

ЗВЕЗДАНИ СИСТЕМИ

СЛОБОДАН НИНКОВИЋ

Астрономска опсерваторија, Волгина 7, 11050 Београд

Резиме. Дат је један преглед садашњег стања истраживања на пољу звездане астрономије намењен, пре свега, студентима као читалачкој публици. Звездана астрономија се дефинише као општа наука о звезданим системима, али без укључивања космологије (проучавање васионе као целине). Констатује се да проблематика ни из далека није исцрпљена, као и да постоје услови за развој звездане астрономије код нас.

1. Увод

Под звезданим системима подразумевају се скупови звезда које су међусобно физички повезане. Поменути физичка веза може бити изражена на различите начине, међутим, увођењем овог појма елиминише се могућност сврставања међу звездане системе неких произвољних или случајних скупова звезда као што су, на пример, сазвежђа. По правилу се поменути физичка повезаност не може замислити без међусобног гравитацијског привлачења. Оно, разуме се, увек постоји, али, као што је добро познато, привлачна сила опада са растојањем (и то са квадратом), па зато у многим случајевима није од значаја. Посебну врсту звезданих система чине *гравитацијски везани системи*, а с обзиром да се код ових система запажа одређена хијерархија, можемо их још звати *хијерархијски звездани системи*. Када се за један звездани систем каже да је гравитацијски везан, онда то значи да је његова укупна механичка енергија у односу на центар маса негативна, тј. да апсолутна вредност укупне потенцијалне енергије (енергије узајамног гравитацијског привлачења) премашује укупну кинетичку енергију система. У поменутој хијерархијској лествици најниже место зау-

зимају двојне и вишеструке звезде, а највише галаксије. Вишеструке звезде, а такође и звездана јата, се обично срећу као чланови појединих галаксија. С друге стране, постоје већи системи од галаксија, али су то већ *системи галаксија* у које појединачне звезде улазе преко својих матичних галаксија. Међу њима се такође јавља хијерархија: двојне галаксије - групе галаксија - јата галаксија (о овој хијерархији биће још речи у одељку о вангалактичкој астрономији).

Грана астрономије која се бави проучавањем звезданих система назива се *звездана астрономија*. Треба рећи да има и других дефиниција звездане астрономије, рецимо да је то област која се бави проучавањем само нашег звезданог система - Галаксије или Млечног пута (на пр. Куликовски (Куликовский), 1985), док опет неки други аутори (на пр. Зон и Рудњицки (Зонн и Рудницкий), 1959) у звездану астрономију укључују и космологију. Писац овог прилога сматра да космологију не треба укључивати у звездану астрономију због специфичности њеног предмета проучавања који је ставља у положај неке „круне“ астрономских дисциплина, а што у себе укључује комплексност космологије. Треба још, свакако, поменути да за разлику од космологије, где је примена опште теорије релативности скоро неизбежна, у звезданој астрономији (проучавању звезданих система) сва физика гравитације своди се практично на Њутнов закон и оно што из њега проистиче.

У проучавању сваког звезданог система јављају се неке карактеристичне фазе, као што су: *статистика* (анализа положаја и физичких карактеристика), *кинематика* (анализа брзина), *динамика* (поље сила у систему) и *еволуција*. Из оваквог разматрања природно проистиче гранање звездане астрономије на поменуте четири дисциплине као њене опште дисциплине.

Проучавање конкретних звезданих система и њихова горепоменута хијерархија пружа могућност за једну другачију поделу звездане астрономије на: *субгалактичку*, *галактичку* и *вангалактичку астрономију*. Субгалактичка астрономија би обухватала проучавање звезданих система као што су вишеструке звезде и звездана јата, а који улазе у састав галаксија. Галактичка астрономија за област проучавања има нашу Галаксију (Млечни пут), а вангалактичка астрономија се бави другим галаксијама и њиховим системима.

Пионирима звездане астрономије на нашем тлу могу се сматрати И. Атанасијевић и Ј. Милоградов-Турин са Београдског универзитета. Из њиховог пера потиче и први приручник из ове области на нашем језику (на пр. друго издање - Атанасијевић и Милоградов-Турин, 1974 - прво се појавило око десет година раније). Касније је објављен још један приручник на енглеском језику (Атанасијевић, 1971). У данашње време звезданом астрономијом бави се више наших стручњака са Београдске опсерваторије и универзитета. Подручја њиховог рада су различита - од посматрања вишеструких звезда до теоријског проучавања наше Галаксије и Локалне групе галаксија са различитих аспеката, укључујући ту и међузвездану материју и њено зрачење; досада су на Београдском универзитету одбрањене три докторске дисертације из области звездане астрономије. На Београдском универзитету постоје два предмета из области звездане астрономије - један на студијама астрономије, други на

студијама астрофизике; звездана астрономија се јавља као смер на постдипломским студијама, а недавно се појавио и први уџбеник (Ангелов, 1994). Осећа се, међутим, недостатак научног подмлатка.

