина ',mav:6:2);
writeln('Обработано ',n,' звезд');
```

```

end.
```

Листинг 3.5. Исходный текст функций *InitCriteria*, *InCelestia*, *ClearCriteria*

```

{ добавления в интерфейсную часть модуля }

{ Инициализация критерия с использованием выходного файла
  программы Celestia 2000. name - имя файла.
  Возвращает число звезд в списке }
Function InitCriteria(name:string):longint;

{ Функция проверяет, есть ли звезда в списке }
Function InCelestia(n:longint):boolean;

{ Очистка критерия }
Procedure ClearCriteria;
```

```

{ добавления в исполнительную часть модуля }

{ Максимально возможное количество звезд в списке в 16-разрядных
  версиях компилятора Pascal, в 32-разрядных - неограничен }
Const MaxList = 16383;

{ Тип списка звезд }
Type PList = array [1..MaxList] of longint;

Var List : ^PList; {Указатель на начало списка номеров звезд}
Const NList : Longint = 0; { Количество звезд в списке }

{ Инициализация критерия с использованием выходного файла
  программы Celestia 2000. name - имя файла.
  Возвращает число звезд в списке }

Function InitCriteria(name:string):longint;
var t : text; { файловая переменная }
    s : string; { строка-буфер }
    i : longint; { индекс для цикла for }
    code : integer; { код ошибки }
begin
  assign(t,name); reset(t); { Открываем файл }

  for i:=1 to 2 do readln(t); { Пропуск двух первых строк }
  readln(t,NList); { В третьей строке - количество звезд }
  if NList>MaxList then
  begin
    writeln('Слишком много звезд в списке'); Halt;
  end;
```



```

{ Выделение памяти под список }
GetMem(List,NList*SizeOf(longint));

for i:=4 to 12 do readln(t); { Пропуск с 4 по 12 строку }

for i:=1 to NList do { чтение с 3-го байта 12 байт номера }
begin
  readln(t,s);
  Val(copy(s,3,12),List^[i],code);

  if code<>0 then
  begin
    writeln('Ошибка в формате файла. Строка ',i+12); Halt;
  end;

end;

close(t);

InitCriteria:=NList;

end; {Function}

{ Функция проверяет, есть ли звезда в списке }
Function InCelestia(n:longint):boolean;
var i : longint;
begin
  InCelestia:=False; { объект пока не найден }
  if NList=0 then exit; { если критерий не установлен - выход }

  for i:=1 to NList do { обход звезд в цикле for }
  if List^[i]=n then
  begin
    InCelestia:=True; { если звезда найдена в списке }
    break; { досрочно прервать цикл }
  end;

end; {Function}

{ Очистка критерия }
Procedure ClearCriteria;
begin
  FreeMem(List,NList*SizeOf(longint));
  NList:=0;
end; {Function}

```

При использовании 16-разрядной версии Pascal, например такой популярной, как Borland Pascal 7.0, число звезд в списке, организованном в виде массива, не может превышать $2^{14}-1$ (при 4-байтных элементах), даже при использовании DPMI режима. Для преодоления этого ограничения мы рекомендуем использовать бесплатную версию Free Pascal 0.9.2 или более позднюю, доступную для многих программных платформ, в том числе DOS, Windows, Linux, FreeBSD. В этих версиях компилятора объем массива может достигать 2 Гбайт.

Начиная с 13-й строки, идут номера звезд, которые занимают с 3 по 14 позиции. Мы извлекаем из них число стандартным способом: процедурой Val, подстрока извлекается функцией copy, которую предпочтительней использовать для коротких (<255 символов) строк.

Если все данные успешно введены, то функция InitCriteria возвращает число звезд в списке.

Алгоритм функции InCelestia очень прост. В цикле for последовательно сравниваются элементы списка с переданным значением. В случае совпадения цикл прерывается, а функция возвращает значение True.

Процедура ClearCriteria очищает память, выделенную ранее в функции InitCriteria, и обнуляет значение переменной NList. При нулевом значении NList функция InCelestia независимо от значения аргумента возвращает False.

Результат работы программы Aver (листинг 3.4) показан на рис. 3.6. Как мы видим, только 754 из 949 звезд имеют приемлемую точность параллакса. Таким образом, мы имеем возможность применять и свои собственные критерии к звездам, список которых составлен программой Celestia.

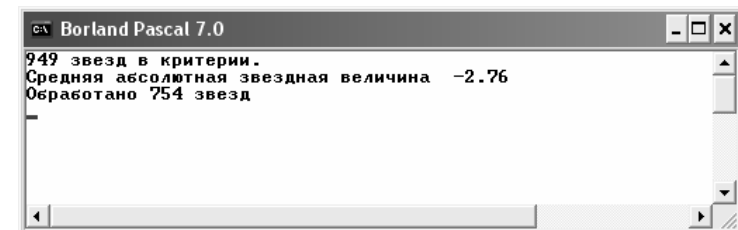


Рис. 3.6. Результат работы программы Aver.

Глава IV

Построение распределения звезд Ниррагос на небесной сфере и в пространстве

Распределение звезд по небесной сфере

С помощью Celestia 2000 можно построить картину распределения выборки звезд на небесной сфере в нескольких проекциях. Наиболее популярная из них – это проекция Хаммер–Айтофа, она была принята в качестве основной в описании Ниррагос и использовалась во многих первых публикациях. Однако графические возможности Celestia довольно ограничены. Например, при числе звезд более 1000 диаграммы строятся не точками, а закрашенными областями, символизирующими звездную плотность. Это число изменить нельзя, а в диаграмме с залитыми областями нет легенды, по которой можно было бы понять абсолютное значение звездной плотности в конкретном месте. Отсутствуют возможности выделения цветом звезд по какому-либо критерию. По этим и многим другим причинам у исследователя возникнет потребность в самостоятельном построении картины распределения звезд по небесной сфере.

Следующие формулы описывают проекцию Хаммер–Айтофа для сферической галактической системы координат:

$$x = -\frac{2 \cos b \sin \frac{l}{2}}{\sqrt{1 + \cos b \cos \frac{l}{2}}}, \quad l \in [-\pi, +\pi], \quad (4.1)$$
$$y = -\frac{\sin b}{\sqrt{1 + \cos b \cos \frac{l}{2}}},$$

здесь

l, b – галактические координаты, выраженные в радианах, причем долготу l следует привести в диапазон $[-\pi, +\pi]$;

x, y – декартовы координаты на плоскости; x будет находиться в диапазоне $[-1, +1]$, а y – в диапазоне $[-2, +2]$, начало координат $(0, 0)$ соответствует направлению на центр Галактики.

Напишем программу, которая строит изображения звезд в этой проекции. В качестве графической платформы используем стандартную библиотеку BGI, реализация которой есть в Borland Pascal, Free Pascal¹, Borland C++. Она настолько проста, что даже начинающий программист легко адаптирует программу, использующую BGI, под любую другую систему. Ось X в этом режиме имеет направление слева направо, а ось Y – сверху вниз. Верхний левый угол имеет координаты $(0,0)$, а правый нижний $(\text{GetMaxX}, \text{GetMaxY})$. Эту систему координат в нашем изложении мы будем называть экранной.

Для начала напишем две процедуры Aitoff и Screen. Первая будет переводить сферические галактические координаты в декартовы по формулам (4.1), а вторая – декартовы в экранные.

Листинг 4.1. Процедуры перевода координат

```
Procedure Aitoff(
    l,b:double; { Сферические координаты в радианах }
    var x,y : double; { Декартовы координаты }
    var s : double;
begin
    if l>Pi then l:=l-2*Pi; { Приведение l в диапазон -Pi до +Pi }
    s:=sqrt(1+cos(b)*cos(l/2)); { Знаменатель формул 4.1 }
    x:=-2*cos(b)*sin(l/2)/s;
    y:=sin(b)/s;
end;
```

```
Procedure Screen
(x,y : double; { Декартовы координаты }
X0,Y0: integer;{Экранные координаты начала декартовой системы}
Scale: double;{Масштаб - сколько точек экрана на единицу длины}
var u,v : integer;{ Экранные координаты }
begin
    u:=X0+Round(Scale*x);
    v:=Y0-Round(Scale*y);
end;
```

Несколько громоздкой может показаться процедура, отрисовывающая координатную сетку, но никаких алгоритмических сложностей в ней нет.

¹ В этом компиляторе, на 100% совместимом с продуктом Borland Pascal, графические возможности сильно улучшены.

Листинг 4.2. Процедура, рисующая координатную сетку.

```

function rad(x:double):double; { Перевод градусов в радианы }
begin
  rad:=x/180.0*Pi;
end;

Procedure AitoffGrid
(Step:integer; { Шаг сетки в градусах }
 X0,Y0 : integer; { Экранные координаты центра проекции }
 Scale : double; { Масштаб - точек на единицу длины }
 Gr : boolean); { Флаг - в градусах или в часах разметка долготы }

var i,j : integer; { Переменные циклов for }
    l,b : double; { Галактические координаты }
    x,y : double; { Декартовы координаты }
    u,v : integer; { Экранные координаты }
    s : string[5]; { Строка для подписей }
    h : integer; { Для разметки осей }

begin

  { Нанесение сетки меридианов }
  i:=-180; {Первый меридиан -180 градусов }

  repeat { Цикл по меридианам }

    l:=rad(i); { Перевод в радианы }
    j:=-90; { Первая точка меридиана }

    repeat { Цикл построения вдоль меридиана }

      { Вычисление точки меридиана }
      b:=rad(j); { Перевод в радианы широты }
      Aitoff(l,b,x,y); { Перевод в декартовы координаты }
      Screen(x,y,X0,Y0,scale,u,v); { Перевод в экранные коорд. }

      { Если точка первая (j=-90), то помещаем графический курсор
        в точку (u,v) функцией MoveTo, если точка не первая, то
        "прочерчиваем" курсором линию из предыдущей точки
        в точку (u,v) функцией LineTo }
      if j=-90 then MoveTo(u,v) else LineTo(u,v);

      j:=j+5; { Шаг 5 градусов обеспечивают гладкий вид меридиана }

    until j>90;

    i:=i+step; { Переход к следующему меридиану }

  until i>180;

```

```

{ Нанесение сетки параллелей - аналогично предыдущему }
j:=-90;
repeat { цикл по параллелям }
  b:=rad(j);
  i:=-180;
  repeat { цикл построения вдоль параллели }
    l:=rad(i);
    Aitoff(l,b,x,y);
    Screen(x,y,X0,Y0,scale,u,v);
    if i=-180 then MoveTo(u,v) else LineTo(u,v);
    i:=i+5;
  until i>180;
  j:=j+step;
until j>90;

{ Задание свойств шрифта (может зависеть от граф.библ.) }
SetTextStyle(DefaultFont,HorizDir,1);
SetTextJustify(LeftText,BottomText);

{ Подписи меридианов вдоль экватора }
i:=-180;
repeat
  { Вычисление координаты точки вывода надписи }
  l:=Rad(i);
  Aitoff(l,0,x,y);
  Screen(x,y,X0,Y0,scale,u,v);
  { Если Gr истина, то разметка в градусах, иначе - в часах }
  if Gr then h:=i
    else begin h:=i div 15; if h<0 then h:=h+24;
              end;
  Str(h,s); { Преобразование значения h в текстовую строку }
  OutTextXY(u+5,v-5,s); { Вывод текстовой строки }

  i:=i+step; { Переход к следующему меридиану }
until i>180;

{ Изменение выравнивания текста }
SetTextJustify(RightText,BottomText);

{ Подписи параллелей вдоль нулевого меридиана - аналогично }
j:=-90+step;
repeat
  if j<>0 then { Экватор не подписываем }
  begin
    b:=Rad(j);
    Aitoff(0,b,x,y);
    Screen(x,y,X0,Y0,scale,u,v);
    Str(j,s);
    OutTextXY(u-5,v-5,s);
  end;
  j:=j+step;
until j>90-step;

end;

```

Если мы хотим построить проекции звезд Hipparcos в галактической системе координат, то нам необходимо перевести экваториальные координаты, приведенные в каталоге, в галактические. Это можно сделать по формулам

$$b = \arcsin(\sin \delta \cos i - \cos \delta \sin i \sin(\alpha - \delta L)),$$

$$l = \arctan \frac{\sin \delta \sin i + \cos \delta \cos i \sin(\alpha - \delta L)}{\cos \delta \cos(\alpha - \delta L)} + L_0, \quad (4.2)$$

а листинг 4.3 представляет реализацию этих формул.

Здесь

- α, δ – экваториальные координаты;
- $i = 62^\circ 52' 18.295''$ – наклон галактического экватора;
- $\delta L = 282^\circ 51' 34.131''$ – долгота восходящего узла галактического экватора;
- $L_0 = 32^\circ 55' 54.905''$ – долгота направления на центр Галактики;
- l, b – галактические координаты.

Значения констант приведены на эпоху J1991.25. Во второй формуле подразумевается *круговой арктангенс* – числитель интерпретируется как синус угла, а знаменатель – как косинус.

В стандартной библиотеке Pascal могут отсутствовать функции *arcsin*, *arctan2*, поэтому мы сочли целесообразным также поместить здесь код этих функций.

Листинг 4.3. Перевод экваториальных координат в галактические

