

SCIENCA REVUO de Internacia Scienca Asocio Esperantista (BEOGRAD, Jugoslavio)	El Vol 22 n-ro 2 (88) 5. 4. 1971.
---	---

KOMUNA INFLUO DE LA GRAVITA FORTO KAJ DE LA ROTACIO AL FORMOJ DE ĈIEL-KORPAJ SISTEMOJ

(Bož. Popović, Beograd, Jugoslavio)

Ĉe preskaŭ ĉiuj ĉielkorpoj kaj iliaj sistemoj estas konstatita rotacio. Ne enirante la kaŭzojn por ekesto de la rotacio, traktu ĝin kiel eĉon — la eĉon kiun ili jam posedas kaj serĉu sekvojn de tiu eĉo je formoj de la korpoj aŭ de iliaj sistemoj. Antaŭ multaj jaroj (P o p o v i ć 1953.) mi tuŝetis ĉi tiun problemon koncerne la sunsistemon kiel la tuton kaj mi konstatis ke iuj sekvoj devus ekzisti, kvankam oni devas esplori ilin pli detale kaj kompari kun la realaĵo, precipe apartigi ilin de la konstantaj gravitaj influoj inter korpoj de la sunsistemo (ĉar nun oni kalkulas nur kun la gravitaj influoj).

Prenite absolute, ĉiun partiklon de la esplorata astro influas tre diversaj fortoj. Matematika neebleco konsideri, tuj unuapaŝe, ĉiujn iliajn influojn devigas nin trakti la sekvojn de ĉiu forto aparte (eventuale laŭ forto-grupoj), kaj poste serĉi laŭbezone la suman influon. Pro tio, surbaze de la jam delonge farita pruvo, en ĉielmekaniko oni plene dispartigas la rotacion (de la sunsistemaj astroj) de la moviĝo de iliaj mascentroj tra la spaco. Tamen la circonstancoj de la moviĝo estas ne ĉiam tiaj ke la menciita dispartigo pravigas.

Tiurilate, oni lasttempe atentigas ankaŭ je bezono pri paralela esplorado de la gravita kaj de la rotacia moviĝoj de la sputnikoj kaj de aliaj artefaritaj astroj (v. ekz. D u b o ŝ i n 1958, 1963, kie same oni povas trovi pli da detaloj pri la neceso de tia paralela esplorado de ambaŭ moviĝoj). Kaj ĉe la korpo-sistemo troviĝanta en la disiga stato, kiaj estas verŝajne multaj galaksioj, ĉiu apartigo de rotacio de la sistemo disde moviĝo de la korpoj en sistemo mem — povas konduki al almenaŭ tro simpligita, eble eĉ falsa, bildo pri la moviĝoj. Eĉ ĉe sistemo en kiu la disfalo procezo estas jam ĉe sia fino, kia ŝajnas la sunsistemo, en la progresiva revoluo de astroj troviĝas eble ankoraŭ rudimentoj de rotacia moviĝo el malnova pasinteco (v. P o p o v i ć 1953.).

Per ĉi tiu verkaĵo mi deziras en la simpla formo pritrakti kelkajn aspektojn de samtempa influo de la rotacio kaj de la rivolua moviĝo, nome: moviĝo de surfacaj tavoloj de fluida korpo, moviĝo de partoj de sistemo en ĝia komenca fazo de disigado, moviĝo de sistemopartoj en lasta disfalo fazo kaj sekvoj (pro iama rotacio) post la disfalo de sistemo.

1) Rotacio de fluida proto-maso

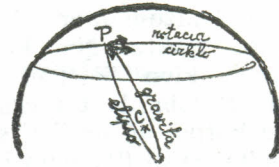
Ekiru de la gasforma, aŭ ĝenerale fluida, globo rotacianta kiel la tuto (ne enirante la naturon de la fortoj kiuj kaŭzigis kaj/aŭ subtenas la rotacion). Por plena esplorado de ĝia estonta formo, oni devus konsideri ankaŭ la nukleajn, fiziko-kemiajn kaj elektrodinamikajn fortojn en ĝi kaj sur ĝia surfaco, same la altirfortojn de ĉiuj partikloj. Lasu tian pritrakton al tiuj kiuj okupiĝas pri tiaj problemoj kaj ekiru de iu momente ekvilibra stato sur la surfaco de la globo. Nome, inter ĉiuj agantaj fortoj kreiĝas intermite la ekvilibro (per radiado de la troa energio en la ĉirkaŭan spacon), pro kio diversajn agantajn fortojn oni povas konsideri kiel influojn enportantajn iajn provizorajn pertubojn en la, pli aŭ malpli stabilan, ekvilibrantan staton de la surfaco, havanta nur la rotacian kaj la revoluan moviĝadojn de la partikloj.