2. Звездана динамика

Међу општим дисциплинама звездане астрономије најважнија је свакако динамика. Ово је само један кратак приказ, опширније се може наћи у познатим монографијама (на пр. Агародњиков (Огородников), 1958; Чандрасекхар (Chandrasekhar), 1960; Агекјан (Агекян), 1962; Бини и Тремејн (Binney and Tremaine), 1987). Основни проблем који она решава је проблем N тела, као и у небеској механици. Разлика је у томе што је у типичним проблемима звездане динамике број N знатно већи него код проблема небеске механике. Појава рачунарске технике још више је приближила ове две астрономске гране, јер савремени рачунари омогућавају директно решавање проблема N тела и за $N \approx 5000$. Упркос томе, стари начин решавања проблема N тела (када је N јако велико) који се састоји у разграничавању гравитацијских сила које делују у систему на тзв. *регуларне* и *ирегуларне* силе још увек је актуелан. Ово схватање увео је Цинс, још почетком овог века. Ако се тражи најопштија дефиниција регуларних сила, онда би се могло рећи да су то силе које се могу представити преко потенцијала, односно уопштеног или генералисаног потенцијала, тј. које имају систематски карактер. Насупрот њима, ирегуларне силе се манифестују у случајним појавама, као што су блиски пролази звезда („судари“) и имају стохастички карактер. У својству корисних критеријума за оцену улоге једних и других у динамици звезданих система могу се навести Агекјанов критеријум (на пр. Агекян, 1962, стр. 529) где се оцена даје преко односа запремине дела система у којем су ирегуларне силе јаче од регуларних према запремини целог система (Φ (1)) и однос *времена релаксације* према тзв. *карактеристичном времену* система (на пр. Binney and Tremaine, 1987, стр. 489 - (2)). У оба случаја N представља укупан број звезда у систему, док је \bar{m} средња маса једне звезде.

$$\frac{2}{N^{1/2}} \frac{\overline{m^{3/2}}}{\bar{m}^{3/2}} ; \quad (1)$$

$$\frac{0,1N}{\ln N} \quad (2)$$

Без обзира на постојеће разлике у датим формулама може се констатовати релативно добро слагање међу њима, те се може закључити да галаксије и збијена звездана јата спадају у системе у којима су ирегуларне силе занемарљиве, за разлику од вишеструких звезда и развезаних јата код којих то није случај. С обзиром на то да време релаксације звезданог система представља временску скалу ирегуларних сила, тј. време током кога долази до

знатних промена у систему услед деловања ових сила, види се из (2) да занемарљивост ирегуларних сила код неких врста звезданих система потиче уставари од „спорости“ њиховог деловања што не значи да ће увек бити тако јер маколико систем био велик, време релаксације ће моћи да протекне и деловање ирегуларних сила ће се исказати. Дакле, и код највећих галаксија ће с временом доћи до одређених промена проузрокованих ирегуларним силама, само што је то време веома дуго, код галаксија, по правилу, дуже и од Хабловог (космолошког) времена.

Ако се под појмом регуларне динамике подразумева проучавање динамике звезданих система уз потпуно занемаривање ирегуларних сила, онда се као њени типични проблеми могу навести:

1. одређивање потенцијала;
2. регуларне путање;
3. модели звезданих система;
4. нестационарне и квазистационарне појаве;
5. неизоловани системи.

Одређивање потенцијала за дату густину се у данашње време своди на математичке тешкоће које се јављају при решавању Поасонове једначине. Најједноставнији случај, а то је сферна симетрија, углавном припада прошлости. Данас је нарочито актуелна тзв. осна (троосна) симетрија.

Код израчунавања регуларних путања, тј. путања око центра датог звезданог система под дејством регуларних сила већ одавно је познат метод тражења првих интеграла (интеграла кретања). Интегрални који се добијају као тачна решења диференцијалних једначина називају се обично класичним интегралима. У референтном систему везаном за центар маса датог звезданог система класични интегрални су интеграл енергије и интеграл момента импулса. Налажење осталих једнозначних интеграла је посебан проблем. Најпре треба утврдити њихово постојање, што се рецимо ради применом Поенкареовог метода секција површи, а затим нумеричким поступком утврдити облик зависности од фазних координата. Пошто је нумерички поступак по својој природи приближан, на овај начин се налазе само функције које су приближно константне - тзв. квази-интегрални. Типичан пример је потенцијал који поседује обртну симетрију, где изгледа да трећи, независни, интеграл кретања постоји, али се његова зависност од фазних координата не може представити преко елементарних функција. Од значаја су неки конкретни случајеви у којима се аналитички могу добити додатни интегрални кретања, на пр. Штекелови потенцијали (деталније Binney and Tremaine, 1987, гл. 3).

