

МЕЂУНАРОДНИ ПРОГРАМИ МЕРИДИЈАНСКИХ ПОСМАТРАЊА ЗВЕЗДА

СОФИЈА САЦАКОВ И ЗОРИЦА ЦВЕТКОВИЋ

Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11050 Београд

Резиме. Овај рад даје преглед новијих међународних програма меридијанских посматрања звезда који су реализовани на многим опсерваторијама у свету. Добијени резултати ће послужити за извођење инерцијалног координатног система који ће се користити и у астрономији и у сродним научним дисциплинама.

1. Увод

У последње време спектар астрометријских програма се сузио. Од „науке о мерењу углова на небеској сфери“ преко „науке о простору и времену“ данас се астрометрија најјасније карактерише овом дефиницијом: астрометрија је наука која се бави проучавањем геометријских и кинематичких карактеристика појединих небеских тела, њихових група, као и свемира у целини (Јацкив, 1983); или астрометрија је наука која одређује положаје, кретања, величине и геометрију небеских тела, а такође и растојања до њих.

Астрометрија је фундамент астрономије. Она даје систем небеских координата високе тачности, скалу растојања у васиони и усаглашен систем астрометријских констаната.

Велики број података, добијен из астрометријских посматрања, користи се у звезданој астрономији за проучавање структуре, кинематике и динамике звезда, звезданих система и галаксија, а у небеској механици ради усаглашавања теорије кретања тела Сунчевог система (Абалакин, 1980; Зверев, 1978; Подобед и Несеров, 1982).

Астрометријска испитивања снабдевају сродне науке за њихове практичне потребе свим неопходним подацима о обртању Земље, положајима тела у Сунчевом систему, дефинишу упоришне координатне системе који се користе у картографији, навигацији, итд. Астрометрија је тесно повезана са гравиметријом, бави се одређивањем координата небеских тела у простору, проучавањем њиховог трансляторно-ротационог кретања на основи посматрања и то махом са Земљине површине. Ротационо кретање планете зависи од њеног облика и унутрашње структуре.

Обрада астрономских посматрања је немогућа без коришћења резултата и метода из гравиметрије и небеске механике, пошто су оне тесно повезане преко астрономских константи и астрометријских посматрања.

У епохи активног освајања космичког пространства, практична улога астрономије се из године у годину повећава, па практичне потребе стимулишу развој фундаменталних астрометријских истраживања. Неки сматрају астрометрију једном од конзервативних области астрономије. Међутим, ситуација се последњих година из корена променила и то захваљујући:

1. појави нових идеја у астрометрији у вези са коришћењем далеких објеката у Васиони, посматрања помоћу вештачких Земљиних сателита, радиолокационих мерења растојања до Месеца, планета и вештачких земљиних сателита;
2. појави нове технике великих могућности;
3. примени рачунара и других аутоматизованих прибора за обраду посматрања;
4. примени нових астрометријских метода у новим областима астрономије;
5. широкој међународној сарадњи у остваривању крупних астрометријских пројеката.

Подела астрометрије је учињена према задацима, методама, објектима, пољем вида, дијапазонима електромагнетног зрачења и његових пријемника.

2. Координатни системи

Важан проблем у астрометрији је дефинисање координатног система, који треба да омогући проучавање кретања тела Сунчевог система и других објеката у Васиони са што већом поузданошћу тј. тежином. Централно место при решавању овог проблема је избор упоришних објеката који ће омогућити да се одреде правци оса и координатни почетак.

Први задатак у астрометрији је одређивање релативних положаја и кретања небеских тела у простору у односу на унапред задати координатни систем. При томе, слика кретања у знатној мери добија у једноставности, прегледности и постојању лаким и прегледних математичких рачуна. Такви системи у физици и астрономији су повезани са физичким телима. Та веза претпоставља да се растојања покорављају законима Еуклидске геометрије, при чему се сама растојања физички одређују двема тачкама на чврстом телу.

Главни захтеви који се постављају при реализацији основног координатног

система на савременом нивоу развита астрономије и геодинамике су:

1. систем треба да је строго и једнозначно дефинисан, при чему коришћене методе треба да су просте и методолошки независне;
2. задавање и постојање основног координатног система по могућности не треба да зависи од астрофизичких и геофизичких хипотеза;
3. тачност дефинисања координатног система треба да износи око $0''.001$ тј. $5 \cdot 10^{-9}$ радиана, што на површини Земље износи неколико cm ;
4. кретање Земљиног координатног система треба да је што ближе обртном кретању Земље у целини у односу на инерцијални референтни координатни систем.