```
Function ArcTan2(x,y:double):double;
var z:double;
begin
  if y<>0 then z:=arctan(x/y)
    else z:=Pi/2;
  if y<0 then z:=z+Pi;
  ArcTan2:=z;
end;

Function ArcSin(x:double):double;
begin
  ArcSin:=ArcTan2(x,sqrt(1-sqr(x)));
end;
```

```
Procedure Galaxy(a,d : double; var l,b : double);
Var sa,ca,sd,cd : double;
Const Leo = 4.936829261; { 282.85948083° }
      L0 = 0.57477039907; { 32.931918056° }
      si = 0.88998807641; { sin 62.871748611° }
      ci = 0.45598379779; { cos 62.871748611° }
begin
  a:=a-Leo;
  sa:=sin(a); ca:=cos(a);
  sd:=sin(d); cd:=cos(d);
  b:=arcsin(sd*ci-cd*si*sa);
  l:=arctan2(sd*si+cd*ci*sa,cd*ca)+L0;
end;
```

Наконец, перейдем к главной программе. Решим такую задачу: отобразить распределение звезд по небесной сфере I и II класса светимости, причём звезды спектральных классов O, B выделить синим цветом, A – голубым, F, G – желтым, K, M – красным. Для отбора звезд используем программу Celestia и выберем звезды с классом светимости от Ia0-a до Ib (рис. 4.1). Всего должно быть найдено 2248 звезд. Сохраним выборку (*Sample*) в файл I-II.txt (рис. 4.2).

Текст программы, выполняющей построение распределение звезд по небесной сфере, приведен в листинге 4.4, а результат ее работы – на рис. 4.3.

В основном цикле while происходит чтение данных о звезде, проверка, удовлетворяет ли звезда критерию отбора, определение цвета вывода точки в операторе case. Далее происходит преобразование координат в галактические, затем в декартовы координаты проекции и в экранные координаты. Для простоты изложения мы ставим точку процедурой PutPixel, но можно нарисовать и другую геометрическую фигуру (ромб, круг).

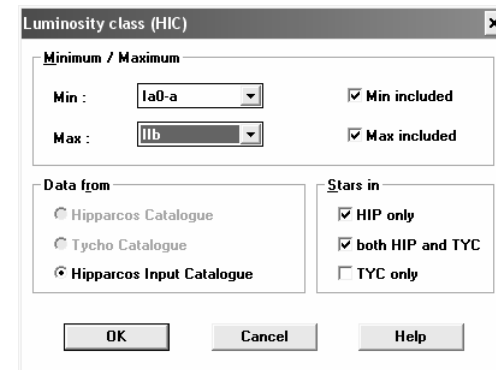


Рис. 4.1. Создание критерия отбора звезд по классам светимости.

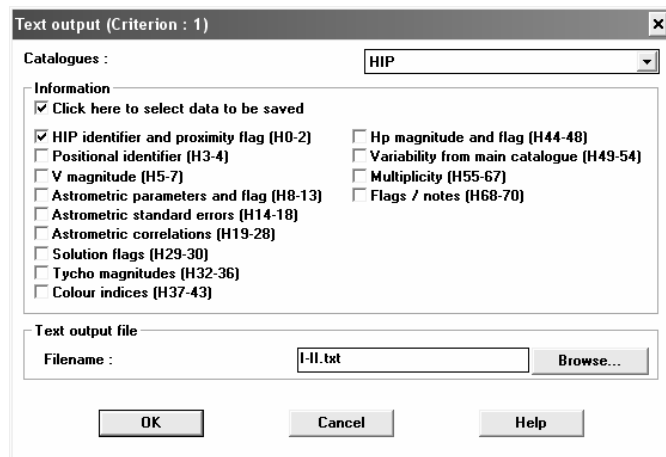


Рис. 4.2. Сохранение выборки в файл.

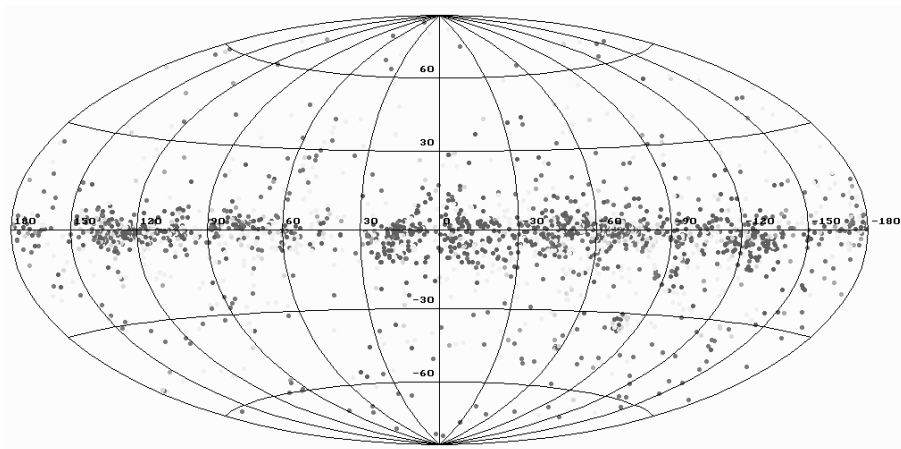


Рис. 4.3. Распределение звезд классов светимости I-II по небесной сфере.

Листинг 4.4. Построение распределения звезд по небесной сфере

```

Program Picture;
Uses Graph, HipMain, Projection;
{ В модуль Projection собраны все предыдущие подпрограммы }

var s : THipparcos;
    driver,mode : integer; { Для инициализации графич. режима }
    color : integer; { Цвет точки }
    l, b : double; { Галактические координаты }
    x, y : double; { Декартовы координаты }
    u, v : integer; { Экранные координаты }
    CX, CY : integer; { Экранные координаты центра проекции }
    SC : integer; { Масштаб перевода декартовых коорд. в экранные }
begin
{ Инициализация графического режима }
Driver:=detect; Mode:=0; InitGraph(Driver,Mode,'D:\BP\BGI');

{ Задание масштаба и центра }
{ Проекция Айтофа имеет X в диапазоне от -2 до 2, и зазор }
SC:=GetMaxX div 4 -10;
CX:=GetMaxX div 2; CY:=GetMaxY div 2;

AitoffGrid(30,CX,CY,SC,True); { Вывод сетки координат }

OpenHipparcosMain; { Открытие каталога и }
InitCriteria('I-II.txt'); { инициализация критерия }

while ReadHipparcosMain(s) do { Цикл чтения звезд }
if inCelestia(s.HIP) then { Проверка критерия }
begin
case s.SP[0] of { Определение цвета звезды }
'O','B': color:=LightBlue;
'A' : color:=LightCyan;
'F','G': color:=Yellow;
'K','M': color:=LightRed;
else color:=LightGray;
end; { case }

{ Перевод экваториальных координат в радианы, а затем
в галактические координаты }
Galaxy(rad(s.RADeg),rad(s.DEDeg),l,b);
{ Вычисление декартовых координат проекции Айтофа }
Aitoff(l,b,x,y);
Screen(x,y,CX,CY,SC,u,v); { Перевод в экранные координаты }

PutPixel(u,v,color);{Поставить точку (можно заменить на круг)}

end; { if и while }
ClearCriteria;
CloseHipparcosMain;
end.

```

Распределение звезд в пространстве

Знание параллаксов дает возможность получить все три пространственных координаты звезды каталога Hipparcos. С помощью несложных программ можно построить визуализацию заданной выборки звезд в пространстве.

Например, построим распределение в пространстве звезд спектральных классов O-B5, которые находятся к нам ближе 500 пк и имеют относительную точность определения параллакса лучше, чем 50%. Листинг 4.5 формирует текстовый файл, где в три колонки идут прямоугольные галактические координаты звезд X, Y, Z .

Хотя задачу визуализации такого массива можно реализовать и самостоятельно, но для решения подобного рода задач существует большое число математических программ. Мы воспользуемся популярной и достаточно простой в освоении программой MathCAD (годится любая версия старше 6.0). Вид экрана программы MathCAD вместе с текстом построения точечного графика представлен на рис. 4.4. Первый оператор $M:=\text{READPRN}("O-B5.DAT")$ считывает в матрицу M содержимое файла, сформированного нашей программой. Последующие три оператора задают три вектора, которые являются столбцами этой матрицы. Далее с помощью команды меню *Insert-Graph-3D Scatter Plot* мы строим необходимую картину распределения звезд в пространстве, с которой можно производить разные операции: вращение, изменение масштаба, перспективы, добавление «тумана» и пр.

Листинг 4.5. Формирование прямоугольных координат звезд

```
Program Plot3D;  
  
Uses HipMain, Projection;  
  
Const Criteria = 'O-B5'; { Имя файла критерия }  
      n : integer = 0; { Счетчик }  
  
var s : THipparcos;  
      r : double; { Расстояние }  
      l, b : double; { Галактические координаты }  
      x, y, z : double; { Декартовы галактические координаты }  
      f : text; { Файл вывода результатов }
```

```
begin  
  
  { Выходной файл имеет расширение .DAT }  
  assign(f, Criteria+'.DAT'); Rewrite(f);  
  
  OpenHipparcosMain;  
  
  { Файл списка звезд имеет расширение .TXT }  
  writeln(InitCriteria(Criteria+'.txt'), ' звезд в критерии.');
```

```
while ReadHipparcosMain(s) do  
begin  
  
  { нет данных о параллаксе }  
  if (s.info and NoPlx)<>0 then continue;  
  
  { "плохое" значение параллакса }  
  if s.plx<=0.0 then continue;  
  
  { низкая точность параллакса }  
  if s.sigma.plx/s.plx>0.5 then continue;  
  
  if inCelestia(s.HIP) then  
begin  
  
    r:=1000.0/s.plx; { Вычисление расстояния в пк }  
    if r>500.0 then continue; { Отброс далеких звезд }  
  
    { Перевод в галактические координаты }  
    Galaxy(rad(s.RADeg), rad(s.DEDeg), l, b);  
  
    x:=r*cos(b)*cos(l); { Вычисление прямоугольных }  
    y:=r*cos(b)*sin(l); { галактических координат }  
    z:=r*sin(b);  
  
    writeln(f, x:10:2, y:10:2, z:10:2); { Вывод в файл }  
    inc(n); { Увеличение счетчика на единицу }  
  
  end; { if }  
  
end; { while }  
  
ClearCriteria;  
CloseHipparcosMain;  
  
Close(f);  
writeln(n, ' звезд обработано.');
```

```
end.
```

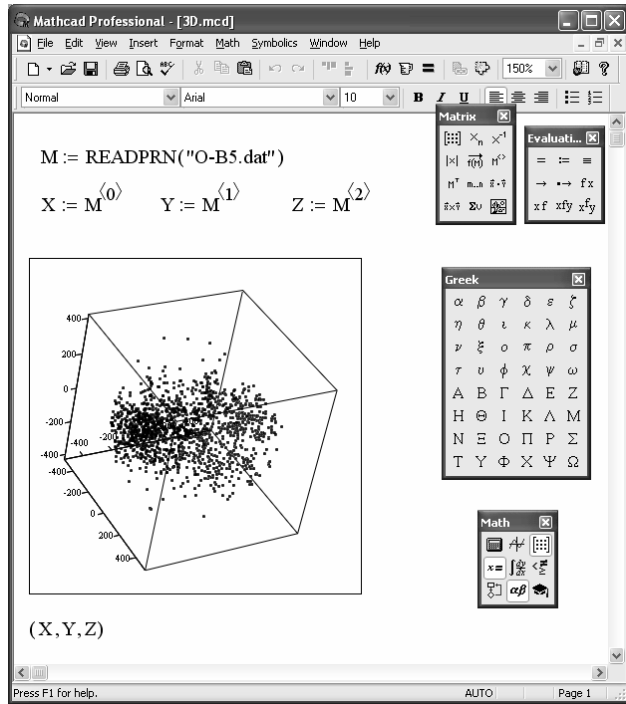


Рис. 4.4. Точечный график распределения звезд в пространстве, построенный программой MathCAD.

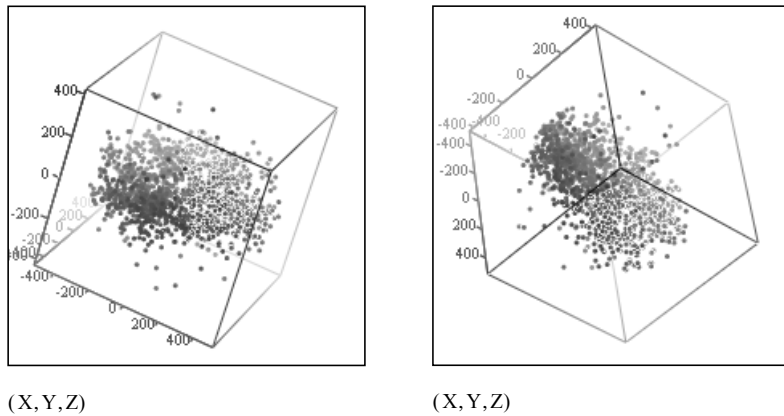


Рис. 4.5. Различные ракурсы распределения звезд в пространстве.

Глава V

Диаграмма Герцшпрунга–Рессела

На космическом аппарате Hipparcos проводились измерения блеска звезд в двух полосах B_T , V_T в собственной фотометрической системе Tucho. Имеются формулы для пересчета этих величин в стандартный показатель цвета $B-V$, но для удобства эта величина уже внесена в каталог. Всего такая фотометрия была сделана для 114 820 звезд в Hipparcos, кроме этого для 2117 звезд фотометрические данные были взяты из наземных источников. Поле H39 (позиция 259) несет информацию об источнике $B-V$ (символ G или T – наземные наблюдения или Tucho). Для 115 180 звезд имеются данные и о спектральном классе.

Индивидуальные параллаксы позволяют вычислить абсолютную звездную величину или светимость для каждой звезды. Таким образом, имеется все необходимое для построения диаграммы Герцшпрунга–Рессела. Каталог Hipparcos дает уникальную возможность построить диаграмму для любой выборки звезд. До появления этого каталога это было невозможно из-за плохого знания расстояний. Диаграммы удавалось строить только для тех звезд, для которых имелась косвенная информация, что они находятся от нас примерно на одинаковом расстоянии, например, для звезд одного звездного скопления.

Следует заметить, что в программе Celestia вообще не предусмотрена работа с диаграммой Герцшпрунга–Рессела.

Алгоритм построения диаграммы достаточно прост и может быть легко дополнен программистом для решения более конкретных задач, связанных с использованием диаграммы Герцшпрунга–Рессела.

В начале программы определяются константы, описывающие охват прямоугольника диаграммы, а также отступ рамки диаграммы от края графического окна и максимальную относительную ошибку параллакса. Далее идет описание двух глобальных переменных – масштабных множителей, которые используются в процедуре XY, а вычисляются в главной программе. Процедура XY переводит $B-V$ и M звезды в экранные координаты x , y .

Главная программа начинается с создания графического окна и определения масштабных множителей в соответствии с разрешением экрана. Окно заливается белым цветом, а цвет пера по умолчанию задается черным. Затем рисуется обрамляющий прямоугольник диаграммы и происходит разметка осей штрихами в 3 пикселя и подписями с шагом 0.5^m по $B-V$ и 5^m по M .

Листинг 5.1. Построение диаграммы Герципрунга–Рессела