Када је реч о моделима звезданих система, задатак звездане динамике је развијање система једначина које повезују њихове карактеристике, као што су Болцманова једначина, хидродинамичке једначине, теорема виријала итд. (ова последња повезује тзв. интегралне или глобалне карактеристике које карактеришу звездани систем као целину). У општем облику ове једначине су компликоване, али њихова примена на конкретне случајеве звезданих система омогућује извесна упрошћења. Извођење теореме виријала у облику тензора (деталније Binney and Tremaine, 1987, гл. 2, одељак 5) омогућило је проучавање звезданих

система сложеније структуре него што је сферна симетрија. Она је такође од користи у проучавању оних звезданих система који се деле на више подсистема јер омогућује анализу глобалних својстава за сваки од њих појединачно.

Звездана динамика разликује глобалну и локалну нестационарност. Глобална има аperiodичан карактер и обично се сматра да је њено трајање приближно једнако карактеристичном времену система. У прорачунима ове нестационарности појављује се низ проблема повезаних са интегралима кретања (интеграл енергије више не важи), сложености потенцијала, будући да се реални звездани системи могу састојати из више подсистема који онда не могу бити самоусаглашени, итд. Донекле се ствар може поједноставити симулацијом на основи N тела али том приликом треба имати у виду сва ограничења оваквог прилаза. Локална нестационарност обично има периодичан карактер (зависност од времена је дата као периодична функција). Најпознатији примери су структуре које се срећу у спиралним галаксијама, као што су спиралне гране, пречаге (енгл. bars) и извитоперења у односу на главну раван (енгл. warps). О овим појавама биће речи у наредним одељцима.

Појму периодичне нестационарности близак је појам квазистационарности. Ради се о томе да, строго узевши, један звездани систем никада не може бити стационаран, него је то само приближно испуњено. Самим тим поставља се питање стабилности датог стационарног стања. Досада најбоље проучен случај тиче се система са сферном симетријом захваљујући нарочито радовима Антонова (опширније Binney and Tremaine, 1987, стр. 296). У случајевима сложеније просторне расподеле ствари ни изблиза не изгледају тако јасне. Ради се, пре свега, о математичким тешкоћама због којих се у анализама користе апроксимације које често знатно одступају од стварности.

Два су аспекта у проучавању неизолованих звезданих система: систем који је подсистем неког звезданог система (рецимо дискови и халои спиралних галаксија) и сателитски систем. Први случај припада проучавању модела звезданих система о чему је напред било речи. У другом случају централно место заузима решавање једначина кретања у убрзаном координатном систему што се своди на тзв. ограничени проблем трију тела, где, као што је познато, у случају стационарности важи интеграл енергије (Јакобијева константа). Још увек није дефинитивно рашчишћено питање да ли постоји још неки једнозначан интеграл кретања (на пр. Џефрис (Jefferys), 1976). У нестационарном случају ситуација је још сложенија пошто није пронађен ниједан тачан и једнозначан интеграл кретања. Стога се у последње време често прибегава директним нумеричким експериментима на основи проблема N тела (на пр. Ох (Oh) и др., 1992). Упркос одређеним предностима ово је корак даље од добијања модела једног сателитског звезданог система, а то је најбољи пут за одређивање граничног или плимског полупречника (свакако једног од најважнијих параметара модела) система као функције његове укупне масе и путање око центра матичног звезданог система.

Стационарно стање једног звезданог система окарактерисано датим моделом не може се одржати вечно. Ирегуларне силе постепено мењају систем и после довољно дугог времена (назива се време релаксације) укупан učinак ове