У пракси реализација инерцијалног координатног система није строга, али са гледишта теорије релативитета је веома погодна за проучавање кретања у границама сунчевог система, па шта више и Галаксије. Оваква концепција инерцијалног координатног система је корисна и за савремену небеску механику.

За разлику од класичног прилаза решењу овог проблема, да би се постигла висока тачност одређивања величина (мања од 10^{-8} радиана) неопходно је обрачунавати мале „релативистичке поправке“ у формулама за редукацију, где се обично примењују. Таква тачност омогућава реализацију инерцијалног координатног система са тачношћу 10^{-8} до 10^{-9} и на тај начин се задовољава савремени захтев фундаменталних и примењених испитивања у астрономији, геодинамици и другим сродним наукама.

У садашње време најраспрострањенијом реализацијом инерцијалног координатног система сматра се онај систем чије су координатне осе одређене положајима звезда. Систем се материјализује у виду екваторских координата и сопствених кретања звезда у фундаменталном каталогу и зове се *reference frame*. Да би се обрачунало сложено кретање посматрача у простору уводи се динамички (везан за Земљу) координатни систем. Положаји основних равни тога система — екватора и еклиптике — дају се на основу теорије транслаторно ротационог кретања Земље. Проучавање Земљине ротације у односу на инерцијални координатни систем захтева познавање константе прецесије, чија се вредност изводи из посматрања.

Познавање сопствених кретања омогућава да се одреде положаји оса инерцијалног координатног система за било коју дату епоху посматрања.

Астрометрија проучава кретања свих небеских објеката почев од Земље и вештачких сателита до квазара и галаксија. Ови се објекти разликују по сјају, геометријским и кинематичким особинама, па се и за одређивање њихових координата примењују различите методе и средства посматрања, као и упоришни системи. О њима ће бити говора на другом месту.

3. Велики каталози реализовани у другој половини XX века

На многим астрономским опсерваторијама у свету продужена је пракса израде звезданих каталога који обухватају велики број звезда из разних предложених и усвојених спискова Међународних астрономских институција.

У Брорфелду (Brorfelde), на меридијанском кругу са фотографским читавањем круга, израђен је каталог од 6 427 звезда (1969-1975) сјајнијих од 11 привидне величине из списка NPZT, FK4 Sup, звезда O и B даљине до 20 парсека са великим брзинама и слабије (по привидној величини) него у GC, из асоцијација и звезда око њих. Упорне звезде су узете из FK4. Средња квадратна грешка једног положаја по ректасцензији износи $0''.086$, а по деклинацији $0''.104$. Средњи број посматрања је 5. За боље повезивање са упоришним системом извршено је допунско изравнавање (Helmer and Fogh Olsen, 1982).

После модернизације круга, постављањем фотоелектричног микрометра са покретном решетком, добијен је тзв. Carlsberg Automatic Meridian Circle – САМС. У периоду 1981-1982. године са њим је посматрано 1577 звезда до 11 привидне величине. У тај програм је укључено 425 звезда из FK4 које су биле упоришне за тај програм: 167 звезда из AGK3 из зоне $+88^\circ$ до $+89^\circ$, 115 звезда око северног пола Галаксије, као и звезде FZT, GC, упоришне звезде из околине радиоизвора из претходних програма рађених на овом инструменту. Средња квадратна грешка једног посматрања износи $\pm 0''.0138$ и $\pm 0''.216$ (Helmer et al., 1983).

Други каталог добијен на САМС урађен је у периоду 1982-1983. године. Каталог садржи 1071 звезду и то: 146 из AGK3 из зоне $+88^\circ$ до $+89^\circ$, 68 звезда из околине северног пола Галаксије, звезде програма FZT, упоришне звезде из околине радиоизвора. Упорне звезде из FK4 нису укључене у општи списак. Тачност одређивања је иста као и у првоме каталогу (Helmer et al., 1984). Овај меридијански круг је монтиран на опсерваторији на острву Ла Палма (La Palma), и у периоду од 1. маја до 12. децембра 1984. године испосматрано је 35 154 пролаза 5 292 звезде и то: 2 369 звезда из AGK3R, 1296 SRS, 838 упоришних звезда од 11 до 13 привидне величине у области $1^\circ \times 1^\circ$ у околини радиоизвора из списка МАУ, 227 звезда списка FZT, 406 звезда из каталога AGK3, 139 звезда из каталога SAO. Средња квадратна грешка једног посматрања износи: $\epsilon_\alpha \cos \delta = \pm 0''.193 \text{ secz}$, $\epsilon_\delta = \pm 0''.184 \text{ secz}$. На зенитној даљини $z=30^\circ$ тачност је иста као и у Брорфелду, али је број посматрања већи.