```

Program HRBV; { Построение HR-диаграммы }
Uses HipMain, Graph, Math;

const
  MagLow =15.0; MagHi =-5.0; { Диапазон по абс. зв. величине }
  BVLow =-0.5; BVHi = 2.0; { Диапазон по B-V }
  Border = 50; { Отступ диаграммы от края окна }
  RelErr = 0.5; { Относительная точность определения параллакса }

var { глобальные переменные }
  ScaleMg : double; { Масштаб по оси абс. зв. величин }
  ScaleBV : double; { Масштаб по оси показателя цвета }

{ Процедура пересчета B-V и M в экранные координаты }
Procedure XY(B_V, Mag: single; var x, y : integer);
begin
  x:=Border+Round((B_V-BVLow)*ScaleBV);
  y:=Border++Round((Mag-MagHi)*ScaleMg);
end;

var
  driver, mode : smallint; { Для инициализации графики }
  s : THipparcos; { Звезда в Hipparcos }
  r : double; { Расстояние }
  Mag : single; { Абсолютная звездная величина }
  BV : single; { Показатель цвета }
  buf : string[15]; { Буфер для формирования текстовых строк }
  x, y, x1, y1 : integer; { Экранные координаты }
  color : integer; { Цвет точки }
begin
  { Инициализация графического окна }
  driver:=detect; mode:=0; InitGraph(driver, mode, 'D:\BP\BGI');

  { Определение масштабов по осям }
  ScaleMg:=(GetMaxY-2*Border)/(MagLow-MagHi);
  ScaleBV:=(GetMaxY-2*Border)/(BVHi-BVLow);

  { Заливка фона и установка цвета }
  SetFillStyle(SolidFill, White); Bar(0, 0, GetMaxX, GetMaxY);
  SetColor(Black);

  { Отрисовка обрамляющей рамки }
  XY(BVLow, MagHi, x, y); XY(BVHi, MagLow, x1, y1);
  Rectangle(x, y, x1, y1);

  { Разметка оси показателя цвета }
  SetTextJustify(JustifyCenter, JustifyTop);
  BV:=BVLow;

```

```

repeat
  XY(BV, 15, x, y); Line(x, y, x, y+3);
  Str(BV:0:1, buf); OutTextXY(x, y+5, buf);
  BV:=BV+0.5;
until BV>BVHi;

{ Разметка оси абс. зв. величин }
SetTextJustify(JustifyRight, JustifyCenter);
Mag:=MagHi;
Repeat
  XY(BVLow, Mag, x, y); Line(x, y, x-3, y);
  Str(Mag:0:0, buf); OutTextXY(x-5, y, buf);
  Mag:=Mag+5;
until Mag>MagLow;

OpenHipparcosMain;
InitCriteria('100.txt');
while ReadHipparcosMain(s) do
begin
  if (s.info and NoPlx)<>0 then continue; { нет параллакса }
  if (s.info and NoB_V)<>0 then continue; { нет B-V }
  if (s.info and NoVMag)<>0 then continue; { нет V Mag }
  if s.plx<=0.0 then continue; { "плохой" параллакс }
  if s.sigma.plx/s.plx>RelErr then continue; { низкая точность }
  if not inCelestia(s.HIP) then continue; { нет в списке }

  r:=1000.0/s.plx; { Вычисление расстояния в пк }
  Mag:=S.VMag-5.0*log10(r)+5.0; { Вычисл. абс. звезд. величины }

  case s.SP[0] of { Определение цвета точки }
    'O', 'B': color:=LightBlue;
    'A' : color:=LightCyan;
    'F', 'G': color:=Yellow;
    'K', 'M': color:=LightRed;
    else color:=LightGray;
  end; { case }

  XY(S.B_V, Mag, x, y); { Вычисление экранных координат точки }
  PutPixel(x, y, Color); { Поставить точку }
end; { while }

ClearCriteria;
CloseHipparcosMain;
end.

```

Собственно цикл нанесения звезд на диаграмму является весьма простой процедурой. В начале тела цикла проверяется наличие у звезд всех необходимых для диаграммы Герципрунга–Рессела параметров. Затем проверяется присутствие звезды в списке, подготовленном программой Celestia. В нашем примере мы задали критерий отбора звезд с параллаксом больше 10 mas. Число таких звезд составило 22 982. Обращаем внимание, что при использовании 16-разрядных компиляторов список номеров звезд числом более 16 383 не поместит-

ся в 64К сегмент, следует использовать 32-разрядный компилятор или другой алгоритм проверки нахождения звезд в списке. Конечно, такой простой критерий несложно задать и непосредственно в программе оператором