La internaj tavoloj de la proto-maso, nomu ĝin simple **stelo**, estos pli-malpli homogenaj. Diversloke povas aperi la nehomogenaĵoj, partetoj kun pli densa materio. Sed ĉi tiuj partetoj estos lokiĝantaj ĝenerale simetrie (kontraŭe la ekvilibro rompiĝus kaj ekestus ŝanĝo de la supozita ekvilibra stato).

En la interno de tia rotacianta materio la gravitaj influoj interne nuliĝas, kio estas konata jam de unuaj paŝoj de la ĉielmekaniko. Tio signifas ke la internaj partikloj rotacias neĝenataj de la gravitaj fortoj kaj la stelo povas rotacii kiel tuto. Kaj ĉe la surfacaj partikloj la gravitaj fortoj ne nuliĝas sed efikas sumiĝe. Kiaj estos la sekvoj de ĉi tia ilia efiko?

Kiun ajn surfacan partiklon de la stelo altiras la partikloj de la tuta ma-

so tre simetrie. La partikloj troviĝantaj en unu grand-cirklo de la sfero, prenitaj po du simetrie, donas la rezultantajn fortojn kies direktoj (por ĉiuj altirfortoj) iras tra la masocentro. La samon donas la partikloj en aliaj grandaj cirkloj, tiel ke la sumota gravita efiko estus prezentata per alcentra forto (la detala kalkulo montras ke ĉi tiu forto estas Njutnforto, kun la maso koncentrita en la centro, sed tiu fakto ĉi tie ne estas esenca). Laŭ tio, ĉiu surfaca partiklo tendencos, krom la rotacia moviĝo ĉirkaŭ la rotaciakso, fari ankaŭ la cirklan revoluan moviĝon ĉirkaŭ la masocentro. Kion oni havos per la sumigo de du moviĝoj?



Reala rotacia cirklo kaj ekestonta gravita elipso (se la partiklo havus liberan vojon)

Libera gravita moviĝo de la surfaca partiklo estas neebla, ĉar ĝi estas ligita kun la ĉirkaŭo. En la gravite destinita direkto la loko estas okupita per aliaj partikloj. Nur en la direkto de rotacio estas moviĝo ebla, ĉar sama tia efiko ekzistas ĉe la partikloj antaŭ kaj post la observita). Se ni diskomponas la rapidon (determinitan per la gravito-forto) en la direkton de la rotacio kaj en la ortan direkton, ni venas al ĉi tiujn du sekvojn de la gravita efiko: plua subteno de la ekzistanta rotacio kaj konstanta premo je la alekvatorajn tavolojn. (Ĉiuj ĉi efikoj estas por la proksimaj punktoj preskaŭ samdirektaj, ĉar la antaŭaj rotaciaj moviĝoj estis tiaj. Kaj ili estus fakte la ekiraj rapidoj por la gravita moviĝo, se la partiklo liberiĝus).

Sed kiam la koheraj fortoj permesos iometan pliproksimiĝon al la ekvatoro, la partiklo venas la tavolon kie la rotacia komponanto (prenita longece) estas nesufiĉa por la sama angulrapido — **do la angulrapido en la nova tavolo devas esti iomete pli granda.** Ĉar la diferenco estas relative pli granda polus-proksime ol ekvatorproksime, oni havus kontinuan malpligrandiĝon de la angulrapido irante de la ekvatoro al la polusoj. Sed de tempo al tempo ekestas diversaj turbulaj perturbaj ŝanĝoj (kaŭzataj per okaza perturbo de la nukleo-elektrodinamika stato kaj per ĝia reekvilibrigo), pro kio la rotacirapido akiras iaspecan tavolan karakteron — la malgrandiĝo de tavolo al tavolo. Tio klare vidiĝas ekz. sur la Suno kaj Jupitero.