На астрономској опсерваторији Серо-Калан (Cerro-Calán) у Чилеу урађено је доста каталога помоћу разних инструмената. Апсолутни пулковски каталог ректасцензија јужног неба тзв. SPu71 испитан је са циљем откривања, а и отклањања необрачунатих систематских и случајних грешака. Формиране су једначине за одређивање поправака коефицијената редукционих формула Бесела за свако посматрачко вече. Рачунајући поправке дошло се до закључка да су оне занемарљиве, што указује да у каталогу нема великих систематских грешака. У процесу испитивања добијена је друга верзија каталога, тачнија у случајном погледу (Варина, 1984). Из посматрања на меридијанском кругу Репсолда (Repold) у периоду 1963-1970. године добијена су два каталога. За први је добијено 18 583 мерених података за 2 756 звезда SRS, 336 звезда BS и 215 упоришних звезда из FK4 у зони од -20° до -40° . Систем инструмента одређен је из 59 серија упоришних звезда са 1936 мерених података у зони од $+41^\circ$ до -88° . Средња квадратна грешка одређивања тачке екватора била је $\pm 0''.33$ (Carrasco, 1978).

Други каталог који су урадили пулковски астрономи односи се на класични начин посматрања и то релативном методом, док је обрада урађена квази апсолутном методом, а поправке су се уводиле само за звезде FK4. Извршена су детаљна испитивања и анализе добијених резултата. Каталогски који садрже ректасцензије дати су у инструменталном систему који је реализован квазиапсолутном методом, док су каталози деклинација дати у систему FK4. Каталог SRS садржи 5 491 звезду, од тога 828 звезда из BS, 356 звезда из DS, док су програмске звезде узете из зоне од -50° до -80° , тј. појаса интересантног за одређивање координата поменутих звезда. Средње квадратне грешке упоришних звезда износе $\pm 0''.015$ и $\pm 0''.39$, а код програмских $\pm 0''.018$ и $\pm 0''.41$ (Батурина et al., 1986; Зверев et al., 1983).

Са меридијанским кругом „Ејри“ („Airy“) Гринич (Greenwich) опсерваторије у периоду 1942 - 1954. године вршена су посматрања звезда на основи којих је израђен и публикован њихов последњи каталог. На овом инструменту посматрања су прекинута 30. марта 1954. године. Посматрачки подаци су обрађени апсолутном методом. Каталог садржи осим 255 фундаменталних звезда и 255 звезда из FZT Херстмонсо (Herstmonceaux), 76 звезда близу пола које су посматране и у горњој и у доњој кулминацији (Tucker et al., 1983a).

У Херстмонсоу, на меридијанском кругу Кук (Cooke) који је донет са Гринич опсерваторије (Tucker et al., 1983b), добијена су прва три апсолутна каталога која се базирају на 76 азимуталних и 235 часовних звезда из фундаменталног каталога FK4.

Звезде за каталог $1H_z50$ су посматране у периоду 1957-1961. године и он садржи 18 114 звезда. Од тога броја су 835 из FK4, 1408 из FK4 Sup, 13 803 из AGK3R, 635 из разних спискова FZT, 1045 из Блау (Blaauw) списка, 37 двојних звезда из FK3 које нису ушле у FK4.

Други каталог $2H_z50$ рађен је у периоду 1961-1969. године, садржи 816 других звезда из FK4, 1352 из FK4 Sup, 5 866 звезда заједничког каталога радијалних брзина GCRV (ради побољшања њихових сопствених кретања), 325 променљивих звезда и звезда око квазара, двојних звезда из FK3 које нису ушле у FK4 и неколико других. Каталог садржи укупно 8 736 звезда.

Трећи каталог $3H_z50$ садржи 835 других звезда из FK4, 3 539 из каталога Wash 50 Zod, 1715 NPZT, 251 променљиву звезду из GCRV и др. Каталог садржи укупно 6 728 звезда.