```
if s.Plx<10.0 then continue;
```

однако ради общности изложения мы использовали список звезд, созданный программой Celestia.

Диаграмма строится точками разных цветов, в соответствии с принципом, уже примененным нами в предыдущей главе. Следует заметить, что использование цветовых выделений по каким-либо признакам (например, по полной тангенциальной скорости звезды) является весьма информативным подходом. Можно предложить и такой способ раскраски: есть несколько списков номеров звезд, и звезды, принадлежащие каждому списку, выделять отдельным цветом.

Результат, подготовленный с помощью программы 5.1, представлен на рис. 5.1.

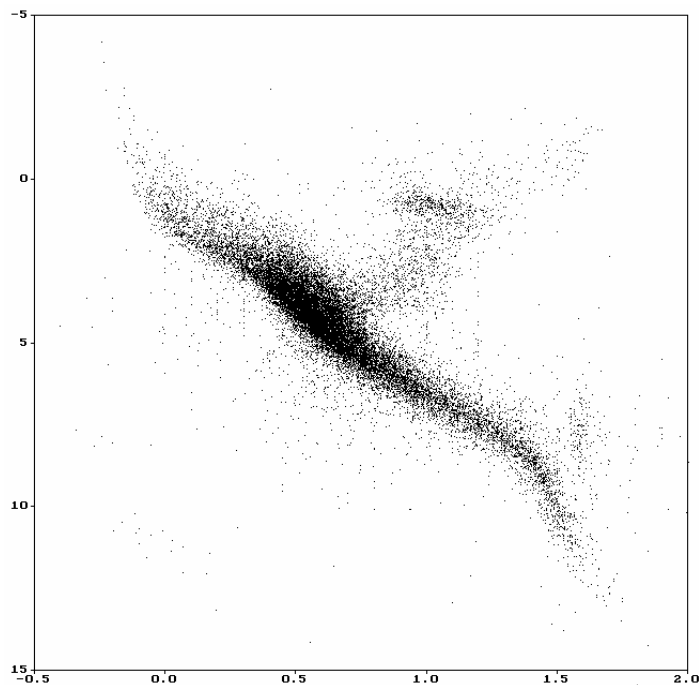


Рис. 5.1. Диаграмма Герцшпрунга–Рессела для звезд, находящихся на расстоянии ближе 100 пк. По оси абсцисс отложен показатель цвета $B-V$, по оси ординат – абсолютная звездная величина.

Упражнения к главе II

1. Узнайте сколько звезд с показателем цвета меньше -0.5 имеется в каталогах: а) Hipparcos, б) Tycho. Постройте распределение таких звезд по небесной сфере в галактической системе координат.
2. Сколько звезд Hipparcos принадлежат различным звездным скоплениям? Изучите местоположение этих скоплений.
3. Постройте распределение звезд, имеющих в каталогах AGK3, BD, CoD, SAO по небесной сфере в экваториальной системе координат. Сделайте выводы.
4. Постройте локальную карту для скопления Плеяды, для этого создайте критерий принадлежности к скоплению Mel 20 и построьте локальную карту с центром координат $\alpha = 3h 45m$, $\delta = 24^\circ$.
5. Создайте «книгу рекордов» каталога Hipparcos: самая близкая звезда, самая быстрая, самый точный параллакс, самая «красная», самая «голубая» звезда, самый большой разброс блеска у компонент двойной, самая большая амплитуда изменения блеска у переменной звезды и т. п.

Упражнения к главе III

6. Постройте распределения звезд каталога Hipparcos по модулю собственных движений, по абсолютной и относительной ошибке собственных движений (аналогично диаграмме на рис. 3.5).
7. Постройте распределения звезд каталога Hipparcos по расстояниям, относительной точности расстояния. Исследуйте и постройте диаграмму зависимости относительной ошибки параллакса от расстояния до звезд.

Упражнения к главе IV

8. Постройте картины распределения звезд каталога Hipparcos по небесной сфере для разных классов светимости, а также для звезд различных спектральных классов.
9. Выясните распределение вышеназванных групп звезд в пространстве в радиусе 200-500 пк.

Упражнения к главе V

10. Постройте диаграмму Герцшпрунга–Рессела для звезд различных диапазонов расстояний: 0-50, 50-100, 100-200, 200-400, 400-600, 600-800, 800-1000 пк.
11. Постройте диаграмму Герцшпрунга–Рессела на основе спектральных данных. Выделите классы светимости (если они есть) цветами.

Приложение А

Сокращенное описание содержания каталога Hipparcos (секция 2.1)

Поле Н0: Содержит символ Н для каталога Hipparcos (или Т для Tycho).

Поле Н1: Идентификационный номер звезды. Не все номера идут в строго возрастающем порядке, некоторые номера отсутствуют. К примеру, последний номер звезды – 118 322, в то время как число звезд – 118 218.

Поле Н2: Proximity flag – флаг, который указывает на наличие близкого (ближе 10") к данному объекту другого из каталога Hipparcos (Н) или Tycho (Т).

Поле Н3: Усеченное значение прямого восхождения, выраженное в часах, минутах и секундах времени.

Поле Н4: Усеченное значение склонения, выраженное в градусах, минутах и секундах дуги.

Поле Н5: Звездная величина по шкале Джонсона. Непосредственно на аппарате не измерялась, а вычислялась или бралась из наземных источников (см. флаг Н7).

Поле Н6: Флаг, грубо оценивающий переменность звезды:

- 1 : $< 0.06^m$
- 2 : $0.06 - 0.6^m$
- 3 : $> 0.6^m$

Поля Н49–Н54 описывают переменность более подробно.

Поле Н7: Источник поля Н5. Возможные значения:

- G: из наземных наблюдений;
- H: вычислено на основе H_p ;
- T: получено из фотометрии Tycho;
- пробел: нет данных.

Поле Н8: Точное значение прямого восхождения в градусах и десятичных долях (эпоха J1991.25, система ICRS).

Поле Н9: Точное значение склонения в градусах и десятичных долях (эпоха J1991.25, система ICRS).

Поле Н10: Ссылочный флаг астрометрических параметров Н3–Н4 и Н8–Н30. Если значение флага:

- A, B, ... : параметры ссылаются на соответствующую компоненту кратной системы;
- * : параметры ссылаются на фотоцентр звезды;
- + : параметры ссылаются на центр масс кратной системы.

Поле Н11: Тригонометрический параллакс (в mas). Может быть незначимым или даже отрицательным для небольшого числа звезд (может случиться, если значение параллакса оказывается меньше его ошибки).

Поля Н12–Н13: Собственные движения $\mu_{\alpha^*} = \mu_{\alpha} \cos \delta$ и μ_{δ} (выраженные в mas/год на эпоху J1991.25 в системе ICRS).

Поля Н14–Н15: Стандартные ошибки положений $\sigma_{\alpha^*} = \sigma_{\alpha} \cos \delta$ и σ_{δ} (выраженные в mas на эпоху J1991.25 в системе ICRS).

Поле Н16: Стандартная ошибка параллакса σ_{π} в mas.

Поля Н17–Н18: Стандартные ошибки собственных движений $\sigma_{\mu_{\alpha^*}} = \sigma_{\mu_{\alpha}} \cos \delta$ и $\sigma_{\mu_{\delta}}$ (выраженные в mas/год на эпоху J1991.25 в системе ICRS).

Поля Н28–Н29: Коэффициенты корреляции. Наглядно можно представить значение этих полей в виде таблицы:

	α^*	δ	π	μ_{α^*}	μ_{δ}
α^*	–	H19	H20	H22	H25
δ	H19	–	H21	H23	H26
π	H20	H21	–	H24	H27
μ_{α^*}	H22	H23	H24	–	H28
μ_{δ}	H25	H26	H27	H28	–

Поле Н29: Процент данных, которые были отброшены, чтобы получить приемлемое астрометрическое решение.

Поле Н30: Критерий степени согласия F2, связанный с критерием χ^2 . В случае нормального распределения ряда наблюдений F2 будет иметь также нормальное распределение с математическим ожиданием 0. Сильное отличие F2 от 0 (например +3) свидетельствует о низком качестве наблюдений для данной звезды.

Поле Н31: Повторяет поле Н0 – номер звезды.

Поле Н32: Средняя звездная величина в системе Tycho B_T .

Поле Н33: Средняя ошибка величины $B_T - \sigma_{B_T}$.

Поле Н34: Средняя звездная величина в полосе пропускания *Tucho* V_T системы *Tucho*. Для 59 звезд, у которых отсутствует BT , но присутствует поле Н34, его смысл немного отличается – полоса пропускания является комбинацией V_T и B_T .

Поле Н35: Средняя ошибка величины $V_T - \sigma_{V_T}$.

Поле Н36: Флаг, показывающий для неодионых звезд, к какой компоненте относится измерение V_T и B_T . Возможные значения:

- A, B, ... : параметры ссылаются на соответствующую компоненту кратной системы;
- * : параметры ссылаются на цвет неразрешенной звезды;
- : параметры ссылаются на общий цвет тройной или четырехкратной системы.

Поле Н37: Показатель цвета $B - V$ в системе Джонсона UBV. Может быть вычислен на основе разности $B_T - V_T$ или взят из наземных источников, о чем говорит флаг Н39.

Поле Н38: Средняя ошибка величины $B - V - \sigma_{B-V}$.

Поле Н39: Источник $B - V$: G – наземные наблюдения, T – *Tucho*, пробел – нет данных.

Поле Н40: Показатель цвета $V - I$ (см. секцию 1.3, Приложение 5). Это поле представляет лучшие на момент публикации каталога значения этой величины, определенные разными способами (флаг Н42).

Поле Н41: Средняя ошибка σ_{V-I} величины $V - I$.

Поле Н42: Источник $V - I$. Значения от A до T (см. секцию 1.3, Приложение 5).

Поле Н43: Флаг для всех цветовых характеристик Н37–Н42, а также для звездной величины Джонсона V (поле Н5). Значение флага * указывает на то, что все величины относятся к объединенному световому потоку от двойной или кратной звезды.

Поле Н44: Средняя звездная величина в системе H_p (см. секцию 1.3, Приложение 5).

Поле Н45: Средняя ошибка величины $H_p - \sigma_{H_p}$.

Поле Н46: Степень разброса величины H_p (секция 1.3, Приложение 5).

Поле Н47: Число наблюдений для определения величины H_p . Для очень малого числа звезд поле Н47 и Н46 – пустое.

Поле Н48: Флаг фотометрических параметров. Возможные значения:

- A, B, ... : параметры ссылаются на соответствующую компоненту кратной системы;
- * : объединенная фотометрия двойной звезды, исправленная за затухание профиля изображения;
- : объединенная не скорректированная фотометрия кратной звезды.

Поля Н49–Н50: Минимальное и максимальное значение звездной величины за наблюдаемый период. В большинстве случаев различие между ними не значимо, о чем свидетельствует значение C поля Н52.

Поле Н51: Период изменения блеска (или оценка этого периода) по данным *Hipparcos* в сутках. Приблизительная точность составляет 0.01 суток.

Поле Н52: Флаг типа переменности. Возможные значения:

- C : постоянный блеск, выраженная переменность отсутствует;
- D : затменно-переменная звезда;
- M : микропеременная звезда;
- P : периодическая переменная (см. поле Н53);
- R : во время анализа переменности блеска был подправлен индекс $V - I$;
- U : «неразрешенная» переменная, возможны вариации блеска в диапазоне 0.03m.

Поле Н53: Флаг наличия дополнительных данных о переменной в томе 11, части 1 или части 2. Возможные значения 1 и 2 соответственно.

Поле Н54: Флаг наличия кривых блеска в томе 12, части A, B или C. Возможные значения A, B, C соответственно.

Поле Н55: Номер по CCDM (the Catalogue of Components of Double and Multiple Stars) (см. секцию 1.4.4). Обеспечивает главную кросс-идентификацию для двойных и кратных систем.

Поле Н56: Исторический статус идентификатора CCDM.

- N : кратность звезды была открыта в *Hipparcos*;
- I : кратность звезды была известна к моменту опубликования *Hipparcos Input Catalogue* (HIC);
- M : информация о кратности звезды появилась после опубликования HIC, но до появления *Hipparcos*;

Поле Н57: Число отдельных каталогов, в которые входит объект с тем же CCDM номером.

Поле Н58: Число компонент в звезде (1, 2, 3, ...).

Поле Н59: Флаг дополнения к двойным и кратным системам. Флаг указывает, в каком из пяти дополнений находятся расширенные данные о звезде, в зависимости от используемой модели движения:

- С : компонентное решение, в том случае если удастся проследить взаимное движение компонент относительно друг друга;
- G : ускоренное решение, движение звезды не является прямолинейным и равномерным;
- O : орбитальное решение, в том случае, если удастся определить параметры орбиты двойной системы;
- V : неравномерное движение фотоцентра, которое можно приписать двойственности;
- X : невозможно получить точное решение для кратной системы, наиболее вероятно, что это вызвано слишком коротким интервалом наблюдения (три года).

Поле Н60: Источник абсолютных астрометрических данных в полях Н8–Н30 для некоторых звезд, со значением С поля Н59. Значения:

- F : это вторая или третья компонента в кратной звезде, значения параллакса и собственного движения взяты от главного компонента;
- I : это вторая или третья компонента в кратной звезде, но значения параллакса и собственного движения определены независимо от главной компоненты;
- L : это вторая или третья компонента в кратной звезде, использовалось так называемое линейное решение – значение параллакса, но не собственного движения, заимствовано от главной компоненты;
- P : это главная компонента кратной системы;
- S : использован процесс определения астрометрических параметров, как для одиночной звезды, из-за малого расстояния между компонентами ($\rho < 0.2''$), вследствие чего астрометрические параметры описывают поведение фотоцентра;
- пробел : астрометрические параметры определены из процесса для двойной звезды (если Н59 есть С) или из процесса для одиночной звезд (в противном случае);

Поле Н61: Флаг, определяющий качество данных для двойной или кратной звезды. Значения:

- A : хорошее определение;
- B : среднее определение;
- C : плохое определение;
- U : неопределенное решение;
- S : только подозрение на двойственность.

Поле Н62: Обозначение компоненты для параметров в полях Н63–Н67. Из общего числа звезд 11 101, у которых поле Н62 не пустое, 10 200 имеют обозначение компонент АВ.

Поле Н63–Н64: Позиционный угол θ , выраженный в градусах, и угловое расстояние ρ в угловых секундах на эпоху J1991.25.

Поле Н65: Стандартная ошибка углового расстояния σ_ρ .

Поле Н66: Разность звездных величин компонент ΔH_ρ .

Поле Н67: Стандартная ошибка разности звездных величин $\sigma_{\Delta H_\rho}$.

Поле Н68: Флаг звезды «основного обзора». Эти звезды ('survey' stars) образуют основной список ярких звезд, включенных в программу наблюдения Hipparcos. Наличие флага S (всего 52 045 звезд) говорит о том, что эта звезда принадлежит этому множеству. Было решено определить это множество следующим образом – его составляют все звезды, чья звездная величина удовлетворяет определенному соотношению, зависящему от галактической долготы и спектрального класса:

$$V \leq 7.9 + 1.1 |\sin b|, \text{ для спектральных классов ранее или равных G5;}$$

$$V \leq 7.3 + 1.1 |\sin b|, \text{ для спектральных классов более поздних, чем G5.}$$

Поле Н69: Флаг, указывающий наличие для объекта идентификационной карты, которая построена для облегчения определения положения объекта в сложных случаях (слабая звезда, компонент кратной системы и т. п.). Значение флага D говорит о том, что карта построена на основе STScI Digitized Sky Survey (776 объектов), а G – на основе Guide Star Catalog (10 877 объектов).

Поле Н70: Флаг наличия замечаний в конце тома. Существует три категории замечаний, а также их комбинации:

- D : комментарии к двойным и кратным системам (том 10);
- G : замечания общего характера (тома 5–9);
- P : замечания по фотометрии (том 11);
- W : D + P;
- X : D + G;

Y : G + P;
Z : D + G + P.

Поле H71: Номер звезды по HD/HDE/HDEC. Кросс-идентификация с каталогом HD Catalogue с номерами в диапазоне 1 – 225 300 (*A.J. Cannon & E.C. Pickering, 1918–24, Ann. Harvard Obs., 91–99*),

и двумя расширениями: HDE с диапазоном номеров 225 301 – 272 150 (*A.J. Cannon, 1925–36, Ann. Harvard Obs., 100*) и HDEC с диапазоном 272 151 – 359 083 (*A.J. Cannon & M. Walton Mayall, 1949, Ann. Harvard Obs., 112*).

Поле H72: DM номер звезды по каталогу BD (Bonner Durchmusterung) в формате B±ZZ NNNNa (номер зоны по склонению, номер звезды, и возможно дополнительный буквенный индекс). Содержит звезды с $\delta > -23^\circ$.

Поле H73: DM номер звезды по каталогу CoD (Cordoba Durchmusterung) в формате B±ZZ NNNNN (номер зоны по склонению, номер звезды). CoD – расширение BD на южное небо.

Поле H74: DM номер звезды по каталогу CoD (Cordoba Durchmusterung) в формате C±ZZ NNNNN (номер зоны по склонению, номер звезды). CoD – расширение BD на южное небо.

Поле H74: DM номер звезды по каталогу CPD (Cape Durchmusterung) в формате P±ZZ NNNNN (номер зоны по склонению, номер звезды). CPD – также содержит звезды из южного полушария.

Поле H75: Значение V–I, использованного в фотометрическом процессе (не совпадает с полем H40).

Поле H76: Спектральный класс, полученный по данным наземных наблюдений (см. поле H77). Спектральный класс приводятся по различным системам (MK, HD др.). Обычно первые четыре символа (всего длина поля – 12 символов) представляют класс и подкласс, а иногда и под-подкласс, первый символ или два символа определяют основной класс:

O, B, A, F, G, K, M и подкласс (0, 1, и т. д.), и иногда промежуточный подкласс (например F7.2, F7.5, F7.7) для обычных звезд;
R, S, N, C для углеродных звезд;
DB, DA, DF, DG для белых карликов;
WR, WN, WC для звезд Вольфа–Райе.

Может быть обозначен класс светимости:

Ia0, Ia, Iab, Ib для сверхгигантов;
II для ярких гигантов;
III для гигантов;
IV для субгигантов;
V для карликов;
подкарлики могут быть обозначены символами sd, следующими за спектральным классом, или классом VI.

Особенности спектра обозначаются буквами в нижнем регистре:

e – эмиссионные линии;
m – усиленные линии металлов;
n – небулярные линии;
nn – сильные небулярные линии;
p – пекулярный химический состав;
s – необычно узкие линии;
sh – наличие оболочек;
v – изменения в спектре;
w – слабые линии.

CN указывает на звезды с избытком молекул циана.

Могут встретиться дополнительные обозначения:

: сомнения в определении спектра;
/ между спектральными классами или классами светимости указывает на то, что было сделано две спектральных классификации;
– между спектральными классами или классами светимости указывает на изменение параметра между приведенными значениями;
+ указание на композитный спектр;
... указывает на усеченный спектр.

Поле H77: Источник спектральных данных.

1 : Michigan Spectral Survey, Vol. 1 (*N. Houk & A.P. Cowley, 1975, Univ. Michigan*);
2 : Michigan Spectral Survey, Vol. 2 (*N. Houk, 1978, Univ. Michigan*);
3 : Michigan Spectral Survey, Vol. 3 (*N. Houk, 1982, Univ. Michigan*);
4 : Michigan Spectral Survey, Vol. 4 (*N. Houk & A. Smith-Moore, 1988, Univ. Michigan*);
G : updated after publication of the Hipparcos Input Catalogue;
K : Fourth Edition of the General Catalogue of Variable Stars (*GCVS, P.N. Kholopov (ed.), 1985, 1987, Moscow*);
S : SIMBAD;
X : другой источник;
: нет данных.

Краткий справочник по форматам полей каталога Hipparcos
(из ASCII CD-ROM 1)

Bytes	Format	Units	Label	Explanations	
1	A1	---	Catalog	[H] Catalogue (H=Hipparcos)	(H0)
3-14	I12	---	HIP	Identifier (HIP number)	(H1)
16	A1	---	Proxy	[HT] Proximity flag	(H2)
18-28	A11	---	RAhms	Right ascension in h m s, ICRS (J1991.25)	(H3)
30-40	A11	---	DEdms	Declination in deg ' ", ICRS (J1991.25)	(H4)
42-46	F5.2	mag	Vmag	Magnitude in Johnson V	(H5)
48	I1	---	VarFlag	*[1,3]? Coarse variability flag	(H6)
50	A1	---	r_Vmag	*[GHT] Source of magnitude	(H7)
52-63	F12.8	deg	RAdeg	*? alpha, degrees (ICRS, Epoch=J1991.25)	(H8)
65-76	F12.8	deg	DEdeg	*? delta, degrees (ICRS, Epoch=J1991.25)	(H9)
78	A1	---	AstroRef	*[+A-Z] Reference flag for astrometry	(H10)
80-86	F7.2	mas	Plx	? Trigonometric parallax	(H11)
88-95	F8.2	mas/yr	pmRA	? Proper motion mu alpha.cos(delta), ICRS	(H12)
97-104	F8.2	mas/yr	pmDE	? Proper motion mu delta, ICRS	(H13)
106-111	F6.2	mas	e_RAdeg	? Standard error in RA*cos(DEdeg)	(H14)
113-118	F6.2	mas	e_DEdeg	? Standard error in DE	(H15)
120-125	F6.2	mas	e_Plx	? Standard error in Plx	(H16)
127-132	F6.2	mas/yr	e_pmRA	? Standard error in pmRA	(H17)
134-139	F6.2	mas/yr	e_pmDE	? Standard error in pmDE	(H18)
141-145	F5.2	---	DE:RA	[-1/1]? Correlation, DE/RA*cos(delta)	(H19)
147-151	F5.2	---	Plx:RA	[-1/1]? Correlation, Plx/RA*cos(delta)	(H20)
153-157	F5.2	---	Plx:DE	[-1/1]? Correlation, Plx/DE	(H21)
159-163	F5.2	---	pmRA:RA	[-1/1]? Correlation, pmRA/RA*cos(delta)	(H22)
165-169	F5.2	---	pmRA:DE	[-1/1]? Correlation, pmRA/DE	(H23)
171-175	F5.2	---	pmRA:Plx	[-1/1]? Correlation, pmRA/Plx	(H24)
177-181	F5.2	---	pmDE:RA	[-1/1]? Correlation, pmDE/RA*cos(delta)	(H25)
183-187	F5.2	---	pmDE:DE	[-1/1]? Correlation, pmDE/DE	(H26)
189-193	F5.2	---	pmDE:Plx	[-1/1]? Correlation, pmDE/Plx	(H27)
195-199	F5.2	---	pmDE:pmRA	[-1/1]? Correlation, pmDE/pmRA	(H28)
201-203	I3	%	F1	? Percentage of rejected data	(H29)
205-209	F5.2	---	F2	*? Goodness-of-fit parameter	(H30)
211-216	I6	---	---	HIP number (repetition)	(H31)
218-223	F6.3	mag	BTmag	? Mean BT magnitude	(H32)
225-229	F5.3	mag	e_BTmag	? Standard error on BTmag	(H33)
231-236	F6.3	mag	VTmag	? Mean VT magnitude	(H34)
238-242	F5.3	mag	e_VTmag	? Standard error on VTmag	(H35)
244	A1	---	m_BTmag	*[A-Z*] Reference flag for BT and VTmag	(H36)
246-251	F6.3	mag	B-V	? Johnson B-V colour	(H37)
253-257	F5.3	mag	e_B-V	? Standard error on B-V	(H38)
259	A1	---	r_B-V	[GT] Source of B-V from Ground or Tycho	(H39)
261-264	F4.2	mag	V-I	? Colour index in Cousins' system	(H40)
266-269	F4.2	mag	e_V-I	? Standard error on V-I	(H41)
271	A1	---	r_V-I	*[A-T] Source of V-I	(H42)
273	A1	---	CombMag	[*] Flag for combined Vmag, B-V, V-I	(H43)
275-281	F7.4	mag	Hpmag	Median magnitude in Hipparcos system	(H44)
283-288	F6.4	mag	e_Hpmag	Standard error on Hpmag	(H45)
290-294	F5.3	mag	Hpscatt	? Scatter on Hpmag	(H46)
296-298	I3	---	o_Hpmag	? Number of observations for Hpmag	(H47)
300	A1	---	m_Hpmag	*[A-Z*] Reference flag for Hpmag	(H48)
302-306	F5.2	mag	Hpmax	? Hpmag at maximum (5th percentile)	(H49)
308-312	F5.2	mag	Hpmin	? Hpmag at minimum (95th percentile)	(H50)
314-320	F7.2	d	Period	? Variability period (days)	(H51)
322	A1	---	HvarType	*[CDMPRU]? variability type	(H52)
324	A1	---	moreVar	*[12] Additional data about variability	(H53)
326	A1	---	morePhoto	[ABC] Light curve Annex	(H54)
328-337	A10	---	CCDM	CCDM identifier	(H55)
339	A1	---	n_CCDM	*[HIM] Historical status flag	(H56)
341-342	I2	---	Nsys	? Number of entries with same CCDM	(H57)
344-345	I2	---	Ncomp	? Number of components in this entry	(H58)
347	A1	---	MultFlag	*[CGOVX] Double/Multiple Systems flag	(H59)
349	A1	---	Source	*[PFILS] Astrometric source flag	(H60)
351	A1	---	Qual	*[ABCDs] Solution quality	(H61)
353-354	A2	---	m_HIP	Component identifiers	(H62)
356-358	I3	deg	theta	? Position angle between components	(H63)

360-366	F7.3	arcsec	rho	? Angular separation between components	(H64)
368-372	F5.3	arcsec	e_rho	? Standard error on rho	(H65)
374-378	F5.2	mag	dHp	? Magnitude difference of components	(H66)
380-383	F4.2	mag	e_dHp	? Standard error on dHp	(H67)
385	A1	---	Survey	[S] Flag indicating a Survey Star	(H68)
387	A1	---	Chart	*[DG] Identification Chart	(H69)
389	A1	---	Notes	*[DGPWXYZ] Existence of notes	(H70)
391-396	I6	---	HD	[1/359083]? HD number <III/135>	(H71)
398-407	A10	---	BD	Bonner DM <I/119>, <I/122>	(H72)
409-418	A10	---	CoD	Cordoba Durchmusterung (DM) <I/114>	(H73)
420-429	A10	---	CPD	Cape Photographic DM <I/108>	(H74)
431-434	F4.2	mag	(V-I)red	V-I used for reductions	(H75)
436-447	A12	---	SpType	Spectral type	(H76)
449	A1	---	r_SpType	*[1234GKSX]? Source of spectral type	(H77)

Приложение В

Документация космического проекта Hipparcos

Содержание томов 1-17

Том 1: Общее описание каталогов Hipparcos и Tycho

Том 2: Принципы работы аппарата Hipparcos

Том 3: Устройство каталога Hipparcos

Том 4: Устройство каталога Tycho

Томы 5-9: Каталог Hipparcos (печатная версия) с замечаниями в конце каждого тома.

Том 5: 0h-3h: 1 - 18677

Том 6: 4h-8h: 18601 - 44180

Том 7: 9h-13h: 44101 - 68389

Том 8: 14h-18h: 68301 - 93276

Том 9: 19h-23h: 93201 - 118322

Том 10: Дополнение по двойным и кратным системам:

Часть С: Компонентное решение

Часть G: Ускоренное решение

Часть O: Орбитальное решение

Часть V: «Вынужденно-переменное» движение

Часть X: Стохастическое решение

Замечания к двойным и кратным системам

Объекты солнечной системы:

Hipparcos: Астрометрический каталог

Hipparcos: Фотометрический каталог

Tycho: Астрометрический и фотометрический каталог

Том 11: Дополнение по переменным звездам Hipparcos (таблицы)

Часть 1: Периодические переменные

Часть 2: Непериодические переменные

Фотометрические замечания и ссылки

Спектральные классы для звезд Hipparcos

Том 12: Дополнение по переменным звездам Hipparcos (кривые блеска)

Часть A: Folded

Часть B: AAVSO

Часть C: Unsolved

Том 13: Идентификационные карты

Часть D: Карты из STScI Digitised Sky Survey

Часть G: Карты из GuideStar Catalog

Идентификационные таблицы

Таблица 1: HIP несовместимые с ICS кросс-идентификацией

Таблица 2: Номера по каталогу HD (Henry Draper)

Таблица 3: Номера по каталогу HR (Bright Star)

Таблица 4: Названия Байера и Флемстида

Таблица 5: Названия переменных звезд

Таблица 6: Общепринятые названия звезд

Тома 14–16: Звездный атлас *Sky & Telescope's Millennium*

Том 14: 0h– 7h

Том 15: 8h – 15h

Том 16: 16h – 23h

Том 17: Данные Hipparcos и Tycho на компакт-дисках.

Приложение С

Содержание Hipparcos и Tycho ASCII CD-ROM

Диск 1:

Каталог Hipparcos

Дополнение по двойным и кратным системам

Дополнение по переменным звездам

Каталог Tycho

Объекты Солнечной системы

Замечания и ссылки

Таблицы

Кривые блеска

Коды программ на C и Fortran

Документация: тома 1–4 (в PDF-формате)

Диск 2:

Дополнение по фотометрической эпохе Hipparcos

Идентификационные карты

Диск 3:

Дополнение по фотометрической эпохе Hipparcos

Расширения каталога

Диск 4:

Дополнение по фотометрической эпохе Tycho

Диск 5:

Промежуточные астрометрические данные Hipparcos

Документация: тома 5–10 (в PDF-формате)

Диск 6:

Наблюдательные данные Hipparcos (transit data)

Документация: том 11 (в PDF-формате)

Иллюстрации к тому 1 (в PDF-формате)

Диск с программным обеспечением Celestia 2000, содержащий данные каталогов Hipparcos, Tycho, Hipparcos Input Catalogue вместе с соответствующим программным обеспечением, не входит в состав 6 ASCII компакт-дисков и поставляется отдельно.

Приложение D

Тексты программ на языке C

Листинг D 3.1. Модуль чтения каталога Hipparcos

Файл hipmain.h