промене постаје уочљив. За велике звездане системе, као што су галаксије, време релаксације је веома дуго, дуже од тзв. Хабловог времена, тј. старости васионе. Зато у галаксијама, осим у њиховим централним деловима, не примећујемо ефекте релаксације. Сасвим је другачија ситуација код развезаних звезданих јата где је време релаксације, по правилу, веома кратко у поређењу са старошћу васионе, па стога код њих можемо најбоље проучавати ефекте релаксације. У таквим проучавањима постоје два пута: решавање Фокер-Планкове једначине са циљем да се установи еволуција функције расподеле и нумерички експерименти на основи проблема N тела. У првом случају примењује се обично метод Монте Карло (развијено га је Енон; ближе видети у чланку Лајтмана и Шапира (Lightman and Shapiro), 1978). Иначе, данашње стање рачунарске технике дозвољава у потпуности непосредну примену проблема N тела на развезана звездана јата; пионири у овој области били су Арсет и Вилен (опширније на пр. у Терлевич (Terlevich), 1987). Већ од раније познати су основни правци динамичке еволуције услед деловања ирегуларних сила. Они се могу укратко приказати кроз три ефекта: тежња ка расподели охарактерисаној максималном ентропијом, на пр. Максвелова расподела брзина, тежња ка уједначавању укупне механичке енергије међу појединачним звездама и дисипација система, тј. напуштање система од стране звезда које су стекле брзину већу од критичне. Због овог последњег Максвелова расподела се у потпуности никад не остварује. Због компликација које настају при решавању Фокер-Планкове једначине приступ преко проблема N тела постаје све актуелнији и уз помоћ одређених модификација његова се примена проширује и на веће системе, као што су на пр. збијена звездана јата. Све ово помаже бољем разјашњењу основних теоријских правца еволуције звезданих система под дејством ирегуларних сила. Једно од најзанимљивијих питања је, свакако, шта је коначан производ распада: тесна двојна звезда, масивна црна јама или нешто треће (на пр. Елсон (Elson) и др., 1987).

3. Субгалактичка астрономија

Будући да већина познатих субгалактичких система припада нашој Галаксији или Млечном путу, један од првих задатака у вези с њима је прикупљање и даља обрада посматрачког материјала. У данашње време је постигнут значајан напредак на том пољу и, донекле, су изузетак сопствена кретања и тачна хелиоцентрична растојања. Међутим, са ангажовањем вештачких Земљиних сателита, као што су рецимо „Хабл“ и „Хипархос“ (опширније на пр. Периман (Pergaman), 1986), и ово престаје да буде већи проблем. С друге стране, обиље посматрачких података омогућује одређивање масе, иначе врло важне али тешко доступне величине. Динамичко одређивање масе, засновано углавном на теорему виријала, је важно због тзв. проблема скривене масе, али треба рећи да и тзв. статистичко одређивање масе није лишено динамичке основе јер је непосредно одређивање звезданих маса једино могуће код двојних звезда коришћењем III Кеплеровог закона, што је опет варијанта теореме виријала. Не

треба заборавити да су двојне и вишеструке звезде праве природне лабораторије за испитивање основних закона динамике. Тако на пр. је код многих парова било констатовано кретање апсидне линије које се тумачи релативистичким ефектима. Код већих система од интереса је провера основних закључака о динамичкој еволуцији (вид. претходни одељак) на основи поређења са поспатрачким резултатима. Досадашње провере дале су, углавном, позитивне резултате. Такође су били проучавани и субгалактички системи у другим галаксијама (пре свега збијена јата и то у Магелановим облацима), а исто тако и двојне и вишеструке звезде које припадају звезданим јатима, за разлику од оних које називамо вишеструким звездама у пољу. Сва ова проучавања употпуњују и проширују наша знања, не само о самим субгалактичким системима, већ и о галаксијама. Овome треба још додати и постојање субгалактичких система који нису гравитацијски везани - на пр. звездане асоцијације и разне кинематичке групе - будући да је уобичајено схватање да звезде настају масовно а не појединачно. Такође је важно да се помене и могућност обрадовања читавих галаксија из скупова мањих система, рецимо збијених јата.

4. Вангалактичка астрономија

Када се говори о галаксијама и оцењује напредак остварен на том пољу, довољно је рећи да се на почетку нашег века практично није знало за неку другу галаксију осим наше, а до данашњег дана је откривено више од сто милиона галаксија (Куликовски, 1985). Галаксија има разних по облику и величини, а упркос чињеници да је предложен читав низ различитих класификација, Хаблова, најстарија и најпознатија од свих, још увек се највише користи. Вероватан разлог за ово је њена једноставност. Једно од питања које мучи астрономе је и да ли једна иста галаксија у току своје еволуције мења облик, тј. прелази из једног Хабловог типа у други. Иако је, још средином прошле деценије, било готово са сигурношћу прихваћено да галаксије не мењају Хаблов тип у току своје еволуције, данас поново оживљавају схватања да се тако нешто не може искључити. Решавањем питања, као што су стабилност, поље сила, одступања од стационарности, итд., бави се према напред реченом динамика. На овом месту вреди се задржати на два питања која се тичу двају типова галаксија према Хабловој класификацији међу којима срећемо практично све циновске галаксије, а то су елиптичне и спиралне галаксије.