На Вашингтонском (Washington) 6'' меридијанском кругу у периоду од 1963-1971. године посматрано је апсолутном методом 14 916 звезда и добијен каталог који носи ознаку W_{50} . У његов састав су ушле 1147 звезда из FK4 (од тога броја је 203 часовних, 34 азимуталних, 98 рефракционих, 812 других), 3 681 сјајних звезда BS (укључујући 1409 из FK4 Sup), 154 звезде у околини радиоизвора, 9 631 звезда програма SRS, 141 звезда из програма Вашингтон и Ричмонд (Washington и Richmond) FZT, 121 угљенична звезда и 33 звезде са великим сопственим кретањима (Hughes and Scott, 1982).

4. Каталогски специјалних програма

У специјалне програме спада израда каталога сјајних звезда (Bright Stars – BS), звезда велике луминозности (High Luminosity Stars – HLS), двојних звезда (Double Stars – DS), зодијакалних звезда (Zodiacal Stars – ZS), звезда близу пола и других.

Положаји 1956 сјајних звезда (BS) у зони $+15^\circ$ до $+90^\circ$ добијени су из посматрања у периоду 1972–1975 године са меридијанским кругом Кијевског института у систему FK4 (Чернега et al., 1982).

Одређени су положаји (деклинације) 200 сјајних звезда и 51 цефеиде коришћењем посматрачког материјала добијеног са меридијанским кругом Репсолда у периоду 1974–1979 године у систему FK4 (Оборнева, 1982).

Звезде програма BS, из списка који је усвојен од МАУ, посматране су још и на опсерваторијама Серо-Калан, Херстмонсо и Вашингтон.

У низу каталога ректасцензија добијен је каталог из посматрања на опсерваторији у Мелбурну (Melbourne), а мерења су обрађена у Пулкову, списка Баклунд-Хоф (Backlund-Hough) у зони $+32^\circ$ до -90° од 2 256 звезда. Посматрања су извршена са меридијанским кругом Трутон и Симс (Troughton and Simms) у периоду 1928–1941. године (Тавастшерна, 1981).

У вези са повећаним интересом за звезде велике луминозности и цефеидама израђен је каталог од 3 071 звезде у ГАИШ-у. Посматрања поменутих звезда су вршена са меридијанским круговима у Русији (Каримова и Павловская, 1985).

Звезде програма HLS посматране су у Бромфелду, Херстмонсоу, Токију са меридијанским круговима у периоду 1971–1979. године (Yasuda et al., 1986).

Са меридијанским кругом Николајевске опсерваторије у периоду 1969–1972. године посматрано је 9 580 зодијакалних звезда у зони $\pm 15^\circ$ (Гордон et al., 1982). На Николајевском зонском астрографу се врше посматрања 190 000 звезда у зони $\pm 10^\circ$ до 12 привидне величине (Калихевич, 1981).

У последње време интерес за испитивање двојних звезда иде у два правца: 1) тесне двојне звезде, интересантне за астрофизичка испитивања; 2) визуелна посматрања, ради одређивања положаја и сопствених кретања, што је немогуће фотоелектричном регистрацијом пролаза звезда (Зверев, 1981; Сацаков et al., 1982).

Списак DS садржи 2 291 двојну звезду и реализован је на доста опсерваторија у виду звезданих каталога (Головко, 1982; Таубер, 1986; Чернега et al., 1987; Мялковский, 1988; Павленко, 1989; Сацаков и Дачић, 1990; Яценко et al., 1991).

На универзитетској опсерваторији у Бордоу (Bordeaux) са екваторијалом Готије (Gautier) добијене су три серије посматрања координата двојних и вишеструких звезда: 197, 194 и 192 система. Упоришне звезде узете су из каталога AGK3R и SAO (Soulie, 1983, 1984, 1985).

У вези са пројектом Hipparcos урађени су каталози који садрже двојне, тројне, четвороструке и вишеструке звезде и то: 56 400, 4 400, 1000 (Dommangeat, 1983).

Одређене су екваторске координате компоненти тројних звезда Основног каталога астрометријског сателита Hipparcos.