```
// Чтение каталога Hipparcos. Заголовочный файл

// Расположение полной версии каталога Hipparcos
#define HipparcosName "D:/CATALOGS/HIPARCOS/hip_main.dat"
#define HipNumOfStars 118218

typedef struct
{
    long HIP; // Номер звезды по Hipparcos

    // Астрометрическая информация
    double RAdeg, DEdeg; // Экваториальные координаты в градусах
    double Plx; // Тригонометрический параллакс в mas
    double pmRA, pmDE; // Собств. движ. та*cos(d) и md mas/год
    char AstroRef; // Флаг для кратных систем

    // Фотометрическая информация
    float VMag; // Звездная вел. по шкале Джонсона
    float B_V; // Показатель цвета B-V по шкале Джонсона

    struct // ошибки соотв. величин
    { double RAdeg, DEdeg, Plx, pmRA, pmDE;
    } sigma;

    char Sp[10+1]; // Развернутый спектральный класс
    struct // Битовая структура отсутствия информации
    { unsigned NoRaDe:1; // Нет данных о точных координатах
      unsigned NoPlx :1; // Нет данных о параллаксе
      unsigned NoPM :1; // Нет данных о собственных движениях
      unsigned NoVMag:1; // Нет данных о звездной величине
      unsigned NoB_V :1; // Нет данных о показателе цвета
    } Info;
}
THipparcos;

// Прототипы функций
bool OpenHipparcosMain(); // Открытие файла каталога
void CloseHipparcosMain(); // Закрытие файла каталога
// Чтение одной строки каталога: результат помещается в s,
// возвращает false при достижении конца файла.
bool ReadHipparcosMain(THipparcos *s);
```

Файл hipmain.c

```
// Чтение каталога Hipparcos
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "hipmain.h"
#define HipRecSize 451 // длина строки каталога, включая CR,LF

// Возвращает true, если s состоит только из пробелов
bool IsBlank(char *s)
{ while (*s) if (*s++ != ' ') return false;
  return true;
}

FILE *f; // Файловая переменная каталога

// Открытие файла каталога в режиме "только чтение"
bool OpenHipparcosMain()
{ f=fopen(HipparcosName,"rt");
  if (f) return true; else return false;
}

// Закрытие файла каталога
void CloseHipparcosMain() { fclose(f); }

// Чтение одной записи
bool ReadHipparcosMain(THipparcos *s)
{ // Локальные переменные функции
  char hs[HipRecSize]; // Строка каталога
  char st[16]; // Вспомогательный буфер

  if feof(f) return false; //Если конец файла, то False

  fread(hs,HipRecSize,1,f); // Чтение одной строки

  s->Info.NoRaDe=0; // Обнуление всех битов флага
  s->Info.NoPlx =0; s->Info.NoPM =0;
  s->Info.NoVMag=0; s->Info.NoB_V =0;

  // Мы не используем форматный ввод оператором scanf, с тем,
  // чтобы полностью контролировать процесс чтения полей (в том
  // числе и пустых). Функции atoi и atof возвращают нулевые
  // значения в случае ошибки преобразования, поэтому надо
  // проверять поля на пробелы отдельно.