Дуго се сматрало да је приближан модел који објашњава грађу елиптичних галаксија обртни елипсоид. У данашње време се показује да би то могао да буде и тросни елипсоид (на пр. Горбацки (Горбацкий), 1986).

У вези са спиралним галаксијама треба рећи да је већ одавно познато да је код њих, знатно више него код других типова, изражено обртно кретање као њихово средње кретање. Мерња брзине обртања у зависности од растојања до осе ротације служе и за процену њихове укупне масе. Најновији резултати оваквих истраживања показују да и на прилично великим растојањима од осе обртања брзина ротације задржава приближно исту вредност као у по-

дручјима ближим центру. Ако је центрифугална сила која потиче од ротације уравнотежена гравитацијским привлачењем, онда се закључује да је оптичка маса једне спиралне галаксије недовољна за достизање центрифугалне равнотеже и да су спиралне галаксије по свој прилици окружене (засада) невидљивим коронама које се састоје од неке, нама још увек непознате, материје и имају велику укупну масу, те су стога главни саставни делови спиралних галаксија. Уопште узевши, идеја о тамној материји непознате природе је веома присутна у савременој астрономији и среће се у разним њеним областима (на пр. Тримбл (Trimble), 1987; Ашмен (Ashman), 1992).

За дискове спиралних галаксија је од посебног интереса питање њихове стабилности. Из литературе (на пр. Острајкер и Пиблс (Ostriker and Peebles), 1973; Марочњик и Сучков (Марочник и Сучков), 1984) је познато да на основи неких нумеричких експеримената проистиче да стационарно стање окарактерисано дисколиком просторном расподелом са великим уделом ротације у укупној кинетичкој енергији није стабилно и да у таквом систему настају структуре окарактерисане троосном симетријом. Једини „лек“ да се одржи стабилност према овим експериментима је постојање неког додатног сфероликог подсистема који производи довољно јако поље гравитације. С друге стране, према неким посматрачким резултатима (Ashman, 1992) изгледа да пречагасте спиралне галаксије немају масивне короне начињене од тамне материје. Међутим, пречаге спиралних галаксија, као и саме спиралне гране, не обухватају велики део материје диска, већ су то само његови врло сјајни делови, осим тога заједно са спиралним гранама пречаге чине периодичну нестационарност. Када се томе још дода и околност да према резултатима нумеричких експеримената сферолики подсистем, неопходан за стабилизацију диска, треба да произведе јако гравитацијско поље у унутрашњим областима диска, а масивне короне, како ствари стоје, дају одлучујући допринос гравитацијском пољу спиралне галаксије тек у спољашњим областима диска, онда је јасно да проблем још ни издалека није решен. Такође није ни до краја проучено трајање релаксације у диску једне типичне спиралне галаксије.

У случају спиралне структуре као најперспективнија појављује се хипотеза спиралних таласа густине Лина и Шуа из 1964. године (опширније рецимо Марочњик и Сучков, 1984), али ни она није могла да разјасни све проблеме. На пример, није потпуно јасно какви су извори спиралних таласа густине, залихе њихове енергије, механизми побуђивања и одржавања у току довољно дугих временских периода, као и како настају локална одступања од глобалне спирале диска. С друге стране, тумачење спиралних грана као таласне творевине која се обрће као круто тело изгледа примамљиво за објашњење низа посматрачких чињеница, рецимо појачаног присуства млађих објеката у спиралним гранама, а и нека предвиђања таласне теорије су потврђена резултатима посматрања - на пр. спирална структура поља брзина звезда и гаса, однос спиралне структуре и старог диска, трансверзални градијент старости објеката у односу на спиралну структуру итд.

Познато је да су дискови међузвезданог гаса у спиралним галаксијама извитоперени (од енгл. речи warp). Појава се састоји у томе да слој гаса по-

чевши од одређеног растојања од осе ротације одступа од равни симетрије и то одступање је све израженије са удаљавањем од осе. Осим тога извитоперење показује симетрију у односу на средиште галаксије. У нашој Галаксији, на пример, извитоперење гасног слоја почиње на растојању приближно једнаком Сунчевом. Као могуће објашњење наводе се или плимско дејство неке сателитске галаксије или нека унутрашња динамичка својства спиралних галаксија, рецимо неподударност оса ротације диска и сферног подсистема (опширније о самој појави Горбацкиј, 1986).