Референце

- Абалакин, В. К.: 1980, *Геодинамика и астрометрија*, Киев, Наук. думка, 130-136.
- Батурина, Г. Д., Бедин, В. С., Гневышева, К. Г., Зверев, М. С., Наумова, А. А., Плюгина, А. И., Положенцев, Д. Д., Положенцева, Т. А., Степанова, Е. А.: 1986, *Труды ГАО в Пулковџе*, 86, 4-158.
- Carraasco, G.: 1978, *Modern Astrometry*, IAU Colloq. 48, Vienna, 455-461.
- Чернега, Н. А., Грегуль, А. Я., Тельнюк-Адамчук, В. В., Дрофа, В. К., Маркаренко, И. Ф., Калинин, А. М.: 1982, *Положение ярких звезд*, Киев, Наук. думка.
- Чернега, Н. А., Грегуль, А. Я., Молотай, А. А., Канивец, Н. Д.: 1987, *Положения двойных звезд*, Деп. в Укр. НИИНТИ.
- Dommanget, J.: 1983, *Bull. inf. Cent. données stellaires*, 24, 83-90.
- Головко, Б. А.: 1982, *Каталог склонений 529 звезд списков DS и HLS*, Деп. в ВИНТИ.
- Гордон, Я. Е., Горель, Л. Ф., Хруцкая, Е. В.: 1982, Рук. деп. в ВИНТИ Но. 6368-82 и 6369-82.
- Helmer, L., Fogh Olsen, N. J.: 1982, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 49, No.1, 13-60.
- Helmer, L., Fabricius, C., Einicke, O. H., Thoburn, C.: 1983, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 53, No.2, 223-245.
- Helmer, L., Fabricius, C., Einicke, O. H., Thoburn, C.: 1984, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 55, No.1, 87-102.
- Hughes, J. A., Scott, D. K.: 1982, *Publ. U.S. Naval Obs.*, sec. ser. vol. XXIII, pt.III, 165-481.
- Калихевич, Ф. Ф.: 1981, *Астрометр. исслед.*, Киев, Наук. думка, 87-90.
- Каримова, Д. К., Павловская, Е. Д.: 1985, *Труды ГАИШ*, 57, 245-247.
- Мялковский, М. И.: 1988, *Каталог склонений 250 звезд программы DS*, Деп. в Укр. НИИНТИ.
- Оборнева, А. Г.: 1982, *Труды ГАИШ*, 51, 216-233.
- Павленко, Л. С.: 1989, *Каталог прямых восхождений 292 двойных звезд в зоне +50 - +70 по наблюдениям в Харькове в 1980-84 гг.*, Деп. в Укр. НИИНТИ.
- Подобед, В. В., Нестеров, В. В.: 1982, *Общая астрометрија*, Наука, Москва.
- Сацаков, С., Дачић, М., Шалетић, Д.: 1982, *Hvar Observ. Bull.*, 6, No.1, Суппл., 101-105.
- Сацаков, С., Дачић, М.: 1990, *Publ. Obs. Astron. Belgrade*, 38, 1.
- Soulie, G.: 1983, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 54, No.2, 281-291.
- Soulie, G.: 1984, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 56, No.3, 351-361.
- Soulie, G.: 1985, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 61, No.1, 17-25.
- Тавастерна, К. Н.: 1981, *Труды ГАО в Пулковџе*, 84, 61-118.
- Таубер, В. Г.: 1986, *Труды ГАИШ*, 63, 146-167.
- Tucker, R. H., Buontempo, M. E., Gibbs, P., Swifte, R. H.: 1983a, *Royal Greenwich obs. Bull.*, 187.

- Tucker, R. H., Buontempo, M. E., Gibbs, P., Swifte, R. H.: 1983b, *Royal Greenwich obs. Bull.*, 189.
- Варина, В. А.: 1984, *Иzv. ГАО в Пулково*, 202, 21-24.
- Yasuda, H., Hisao, H., Fukaya, R., Ishii, H.: 1986, *Ann. Tokyo Astron. Observ.*, 21, No.1, 107-126.
- Яценко, А. Ю., Ванчушкина, Н. П., Тохтацьева, Л. Р.: 1991, *Иzv. АОЭ*, 56, 124-151.
- Яцкив, Я. С.: 1983, *Астрометрия и астрофизика*, 49, 3-9.
- Зверев, М. С.: 1978, *Астрометрия и небесн. механ.*, 93-107.
- Зверев, М. С.: 1981, *Астрометр. исслед.*, Киев, Наук. думка, 79-82.
- Зверев, М. С., Батурина, Г. Д., Гневьшева, К. Г., Наумова, А. А., Положенцев, Д. Д.: 1983, *А. Ж.*, 60, в. 5, 1022-1025.

**INTERNATIONAL PROGRAMS OF MERIDIAN OBSERVATION
OF STARS**

SOFIJA SADŽAKOV AND ZORICA CVETKOVIĆ

Astronomical Observatory, Volgina 7, 11050 Belgrade

Abstract. This is a review of new international programs of meridian observation of stars, performed at various observatories throughout the world. The results can be used for the establishment of an inertial reference system which will be used in astronomy and related sciences.