  // Интерпретация 12 байт, начиная с 3-го - это номер HIP.
  s->HIP=atoi(strncpy(st,hs+3-1,12));

  // Чтение координат: по 12 байт с 52 и с 65 позиции.
  strncpy(st,hs+52-1,12); st[12]=0; s->RAdeg=atof(st);
```



```

if (IsBlank(st)) s->Info.NoRaDe=1;
strncpy(st,hs+65-1,12); st[12]=0; s->DEdeg=atof(st);
if (IsBlank(st)) s->Info.NoRaDe=1;

// Чтение параллакса - 7 байт с 80-й позиции
strncpy(st,hs+80-1,7); st[7]=0; s->Plx=atof(st);
if (IsBlank(st)) s->Info.NoPlx=1;

// Чтение собственных движений: по 8 байт с 88 и с 97 позиции
strncpy(st,hs+88-1,7); st[7]=0; s->pmRA=atof(st);
if (IsBlank(st)) s->Info.NoPM=1;
strncpy(st,hs+97-1,7); st[7]=0; s->pmDE=atof(st);
if (IsBlank(st)) s->Info.NoPM=1;

s->AstroRef=hs[78-1]; // Флаг кратной звезды

// Чтение зв.величины и показателя цвета В-V по Джонсону
strncpy(st,hs+42-1,5); st[5]=0; s->VMag=atof(st);
if (IsBlank(st)) s->Info.NoVMag=1;
strncpy(st,hs+246-1,6); st[6]=0; s->B_V=atof(st);
if (IsBlank(st)) s->Info.NoB_V=1;

if (!s->Info.NoRaDe)
{ // Данные об ошибках всегда присутствуют,
  // если присутствуют и сами координаты.
  strncpy(st,hs+106-1,6); st[6]=0; s->sigma.RAdeg=atof(st);
  strncpy(st,hs+113-1,6); st[6]=0; s->sigma.DEdeg=atof(st);
}

if (!s->Info.NoPlx)
{ strncpy(st,hs+120-1,6); st[6]=0; s->sigma.Plx=atof(st);}

if (!s->Info.NoPM)
{ strncpy(st,hs+127-1,6); st[6]=0; s->sigma.pmRA=atof(st);
  strncpy(st,hs+134-1,6); st[6]=0; s->sigma.pmDE=atof(st);
}

// Чтение данных о спектральном классе
strncpy(s->Sp,hs+436-1,10); st[10]=0;

return true;
}

```

Листинг D 3.2. Подсчет звезд без данных о координатах, собственных движениях и параллаксах

```

#include <stdio.h>
#include "hipmain.h"

```

```

main()
{
THipparcos s; // Структура данных о звезде
long NoCoord = 0; // Счетчик звезд без точных координат
long NoProp = 0; // Счетчик звезд без собств. движений
long NoPar = 0; // Счетчик звезд без параллаксов
int k; // битовая маска

OpenHipparcosMain(); // Открытие каталога
while (ReadHipparcosMain(&s)) // Цикл чтения каталога
{
// Сравнение битов в маске с константами
if (s.Info.NoRaDe) NoCoord++;
if (s.Info.NoPM) NoProp++;
if (s.Info.NoPlx) NoPar++;
}
CloseHipparcosMain(); // Закрытие каталога
// Вывод результатов
printf("Звезд без точных координат %ld\n",NoCoord);
printf("Звезд без собственных движений %ld\n",NoProp);
printf("Звезд без параллаксов %ld\n", NoPar);
}

```

Листинг D 3.3 Вычисление распределения звезд по абсолютной звездной величине

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include "hipmain.h"

main()
{ THipparcos s;
  long a[25]; // статистика
  int i; // вспомогательная переменная
  double r; // расстояние
  double m; // абсолютная звездная величина

for (i=0; i<=24; i++) a[i]=0; // обнуление статистики
OpenHipparcosMain();
while (ReadHipparcosMain(&s))
{ if (s.Info.NoPlx) continue; // нет данных о паралл.
  if (s.Plx<=0.0) continue; // неположительный параллакс
  if (s.sigma.Plx/s.Plx>0.5) continue; // точность хуже 50%
  r=1000.0/s.Plx; // Вычисление расстояния в пк
  m=s.VMag-5.0*log10(r)+5.0; //Вычисление абсолютной зв. величины
  i=floor(m+0.5)+12; // Определение индекса ячейки массива
  if ( (i>=0) && (i<=24)) a[i]++; // ув.на 1
}
CloseHipparcosMain();
for (i=0; i<=24; i++) printf("%4d %6d\n",i-12,a[i]);
}

```

Листинг D 3.4. Вычисление средней абсолютной звездной величины звезд, список которых находится в файле *lumin.txt*

```

main()
{
    THipparcos s;
    double r; // расстояние
    double m; // абсолютная звездная величина
    double mav=0; // средняя абсолютная звездная величина
    long n=0; // количество подходящих звезд
    int k; // битовая маска

    OpenHipparcosMain();

    // Инициализация критерия
    printf("%ld звезд в списке.\n",InitCriteria("lumin.txt"));

    while (ReadHipparcosMain(&s))
    {
        k=s.Info & NoPlx;
        if (!k) continue; // нет данных о параллаксе
        if (s.Plx<=0.0) continue; // неположительный параллакс

        r=1000.0/s.Plx; // Вычисление расстояния в пк
        m=s.VMag-5.0*log10(r)+5.0; // Вычисл. абс. звезд. величины

        if (InCelestia(s.HIP)) // Звезда в списке Celestia?
        {
            mav+=m; // накопление суммы абс. зв. величин
            n++; // суммирование числа звезд
        }
    } // while

    ClearCriteria(); // Очистка критерия

    CloseHipparcosMain();

    mav/=n; // Вычисление среднего значения
    printf("M (av) = %6.2f\n",mav);
    printf("Обработано %ld звезд.\n",n);
    scanf("\n");
}

```

Листинг D 3.5. Исходный текст функций *InitCriteria*, *InCelestia*, *ClearCriteria*

Добавления в заголовочный файл *hipmain.h*

```

// Инициализация критерия с использованием выходного файла
// программы Celestia 2000. name - имя файла.
// Возвращает число звезд в списке.
long InitCriteria(char * );

// Функция проверяет, есть ли звезда в списке.
bool InCelestia(long n);

// Очистка критерия.
void ClearCriteria();

```

Добавления в файл *hipmain.c*

```

// Глобальные переменные для работы с критерием
long *List; // Указатель на начало списка номеров звезд
long NList = 0; // Количество звезд в списке

// Инициализация критерия с использованием выходного файла
// программы Celestia 2000. name - имя файла.
// Возвращает число звезд в списке
long InitCriteria(char * name)
{
    FILE *t; // файловая переменная
    char s[512]; // строка-буфер для чтения
    char q[16]; // дополнительный буфер
    long i; // индекс для цикла for

    t=fopen(name,"rt"); // Открываем файл
    if (!t) return 0;

    for (i=0; i<2; i++)
        fgets(s,512,t); // Пропуск двух первых строк

    fscanf(t,"%d",&NList); // В третьей строке - количество звезд

    // Выделение памяти под список
    List=(long *) malloc(NList*sizeof(long));

    for (i=3; i<=12; i++)
        fgets(s,512,t); // Пропуск с остатка 3 по 12 строку
}

```

```

for (i=0; i<NList; i++) // чтение с 3-го байта 12 байт номера
{
    fgets(s,512,t);
    strncpy(q,s+2,12); q[12]=0;
    List[i]=atoi(q);
}
fclose(t);
return NList;
}

// функция проверяет, есть ли звезда в списке
bool InCelestia(long n)
{
    long i;

    // если критерий не установлен - выход
    if (NList==0) return false;

    for (i=0; i<NList; i++) // обход звезд в цикле for
    { // если звезда найдена в списке - выход с true
        if (List[i]==n) return true;
    }

    return false; // Сюда попадаем, только если звезда не найдена
}

// Очистка критерия
void ClearCriteria()
{
    free(List);
    NList=0;
}

```

Листинг D 4.1. Процедуры перевода координат

```

void Aitoff
(double l, double b, // Сферические координаты в радианах
double &x, double &y) // Декартовы координаты
{
    double s;
    if (l>M_PI) l=l-2*M_PI; // Приведение l в диапазон -PI до +PI
    s=sqrt(1.0+cos(b)*cos(l/2.0)); // Знаменатель формул 4.1
    x=-2.0*cos(b)*sin(l/2.0)/s;    y=sin(b)/s;
}

void Screen
(double x, double y, // Декартовы координаты
int X0, int Y0, // Экранные координаты начала декартовой системы
double Scale, // Масштаб - точек экрана на единицу длины
int &u, int &v) // Экранные координаты
{
    u=X0+floor(Scale*x+0.5);    v=Y0-floor(Scale*y+0.5);
}

```

Листинг D 4.2. Процедура, рисующая координатную сетку

```

double rad(double x) // Перевод градусов в радианы
{
    return x/180.0*M_PI;
}

void AitoffGrid
(int Step, // Шаг сетки в градусах
int X0, int Y0, // Экранные координаты центра проекции
double Scale, // Масштаб - точек на единицу длины
int Gr) // Флаг - в градусах или в часах разметка долготы
{
    int i,j; // Переменные циклов for
    double l,b; // Галактические координаты
    double x,y; // Декартовы координаты
    int u,v; // Экранные координаты
    char s[6]; // Строка для подписей
    int h; // Для разметки осей

    // Нанесение сетки меридианов
    i=-180; // Первый меридиан -180 градусов

    do { // Цикл по меридианам

        l=rad(i); // Перевод в радианы
        j=-90; // Первая точка меридиана

        do { // Цикл построения вдоль меридиана

            // Вычисление точки меридиана
            b=rad(j); // Перевод в радианы широты
            Aitoff(l,b,x,y); // Перевод в декартовы координаты
            Screen(x,y,X0,Y0,Scale,u,v); // Перевод в экранные коорд.

            // Если точка первая (j=-90), то помещаем графический курсор
            // в точку (u,v) функцией moveto, если точка не первая, то
            // "прочерчиваем" курсором линию из предыдущей точки
            // в точку (u,v) функцией lineto.
            if (j==-90) moveto(u,v); else lineto(u,v);

            j+=5; // Шаг 5 градусов обеспечивают гладкий вид меридиана

        } while (j<=90);

        i+=Step; // Переход к следующему меридиану

    } while (i<=180);
}

```

```

// Нанесение сетки параллелей - аналогично предыдущему
j=-90;
do { // цикл по параллелям
  b=rad(j);
  i=-180;
  do { // цикл построения вдоль параллели
    l=rad(i);
    Aitoff(l,b,x,y); Screen(x,y,X0,Y0,Scale,u,v);
    if (i==180) moveto(u,v); else lineto(u,v);
    i=i+5;
  } while (i<=180);
  j+=Step;
} while (j<=90);
// Задание свойств шрифта (может зависеть от граф.библи.)
settextstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);
settextjustify(LEFT_TEXT,BOTTOM_TEXT);

// Подписи меридианов вдоль экватора
i=-180;
do {

  // Вычисление координаты точки вывода надписи
  l=rad(i);
  Aitoff(l,0,x,y); Screen(x,y,X0,Y0,Scale,u,v);

  // Если Gr истина, то разметка в градусах, иначе - в часах
  if (Gr) h=i;
  else { h=i/15; if (h<0) h+=24;
        };
  itoa(h,s,10); // Преобразование значения h в текстовую строку
  outtextxy(u+5,v-5,s); // Вывод текстовой строки

  i+=Step; // Переход к следующему меридиану

} while (i<=180);

// Изменение выравнивания текста
settextjustify(RIGHT_TEXT,BOTTOM_TEXT);

// Подписи параллелей вдоль нулевого меридиана - аналогично
j=-90+Step;
do {
  if (j!=0) // Экватор не подписываем
  {
    b=rad(j);
    Aitoff(0,b,x,y); Screen(x,y,X0,Y0,Scale,u,v);
    itoa(j,s,10);
    outtextxy(u-5,v-5,s);
  }
  j+=Step;
} while (j<=90-Step);
}

```

Листинг D 4.3. Перевод экваториальных координат в галактические

```

// Перевод экваториальных координат в галактические
void Galaxy(
  double a, double d, // Экваториальные координаты
  double &l, double &b) // Галактические
{
  double sa,ca,sd,cd;
  double const Leo = 4.936829261; // 282.85948083
  double const L0 = 0.57477039907; // 32.931918056
  double const si = 0.88998807641; // sin 62.871748611
  double const ci = 0.45598379779; // cos 62.871748611

  a=a-Leo;
  sa=sin(a); ca=cos(a);
  sd=sin(d); cd=cos(d);
  b=asin(sd*ci-cd*si*sa);
  l=atan2(sd*si+cd*ci*sa,cd*ca)+L0;
}