Проучавање вангалактичких објеката се не може замислити без проучавања многих загонетних објеката. Најпознатији међу њима су квазари. Премда још увек није у потпуности разјашњено порекло њихове колосалне енергије, постоји могућност да су то језгра будућих галаксија чији траг у данашње време може да буде масивна црна јама у средишту галаксије (на пр. Рис (Rees), 1989). Разуме се, оваква могућност постоји и за нашу Галаксију и стога је нарочито код ње покушавана детекција масивне централне црне јаме. Иако досадашња испитивања нису дала позитивне резултате, поменута могућност не може бити искључена. Ово је, свакако, део једног ширег проблема - активности језгара галаксија за коју постоји раширено схватање да је нормална фаза у еволуцији сваке галаксије. Међутим, треба имати у виду да се закључак о огромној енергији квазара заснива на тумачењу црвених помака у њиховим спектрима као последице њихових великих хелиоцентричних растојања. Ово је заиста мишљење велике већине астронома, али има и супротних схватања (на пр. Арп (Arp), 1984).

У данашње време сазрева схватање да су суперјата галаксија последња реч у хијерархији система галаксија. У динамичким испитивањима система галаксија се такође користе нумерички експерименти засновани на проблему N тела с тим што се због знатно мањег односа димензија галаксија према међусобним растојањима него код звезданих система врши модификовање Њутновог закона да би се овај ефект узео у обзир. Једно од најзначајнијих питања које се том приликом решава је, свакако, питање удела и уопште присуства тамне материје у системима галаксија. Познато је да размишљања на тему тамне материје почињу баш са проучавањем система галаксија, конкретно јата галаксија (на пр. Trimble, 1987). Премда је до пре неку годину изгледало да је удео тамне материје у укупној маси једног јата галаксија знатно већи него код једне појединачне галаксије, данас преовладава схватање да је тамна материја садржана у великим количинама у коронама појединачних галаксија за разлику од субгалактичких система који изгледа да не садрже неке битније количине тамне материје. Изузетак нису ни патуласте галаксије (на пр. Лејк, (Lake) 1990). С друге стране треба правити разлику између оних система галаксија, као што су двојне галаксије и средишњи делови јата галаксија, где због велике концентрације галаксија долази до преклапања појединачних корона и стварања заједничке од система са релативно ниском концентрацијом галаксија, као што су групе галаксија, где овакво преклапање није могуће - рецимо Локална група галаксија (на пр. Нинковић и др., 1991). У системима са великом концентрацијом галаксија њихово узајамно гравитацијско

деловање је интензивно, па се догађају појаве аналогне појединачној релаксацији у звезданим системима (на пр. Мусио (Muzzio), 1987).

5. Галактичка астрономија

Када се говори о нашој Галаксији (Млечном путу) разликују се локална и глобална проучавања њене структуре. Први појам односи се на проучавања у области око галактоцентричног положаја Сунца. Ту се могу испитивати фини ефекти недоступни за проучавање, не само у другим галаксијама, него и у другим деловима Млечног пута. Неки познати проблеми из ове области још увек су актуелни. На пример, више од педесет година после Ортовог одређивања локалне густине галактичке материје динамичким методом (на пр. Орт, 1965) није сасвим јасно колико стварна вредност густине превазилази вредност добијену статистички и да ли је уопште превазилази (на пр. Глизе (Gliese), 1983). Једно још старије питање, а то је брзина кретања Сунца ка апексу, такође је још увек актуелно; недавно смо имали и један допринос наших истраживача (Агекјан и Поповић (Агекян и Попович), 1993). За описивање расподеле својствених брзина звезда и даље се користи Шварцшилдов елипсоид али у вези са њим има неразјашњених ствари; рецимо одступање главне осе елипсоида од правца ка центру Галаксије, познато као девијација вертекса, а које указује на одступање стања Млечног пута од стационарности и обртне симетрије (на пр. Санс и Катала (Sanz Subirana and Catala Poch), 1987) или неслагање односа дисперзије брзине дуж оса у галактичкој равни са локалним нагибом кружне брзине где је можда неопходна извесна поправка која узима у обзир тзв. асиметрични дрифт (разлика између локалне брзине ротације диска и локалне кружне брзине - на пр. Нинковић, 1992). Од интереса је и износ локалне критичне брзине. Ту је последњих година остварен значајан напредак везан за проучавање звезда Популације II које се налазе близу Сунца и назире се да је локална критична брзина знатно већа од локалне кружне брзине (на пр. Нинковић, 1987) што иде у прилог тамној, масивној, корони.

У проучавању глобалне структуре Галаксије могу се навести: проблем галактичких популација, проблем тамне, масивне, короне, као и проблем њене еволуције.

Проблем популација карактеристичан је и за друге галаксије, пре свега спиралне, као што је наша. У том смислу испитује се хемијски састав галактичких објеката и њихова просторна расподела. Задаци су да се установи, што је могуће тачније, корелација између старости и хемијског састава објеката у циљу ближег испитивања хемијске еволуције Галаксије, а на другој страни да се у везу са хемијским саставом доведе природа подсистема Галаксије као што су диск, хало, централни овал (енгл. bulge), дебели диск итд. (на пр. Фримен (Freeman), 1987).