```

Листинг D 4.4. Построение распределения звезд по небесной сфере

```

#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <graphics.h>
#include <conio.h>
#include "hipmain.h"

void main()
{
  THipparcos s;
  int driver,mode; // Для инициализации графич. режима
  int color; // Цвет точки
  double l, b; // Галактические координаты
  double x, y; // Декартовы координаты
  int u, v; // Экранные координаты
  int CX, CY; // Экранные координаты центра проекции
  int SC; // Масштаб перевода декартовых коорд. в экранные

  // Инициализация графического режима (зависит от библи.)
  driver=DETECT; mode=0; initgraph(&driver,&mode,"D:/BC/BGI");

  // Задание масштаба и центра
  // Проекция Айтофа имеет X в диапазоне от -2 до 2, и зазор
  SC=getmaxx()/4-10;
  CX=getmaxx()/2; CY=getmaxy()/2;

  AitoffGrid(30,CX,CY,SC,1); // Вывод сетки координат

  OpenHipparcosMain(); // Открытие каталога и
  InitCriteria("I-II.txt"); // инициализация критерия
}

```

```

while (ReadHipparcosMain(&s)) // Цикл чтения звезд
if (InCelestia(s.HIP)) // Проверка критерия
{
    switch (s.Sp[0]) // Определение цвета звезды
    {
        case 'O':
        case 'B': color=LIGHTBLUE; break;
        case 'A': color=LIGHTCYAN; break;
        case 'F':
        case 'G': color=YELLOW; break;
        case 'K':
        case 'M': color=LIGHTRED; break;
        default: color=LIGHTGRAY;
    } // switch

    // Перевод экваториальных координат в радианы,
    // а затем в галактические координаты
    Galaxy(rad(s.RAdeg), rad(s.DEdeg), l, b);

    // Вычисление декартовых координат проекции Айтофа
    Aitoff(l, b, x, y);
    Screen(x, y, CX, CY, SC, u, v); // Перевод в экранные координаты

    // Поставить точку (можно заменить на круг, крест и т.п.)
    putpixel(u, v, color);
}; // if и while
ClearCriteria();
CloseHipparcosMain();
getch();
}

```

Листинг D 4.5. Формирование прямоугольных координат звезд

```

#define criteria "O-B5.TXT" // Имя файла критерия
#define list "O-B5.DAT" // Имя выходного файла

#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "hipmain.h"

main()
{
    int n = 0; // Счетчик

    THipparcos s;
    double r; // Расстояние
    double l, b; // Галактические координаты
    double x, y, z; // Декартовы галактические координаты
    FILE *f; // Файл вывода результатов

```

```

f=fopen(list, "wt");
OpenHipparcosMain();

printf("%d звезд в критерии.\n", InitCriteria(criteria));
// PrintList();

while (ReadHipparcosMain(&s))
{
    if (s.Info.NoPlx==1) continue; // нет данных о параллаксе
    if (s.Plx<=0.0) continue; // "плохое" значение параллакса
    if (s.sigma.Plx/s.Plx>0.5) continue; // низкая точность пар.

    if (InCelestia(s.HIP))
    {
        r=1000.0/s.Plx; // Вычисление расстояния в пк
        if (r>500.0) continue; // Отброс далеких звезд

        // Перевод в галактические координаты
        Galaxy(rad(s.RAdeg), rad(s.DEdeg), l, b);

        x=r*cos(b)*cos(l); // Вычисление прямоугольных
        y=r*cos(b)*sin(l); // галактических координат
        z=r*sin(b);

        fprintf(f, "%10.2lf %10.2lf %10.2lf\n", x, y, z); // Вывод в файл
        n++; // Увеличение счетчика на единицу
    };
}; // while

ClearCriteria();
CloseHipparcosMain();
fclose(f);
printf("%d звезд обработано.\n", n);
}

```

Приложение Е

Тексты программ на языке FORTRAN 90

Листинг Е 3.1. Модуль чтения каталога Hipparcos

```
MODULE HipMain
  IMPLICIT NONE

  ! Расположение полной версии каталога Hipparcos
  CHARACTER(*), PARAMETER :: HipparcosName = 'D:\HIP\hip_main.dat'
  INTEGER, PARAMETER :: HipNumOfStars = 118218 ! Число звезд

  INTEGER, PARAMETER :: u = 10 ! Номер файла

  TYPE THipparcos
    SEQUENCE
      INTEGER(4) :: HIP ! Номер звезды по Hipparcos

      ! Астрометрическая информация
      REAL(8) :: RAdeg, DEdeg ! экваториальные координаты в градусах
      REAL(8) :: Plx ! тригонометрический параллакс в mas
      REAL(8) :: pmRa, pmDE ! собственные движения  $ma \cdot \cos(d)$  и  $md$ 
      CHARACTER(1) :: AstroRef ! флаг для кратных систем

      ! Фотометрическая информация
      REAL(4) :: VMag ! Звездная вел. по шкале Джонсона
      REAL(4) :: B_V ! Показатель цвета B-V по шкале Джонсона

      ! Ошибки соответствующих величин
      REAL(8) :: sigma_RAdeg, sigma_DEdeg
      REAL(8) :: sigma_Plx
      REAL(8) :: sigma_pmRa, sigma_pmDE

      CHARACTER(10) Sp ! Развернутый спектральный класс

      LOGICAL NoRaDe ! Нет данных о точных координатах
      LOGICAL NoPlx ! Нет данных о параллаксе
      LOGICAL NoPm ! Нет данных о собственных движениях
      LOGICAL NoVMag ! Нет данных о звездной величине
      LOGICAL NoB_V ! Нет данных о показателе цвета
  END TYPE THipparcos

  CONTAINS

  SUBROUTINE OpenHipparcosMain ! Открытие файла каталога
    OPEN(u, file = HipparcosName)
  END SUBROUTINE OpenHipparcosMain
  SUBROUTINE CloseHipparcosMain ! Закрытие файла каталога
    CLOSE(u)
  END SUBROUTINE CloseHipparcosMain
```

```
LOGICAL FUNCTION ReadHipparcosMain(s) ! Чтение данных о звезде
  TYPE(THipparcos), INTENT(out) :: s
  CHARACTER(450) hs ! Запись строки каталога

  IF (EOF(u)) THEN
    ReadHipparcosMain=.false.
    RETURN
  ELSE
    ReadHipparcosMain=.true.
  END IF

  READ(u, '(A450)') hs ! Чтение одной строки каталога

  ! Сбрасываем флаги событий
  s.NoRaDe = .False.
  s.NoPlx = .False.
  s.NoPm = .False.
  s.NoVMag = .False.
  s.NoB_V = .False.

  ! Интерпретация с 12 байт, начиная с 3-го - это номер HIP
  read(hs(3:14),*) s.hip

  ! Чтение координат: по 12 байт с 52 и с 65 позиции
  ! Функция TRIM удаляет из строки пробелы, а LEN возвращает длину
  ! строки, соответственно, если это 0, то в строке только пробелы
  IF (LEN(TRIM(hs(52:63)))) == 0) THEN
    s.NoRaDe=.true.
    s.RAdeg=0.0 ! на всякий случай записываем 0
  ELSE
    READ(hs(52:63),*) s.RAdeg
  END IF

  IF (LEN(TRIM(hs(65:76)))) == 0) THEN
    s.NoRaDe=.true.
    s.DEdeg=0.0
  ELSE
    read(hs(65:76),*) s.DEdeg
  END IF

  ! Чтение параллакса - 7 байт с 80-й позиции
  IF (LEN(TRIM(hs(80:86)))) == 0) THEN
    s.NoPlx=.true.
    s.Plx=0.0
  ELSE
    read(hs(80:86),*) s.Plx
  END IF
```

```

! Чтение собственных движений: по 8 байт с 88 и с 97 позиции
IF (LEN(TRIM(hs(88:95))) == 0) THEN
  s.NoPM=.true.
  s.pmRA=0.0
ELSE
  read(hs(80:86),*) s.pmRA
END IF

IF (LEN(TRIM(hs(88:95))) == 0) THEN
  s.NoPM=.true.
  s.pmDE=0.0
ELSE
  read(hs(97:104),*) s.pmDE
END IF

s.AstroRef=hs(78:78) ! Флаг кратной звезды

! Чтение зв.величины и показателя цвета B-V по шкале Джонсона
IF (LEN(TRIM(hs(42:46))) == 0) THEN
  s.NoVMag=.true.
  s.VMag=0.0
ELSE
  read(hs(42:46),*) s.VMag
END IF

IF (LEN(TRIM(hs(246:251))) == 0) THEN
  s.NoB_V=.true.
  s.B_V=0.0
ELSE
  read(hs(246:251),*) s.B_V
END IF

! Данные об ошибках всегда есть, если присутствуют сами величины
IF (.NOT. s.NoRADE) THEN
  read(hs(106:111),*) s.sigma_RADeg
  read(hs(113:118),*) s.sigma_DEdeg
ENDIF

IF (.NOT. s.NoPlx) THEN
  read(hs(120:125),*) s.sigma_Plx
END IF

IF (.NOT. s.Nopm) THEN
  read(hs(127:132),*) s.sigma_pmRA
  read(hs(134:139),*) s.sigma_pmDE
END IF

s.Sp=hs(436:445) ! Чтение данных о спектральном классе

END FUNCTION ReadHipparcosMain

END MODULE HipMain

```

Листинг Е 3.2. Подсчет звезд без данных о координатах, собственных движениях и параллаксах

```

PROGRAM Test2
USE HipMain

INTEGER(4) :: NoCoord = 0 ! Счетчик звезд без точных координат
INTEGER(4) :: NoProp = 0 ! Счетчик звезд без собств. движений
INTEGER(4) :: NoPar = 0 ! Счетчик звезд без параллаксов

TYPE(THipparcos) :: s

CALL OpenHipparcosMain

DO WHILE (ReadHipparcosMain(s))

  ! Сравнение логических переменных
  IF (s.NoRADE) NoCoord= NoCoord+1
  IF (s.NoPm) NoProp = NoProp+1
  IF (s.NoPlx) NoPar = NoPar+1

END DO

CALL CloseHipparcosMain

print *, 'No coord ', NoCoord
print *, 'No PM ', NoProp
print *, 'No Par ', NoPar

read *, i

END PROGRAM Test2

```

Листинг Е 3.3. Вычисление распределения звезд по абсолютной звездной величине

```

PROGRAM AbsMagDistrib
USE HipMain

INTEGER, PARAMETER :: LOW = -12, HIGH=+12

TYPE(THipparcos) :: s;
INTEGER(4) :: a(-12:+12) ! статистика
INTEGER(4) :: i ! вспомогательная переменная
REAL(8) :: r ! расстояние
REAL(8) :: m ! абсолютная звездная величина

FORALL (i=-12:+12) A(i)=0

```

```

CALL OpenHipparcosMain();
DO WHILE (ReadHipparcosMain(s))
  IF (s.NoPlx) CYCLE ! нет данных о паралл.
  IF (s.Plx<=0.0) CYCLE ! неположительный параллакс
  IF (s.sigma_plx/s.plx>0.5) CYCLE ! точность хуже 50%
  r=1000.0/s.plx; ! Вычисление расстояния в пк
  m=S.VMag-5.0*log10(r)+5.0 ! Вычисл. абсолютной звезд. величины
  i=FLOOR(m+0.5) ! Определение индекса ячейки массива
  IF ( (i>=low) .and. (i<=high) ) a(i)=a(i)+1 ! ув.на 1
END DO
CALL CloseHipparcosMain()
PRINT '(I3,I1X,I7)', (i,a(i),i=-12,12)
READ *,i
END PROGRAM

```

Листинг Е 3.4. *Вычисление средней абсолютной звездной величины звезд, список которых находится в файле lumin.txt*

```

PROGRAM AVER
Use HipMain

TYPE (THipparcos) s
REAL(8) :: r ! расстояние
REAL(8) :: m ! абсолютная звездная величина
REAL(8) :: mav = 0.0 ! средняя абсолютная звездная величина
INTEGER(4) :: n = 0 ! количество подходящих звезд

CALL OpenHipparcosMain

! Инициализация критерия
print '(I6 " звезд в критерии.)', InitCriteria('lumin.txt')

DO WHILE (ReadHipparcosMain(s))

  IF (s.NoPlx) CYCLE ! нет данных о паралл.
  IF (s.plx<=0.0) CYCLE ! неположительный параллакс

  r=1000.0/s.plx ! Вычисление расстояния в пк
  m=S.VMag-5.0*log10(r)+5.0 ! Вычисл. абс. звезд. величины

  IF (inCelestia(s.HIP)) THEN ! Звезда в списке Celestia
    mav=mav+m ! накопление суммы абс. зв. величин
    n=n+1 ! суммирование числа звезд
  END IF
END DO

CALL ClearCriteria ! Очистка критерия
CALL CloseHipparcosMain
mav=mav/n ! Вычисление среднего значения
print '("Средняя абсолютная звездная величина ",F6.2,".)',mav
print '("Обработано ",I6," звезд.)',n
END PROGRAM

```

Листинг Е 3.5. *Исходный текст функций InitCriteria, InCelestia, ClearCriteria*

Добавления в раздел описаний модуля HipMain

```

INTEGER(4), ALLOCATABLE :: List(:)
INTEGER(4) :: NList = 0

```

Добавления в раздел процедур модуля HipMain

```

INTEGER(4) FUNCTION InitCriteria(name)
CHARACTER(*) :: name
INTEGER, PARAMETER :: t = 11 ! файл
INTEGER(4) :: i ! индекс для цикла do
OPEN(t, file = name, mode='read') ! Открываем файл
DO i=1,2 ! Пропуск двух первых строк
  READ(t,*)
END DO
READ(t,*)NList ! В третьей строке - количество звезд
PRINT *,NList
ALLOCATE(List(NList)) ! Выделение памяти под список
DO i=4,12 ! Пропуск с 4 по 12 строку
  READ(t,*)
END DO
DO i=1,NList ! Чтение номеров звезд
  READ(t,'(2X,I12)') List(i)
END DO
CLOSE(t)
InitCriteria=NList
END FUNCTION InitCriteria

! Очистка критерия
SUBROUTINE ClearCriteria
  DEALLOCATE(List)
  NList=0
END SUBROUTINE ClearCriteria

! Функция проверяет, есть ли звезда в списке
LOGICAL FUNCTION InCelestia(n)
INTEGER(4) :: n
INTEGER(4) :: i
InCelestia=.false. ! объект пока не найден
IF (NList==0) return ! если критерий не установлен - выход
DO i=1,NList ! обход звезд в цикле do
  IF (List(i)==n) THEN ! если звезда найдена в списке
    InCelestia=.true.
  END IF
  EXIT ! досрочно прервать цикл
END DO
END FUNCTION InCelestia

```


Листинги Е 4.1-4.3. Процедуры перевода координат и отрисовки координатной сетки (Перевод в экранные координаты не требуется, поскольку в стандартной библиотеке фортрана можно выбрать любую удобную декартову систему с вещественными значениями координат)

```

MODULE Projection
USE DFLIB

IMPLICIT NONE

REAL(8), PARAMETER :: PI = 3.1415926535897932384626433832795

CONTAINS

SUBROUTINE Aitoff(l,b,x,y)
REAL(8), INTENT(IN) :: l,b ! Сферические координаты в радианах
REAL(8), INTENT(OUT) :: x,y ! Декартовы координаты
REAL(8) :: s, l1 ! Вспомогательные переменные
IF (l>PI) THEN ! Приведение l в диапазон -Pi до +Pi
    l1=l-2*PI
ELSE
    l1=l
END IF
S=sqrt(1.0+cos(b)*cos(l1/2)) ! Знаменатель формул (4.1)
x=-2*cos(b)*sin(l1/2)/s
y=sin(b)/s
END SUBROUTINE Aitoff

REAL(8) FUNCTION radi(x) ! Перевод градусов в радианы
INTEGER, INTENT(IN) :: x
radi=x/180.0*PI
END FUNCTION radi

REAL(8) FUNCTION rad(x) ! Перевод градусов в радианы
REAL(8), INTENT(IN) :: x
rad=x/180.0*PI
END FUNCTION rad

SUBROUTINE AitoffGrid (Step,Gr)

INTEGER, INTENT(IN) :: Step ! Шаг сетки в градусах
LOGICAL, INTENT(IN) :: Gr ! Флаг - в градусах или в часах

INTEGER :: i,j ! Переменные циклов do
REAL(8) :: l,b ! Галактические координаты
REAL(8) :: x,y ! Декартовы координаты
CHARACTER(8) s ! Строка для подписей
INTEGER :: h ! Для разметки осей

```

```

TYPE (wxycord) wxу
INTEGER(2) :: status2
INTEGER(4) :: status4

! Нанесение сетки меридианов

status4 = SetColorRGB(#00FF00)

DO i=-180,+180,Step
l=radi(i) ! Перевод в радианы
DO j=-90,+90,5 ! Цикл построения вдоль меридиана
! Вычисление точки меридиана
b=radi(j) ! Перевод в радианы широты
CALL Aitoff(l,b,x,y) ! Перевод в декартовы координаты
! Если точка первая (j=-90), то помещаем графический курсор
! в точку (x,y) функцией MoveTo_W, если точка не первая, то
! "прочерчиваем" курсором линию из предыдущей точки
! в точку (u,v) функцией LineTo_W.
IF (j== -90) THEN
CALL MoveTo_W(x,y,wxy)
ELSE
status2=LineTo_W(x,y);
END IF
END DO ! j
END DO ! i

! Нанесение сетки параллелей - аналогично предыдущему
DO j=-90,+90,Step
b=radi(j)
DO i=-180,+180,5 ! цикл построения вдоль параллели
l=radi(i)
CALL Aitoff(l,b,x,y);
IF (i== -180) THEN
CALL MoveTo_W(x,y,wxy)
ELSE
status2=LineTo_W(x,y)
END IF
END DO ! i
END DO ! j

status2=SetFont('t''Arial''h10')
status4 = SetColorRGB(#FFFFFF)

! Подписи меридианов вдоль экватора
DO i=-180,+180,Step
! Вычисление координаты точки вывода надписи
l=Radi(i);
CALL Aitoff(l,0.0_8,x,y)
! Если Gr истина, то разметка в градусах, иначе - в часах
IF (Gr) THEN
h=i
ELSE
h=i/15

```

```

    IF (h<0) h=h+24;
  END IF
  write(s,'(I4)') h ! Преобразование значения h в текст. строку
  Call MoveTo_W(x, y, wxy)
  Call OUTGTEXT(s)
END DO

! Подписи параллелей вдоль нулевого меридиана - аналогично
DO j=-90,+90,Step
  IF (j /= 0) THEN ! Экватор не подписываем
    b=Radi(j);
    CALL Aitoff(0.0_8,b,x,y)
    write(s,'(I4)') j
    Call MoveTo_W(x, y, wxy)
    Call OUTGTEXT(s)
  END IF
END DO
END SUBROUTINE AitoffGrid

SUBROUTINE Galaxy(a,d,l,b)
REAL(8), INTENT(in) :: a,d
REAL(8), INTENT(out) :: l,b
REAL(8) :: a1,sa,ca,sd,cd

REAL(8), PARAMETER :: Leo = 4.936829261 ! 282.85948083
REAL(8), PARAMETER :: L0 = 0.57477039907 ! 32.931918056
REAL(8), PARAMETER :: si = 0.88998807641 ! sin 62.871748611
REAL(8), PARAMETER :: ci = 0.45598379779 ! cos 62.871748611

a1=a-Leo
sa=sin(a1); ca=cos(a1)
sd=sin(d); cd=cos(d)
b=asin(sd*ci-cd*si*sa)
l=atan2(sd*si+cd*ci*sa,cd*ca)+L0

END SUBROUTINE Galaxy

END MODULE

```

Листинг Е 4.4. Построение распределения звезд по небесной сфере

```

Program Main

USE DFLIB
USE HipMain
USE Projection
IMPLICIT NONE

! Физическое разрешение окна
INTEGER, PARAMETER :: MaxX = 1000, MaxY = 500

REAL(8), PARAMETER :: LowX = -2.1 , LowY = -1.05 ! Логические
REAL(8), PARAMETER :: HighX= +2.1 , HighY= +1.05 ! координаты

REAL(8) :: l, b ! Галактические координаты
REAL(8) :: x, y ! Декартовы координаты

LOGICAL :: status1 ! Вспомогательные величины
INTEGER(2) :: status2
INTEGER(4) :: status4

INTEGER(4) :: color ! Цвет звезды

TYPE(THipparcos) :: s

TYPE(windowconfig) :: wc ! Свойства графического окна
TYPE(wxycoord) :: wxy ! Вспомогательная величина

wc.numxpixels = MaxX ! Заполнение структуры свойств окна
wc.numypixels = MaxY
wc.numtextcols = -1
wc.numtextrows = -1
wc.numcolors = -1
wc.title = "Aitoff"C
wc.fontsize = #0008000C ! 10 X 12

status1 = SETWINDOWCONFIG(wc) ! Инициализация графики
IF (.NOT. status1) status1 = SETWINDOWCONFIG(wc)
status2=SetWindow(.TRUE.,LowX, LowY, HighX, HighY)
status2=INITIALIZEFONTS( )

CALL AitoffGrid(30,.TRUE.)

CALL OpenHipparcosMain() ! Открытие каталога и
status4=InitCriteria('I-II.txt') ! инициализация критерия

do while (ReadHipparcosMain(s)) ! Цикл чтения звезд
  IF (inCelestia(s.HIP)) THEN ! Проверка критерия

```

```

SELECT CASE(S.SP(1:1)) ! Определение цвета звезды
CASE ('O')
  color = RGBTOINTEGER(90,64,255)
CASE ('B')
  color = RGBTOINTEGER(128,128,255)
CASE ('A')
  color = RGBTOINTEGER(255,255,255)
CASE ('F')
  color = RGBTOINTEGER(255,255,128)
CASE ('G')
  color = RGBTOINTEGER(255,230,40)
CASE ('K')
  color = RGBTOINTEGER(255,160,0)
CASE ('M')
  color = RGBTOINTEGER(255,0,0)
CASE default
  color=0
END SELECT

! Перевод экваториальных координат в радианы,
! а затем в галактические координаты
CALL Galaxy(rad(s.RADeg),rad(s.DEDeg),l,b)
! Вычисление декартовых координат проекции Айтофа
CALL Aitoff(l,b,x,y)
! Поставить точку (можно заменить на круг)
status4=SetPixelRGB_w(x,y,color)

END IF
END DO

CALL ClearCriteria()
CALL CloseHipparcosMain()

! Сохранить изображение в файле
status4=SaveImage("Aitoff.bmp"с,0,0,MaxX-1,Maxy-1)

END PROGRAM

```

Листинг Е 4.5. Формирование прямоугольных координат звезд

```

PROGRAM Main

USE HipMain
IMPLICIT NONE

CHARACTER(*),PARAMETER :: Criteria='O-B5' ! Имя файла критерия
INTEGER(4) :: n = 0 ! Счетчик
Type (THipparcos) :: s
REAL(8) :: r ! Расстояние
REAL(8) :: l, b ! Галактические координаты
REAL(8) :: x,y,z ! Декартовы галактические координаты
INTEGER, PARAMETER :: f = 14 ! Файл вывода результатов

OPEN(f, file=Criteria // '.DAT')

CALL OpenHipparcosMain()

! Файл списка звезд имеет расширение .TXT
PRINT "(I6,' звезд в критерии')",InitCriteria(Criteria//'.txt')

do while (ReadHipparcosMain(s))
  IF (s.NoPlx) CYCLE ! нет данных о паралл.
  IF (s.plx<=0.0) CYCLE ! "плохое" значение параллакса
  IF (s.sigma_plx/s.plx>0.5) CYCLE ! низкая точность пар.

  IF (inCelestia(s.HIP)) THEN
    r=1000.0/s.plx ! Вычисление расстояния в пк
    IF (r>500.0) CYCLE ! Отброс далеких звезд
    ! Перевод в галактические координаты
    CALL Galaxy(rad(s.RADeg),rad(s.DEDeg),l,b)
    x=r*cos(b)*cos(l) ! Вычисление прямоугольных
    y=r*cos(b)*sin(l) ! галактических координат
    z=r*sin(b)
    write(f,'(3F10.2)'), x,y,z ! Вывод в файл
    n=n+1 ! Увеличение счетчика на единицу
  END IF
END do

CALL ClearCriteria()
CALL CloseHipparcosMain()
Close(f)
print '(I6,"звезд обработано.")',n
END PROGRAM

```

Оглавление

Глава I. Общие сведения о проекте Hipparcos	3
Система каталогов Hipparcos и Tycho	4
Входной каталог	6
Обозначения и размерности астрометрических параметров	7
Вариационно-ковариационные данные и корреляции	9
Преобразование астрометрических данных	10
Фотометрические системы каталогов Tycho и Hipparcos	13
Глава II. Программное обеспечение каталогов Hipparcos и Tycho – Celestia 2000	15
Меню <i>Criterion</i>	–
Меню <i>Sample</i>	22
Меню <i>Object</i>	23
Меню <i>Local chart</i>	26
Меню <i>Global chart</i>	29
Меню <i>Text output</i>	31
Меню <i>Configuration</i>	32
Меню <i>Window</i>	32
Меню <i>File</i>	33
Меню <i>Help</i>	33
Глава III. Работа с ASCII версией каталога Hipparcos	35
Чтение полной версии каталога	–
Постановка задачи	36
Использование собственных критериев отбора звезд	44
Использование номеров звезд, сгенерированных программой Celestia, в пользовательских программах	46
Глава IV. Построение распределения звезд Hipparcos на небесной сфере и в пространстве	51
Распределение звезд по небесной сфере	–
Распределение звезд в пространстве	59
Глава V. Диаграмма Герцшпрунга–Рессела	62
Упражнения к главам II–V	66
Приложение А. Сокращенное описание содержания каталога Hipparcos	67
Приложение В. Документация космического проекта Hipparcos	76
Приложение С. Содержание Hipparcos и Tycho ASCII CD-ROM	78
Приложение D. Тексты программ на языке C	79
Приложение E. Тексты программ на языке FORTRAN 90	91

Учебное издание

Александр Станиславович Цветков

РУКОВОДСТВО ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ
С КАТАЛОГОМ HIPPARCOS

Учебно-методическое пособие

Зав. редакцией *Г.И.Чердниченко*
Оформление обложки *Е.А.Соловьевой*
Оригинал-макет *А.С.Цветкова*

Подписано в печать с оригинала-макета 31.01.2005.
Ф-т 60x84/16. Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 50 экз.
Заказ №

РОПИ С.-Петербургского государственного университета.
199034, С.-Петербург, Университетская наб., 7/9.

ЦОП типографии Издательства СПбГУ.
199061, С.-Петербург, Средний пр., 41.