У погледу постојања тамне масивне короне наша Галаксија није никакав изузетак у односу на друге спиралне галаксије. Кружна брзина, поуздано утврђена до растојања од осе ротације приближно двоструко већег од Сунчевог,

износ локалне критичне брзине, као и закључци о укупној маси Млечног пута засновани на испитивању кретања његових сателита, указују да тамна масивна корона заиста постоји. Том приликом доња граница укупне масе Млечног пута „расте“ у смеру од метода заснованог на кружној брзини ка методу заснованом на кретању сателита. Ово „неслагање“ је реално само на први поглед јер треба схватити да три поменута метода имају различит домет.

Проучавање кретања сателита већ задире у област Локалне групе галаксија. Због повећаног интереса за сателите Млечног пута израженог у последње време сакупљен је знатан посматрачки материјал. Један од најдаљих сателита, ако не и најдаљи, галаксија Лав I чија се хелиоцентрична даљина процењује на око 250 крс, због своје велике хелиоцентричне брзине сутерише и велику вредност за укупну масу Галаксије - око $1,7 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ (Ли (Lee) и др., 1993). Треба рећи да се у овом случају, као и код других сателита са изузетком два најближа, а то су Магеланови облаци где у последње време имамо резултате мерења сопственог кретања (на пр. Тухолке и Хизген (Tucholke and Hiesgen), 1991), може одредити само једна хелиоцентрична компонента брзине - радијална. То, свакако, утиче на поузданост интерпретације али поређење са остала два метода указује на релативно добро слагање када се имају у виду сва ограничења у приступу. С друге стране, структура Локалне групе је таква да у њој постоји још једна циновска спирална галаксија - позната галаксија у сазвезђу Андромеде.

Укупан број галаксија у Локалној групи није поуздано утврђен јер је за то неопходно темељито познавање њихових удаљености и брзина. Ипак, грубо говорећи, она личи на двојну галаксију (и то нетипичну, широк пар) коју чине Млечни пут и Андромедина маглина (M 31). У вези с тим постоји сада већ стари проблем на који су први указали Кан и Волтјер (Kahn and Woltjer) (1959). Реч је о томе како да се објасни изузетно велики (и поуздано утврђени) плави помак код ове две галаксије (брзина приближавања око 300 km s^{-1}). Различите процене даване за укупну масу система биле су такве да се није могао искључити случајан сусрет двеју масивних галаксија (на пр. Линден-Бел (Lynden-Bell), 1983). Међутим, најновији резултати за појединачне масе добијени из кретања сателита су у складу са великом укупном масом за цео пар.

Код проучавања еволуције Галаксије најчешће се спомиње идеја о сажимању њене материје под дејством сопствене гравитације развијена у пионирском раду Егена (Eggen) и др. (1962). Притом, овакво схватање није нипошто ограничено само на нашу Галаксију, већ оно важи за друге, поготову спиралне, галаксије. Међутим, објашњење овог процеса захтева решење читавог низа проблема. Поменимо само неке од њих: издвајање подсистема, расподела укупног момента импулса међу тим подсистемима, улога корелације старост - хемијски састав итд.

6. Закључак

У најкраћем би се могло рећи да област проучавања звезданих система ни издалека није завршена. Она нуди обиље тема за даљи рад чему нарочито доприносе напредак посматрачке технике и развој рачунарства. Прва околност повећава фонд расположивих посматрачких података и истовремено побољшава квалитет већ постојећих. Друга околност омогућује да се остваре замисли о којима је до недавно могло само да се машта.

Исто тако, несумњиво је да за развој звездане астрономије има услова и на нашем тлу јер су набавка литературе и рачунара у границама наших финансијских могућности. Осим тога, не треба заборавити да је могуће и добијање посматрачког времена на моћним телескопима у свету чиме се може и непосредно учествовати у повећавању фонда расположивих података, тј. у унапређењу квалитета постојећих.

Референце

- Агекян, Т. А.: 1962, у Курс астрофизики и звездной астрономии, том II, уред. А. А. Михайлов, Гос. изд. физ. - мат. лит., Москва, стр. 528.
- Агекян, Т. А. и Попович, Г.: 1993, *Астрон. ж.*, **70**, 122.
- Ангелов, Т.: 1994, Галактичка звездана астрономија, универзитетски уџбеник, Београд, у штампи.
- Агр, Н.: 1984, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, **96**, 148.
- Ashman, K. M.: 1992, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, **104**, 1109.
- Atanasijević, I.: 1971, Selected Exercises in Galactic Astronomy, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht - Holland.
- Атанасијевић, И. и Милоградов-Турин, Ј.: 1974, Изабрана поглавља из звездане астрономије, скрипта, Београд.
- Binney, J. and Tremaine, S.: 1987, Galactic Dynamics, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Chandrasekhar, S.: 1960, Principles of Stellar Dynamics, Dover Publications, Inc., New York.
- Eggen, O. J., Lynden-Bell, D. and Sandage, A. R.: 1962, *Astrophys. J.*, **136**, 748.
- Elson, R., Hut, P. and Inagaki, S.: 1987, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **25**, 565.
- Freeman, K. C.: 1987, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **25**, 603.
- Gliese, W.: 1983, у The Nearby Stars and the Stellar Luminosity Function, *IAU Coll. No 76*, уред. A. G. Davis Philip, Arthur R. Upgren, L. Davis Press, Inc., Schenectady, New York, USA, стр. 5.
- Горбацкий, В. Г.: 1986, Введение в физику галактик и скоплений галактик, изд. Наука, гл. ред. физ. - мат. лит., Москва.
- Jefferys, W. H.: 1976, *Astron. J.*, **81**, 983.
- Kahn, F. D. and Woltjer, L.: 1959, *Astrophys. J.*, **130**, 705.
- Куликовский, П. Г.: 1985, Звездная астрономия, Наука, глав. ред. физ. - мат. лит., Москва.

- Lake, G.: 1990, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **244**, 701.
- Lee, M. G., Freedman, W., Mateo, M. and Thompson, I.: 1993, *Astron. J.*, **106**, 1420.
- Lightman, A. P. and Shapiro, S. L.: 1978, *Rev. Mod. Phys.*, **50**, 437.
- Lynden-Bell, D.: 1983 u *The Milky Way: Structure, Kinematics and Dynamics*, ured. W. L. H. Shuter, D. Reidel Publish. Comp., Dordrecht-Holland, str. 354.
- Марочник Л. С. и Сучков, А. А.: 1984, Галактика, Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., Москва.
- Muzzio, J. C.: 1987, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, **99**, 245.
- Ninković, S.: 1987, *Astrophys. Space Sci.*, **136**, 299.
- Нинковић, С., Чернин, А. и Шакинов, М.: 1991, *Астрофизика*, **34**, 213.
- Ninković, S.: 1992, *Astrophys. Space Sci.*, **187**, 159.
- Огородников, К. Ф.: 1958, Динамика звездных систем, Гос. изд. физ. - мат. лит., Москва.
- Огородников, К. Ф.: 1958, Динамика звездных систем, Гос. изд. физ. - мат. лит., Москва.
- Oh, K. S., Lin, D. N. C. and Aarseth, S. J.: 1992, *Astrophys. J.*, **386**, 506.
- Ort, 1965, u *Galactic Structure, Volume V of Stars and Stellar Systems*, ured. A. Blaauw i M. Schmidt, The University of Chicago Press, Chicago & London, str. 455.
- Ostriker, J. P. and Peebles, P. J. E.: 1973, *Astrophys. J.*, **186**, 467.
- Perryman, M. A. C.: 1986, Ad Astra Hipparcos, ESA BR - 24, Divisions des Publications de l'ESA, ESTEC, Noordwijk, Pays-Bas.
- Rees, M. J.: 1989, *Rev. Mod. Astron.*, **2**, 1.
- Sanz Subirana, J. and Catala Poch, M. A.: 1987, *Publ. Astron. Inst. Czech. Acad. Sci.*, **69**, 267.
- Terlevich, E.: 1987, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **224**, 193.
- Trimble, V.: 1987, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **25**, 425.
- Tucholke, H.-J. and Hiesgen, M.: 1991, u Proc. IAU Symp. 148, ured. R. Haynes and D. Milne, Kluwer Acad. Press, Dordrecht-Holland, str. 491.
- Зонн, В. и Рудницкий, К.: 1959, Звездная астрономия, авт. перевод с польского В. Зонна под. ред. П. П. Паренаго, Изд. иностр. лит., Москва.

STELLAR SYSTEMS

SLOBODAN NINKOVIĆ

Astronomical Observatory, Volgina 7, 11050 Belgrade

Abstract. A review concerning the current state of research in the field of stellar astronomy is given. The level corresponds to that of undergraduate students. Stellar astronomy is defined as a general science studying stellar systems, but without including cosmology (which studies the universe as a whole). It is emphasized that the problems are far from being exhausted, as well as that the conditions for developing stellar astronomy in this country do exist.