Observu nun la ekvatorajn partiklojn pli detale. Ili faras cirklaajn orbitojn ĉirkaŭ la rotacia akso. Sed ilin influas ankaŭ la altirforto de la stelo, pro kio ili devas hari ankaŭ difinitan orbiton ĉirkaŭ la stelo-centro. La gravita rapido devus kongrui kun la rotacia rapido por ke la moviĝo estu kiom-tiom stabila, do oni devus havi

$$(w \times r)^2 = \mu / r,$$

t.e.

$$r^3 = \mu w^{-2}$$

kie w estas la angula rapido, μ la gravita maso de la stelo kaj r la pozicivectoro de la partiklo (r la ekvatora radiuso de la stelo).

Se la ekvatora radiuso kongruas kun la valoro (1), la partikloj ĉe la ekvatoro estos vere stabilaj, ĉar la revoluo kongruas kun la rotacio. Sed ne estos la samo kun partikloj inter la ekvatoro kaj poluso. Signu per θ la latitudon de partiklo. Oni havos

$$|w \times r|^2 \equiv w^2 r^2 \cos^2 \theta < \mu / r$$

Pro tio tia partiklo, se ĝi estus libera, moviĝus laŭ elipso difinita per apoastra rapido $w \cos \theta$ (la direkto paralela al ekvatora ebena kaj orta al pozicivectoro de la partiklo). La elipso kondukus ĝin pli proksimen al la ekvatoro kaj profundigus ĝin iom en la internon. Tio povas okazi nur parte, kiom permesas la koheraj fortoj inter la partikloj. Kie ili estas malpli grandaj, tie la partikloj iom pliplenigas la interspacon — kun la tendenco: profunden kaj la al ekvatoro! La sekvo estas: perdo de sfereco de la stelo, **ekesto de ĝia plateco.**

Ĉi tia evoluprocezo estas kompreneble tre malrapida. Kiam la kohero malfortiĝas (pro la radiado, inklude la malvarmiĝadon), la procezo daŭras kaj la plateco pligrandiĝas. La samo okazas kiam pro ajna kaŭzo la rotacirapido w malgrandiĝas.

Se la ekvatora radiuso ne kongruas kun la valoro (1), tiam ĝi estas pli granda aŭ malpli granda ol la ekvilibreca (1). Se ĝi estas malpli granda, tiam ĝi restos tia, ĉar mankas fortoj kiuj tendencos pligrandiĝi ĝin — la rekta granda de la rotacia rapido estas malpli forta ol la koncerna cirkla gravita rapido, la ekvatora pozicio povus esti nur la apoastra, do kun la tendenco pliprofundigi la partiklon. Tio estas nerealigebla eĉ kiam malfortiĝas la kohero (la tendencon pliprofundigi realigos verŝajne iom la apudekvatoraj partikloj, ĉar ili havas ankaŭ komponanton tirantan ilin al la ekvatoro).

La lasta ebleco — la ekvatora radiuso pli granda el la ekvilibreca radiuso (1) — havas tute alian sekvon. La ekvatoraj partikloj troviĝas en la periastra pozicio (la rapido estas orta al la pozicivectoro kaj pli granda ol la koncerna cirkla rapido), sekve la partikloj provas malproksimiĝi de la

centro. Ilin sekvas la subaj tavoloj ĝis la stabileca radiuso (1), same ankaŭ la apudekvatoraj partikloj ĝis la sama radiuso. Tiel ili formigas ringon ĉirkaŭ la stelo. Postaj koheraj influoj plene apartigos la ringon de la kerna parto de la stelo — ekestas »ringoforma nebulo«. Por la kerna parto validas plue ĉio dirita por la kazo kiam la ekvatora radiuso egalas al ĝia ekvilibra granda (1). La ebla tiukaza malgrandiĝo de la angula rotacio povas nur ankoraŭ pligrandigi la ringon ktp. ĝis la procezo stabiligo.

Ni menciuj nur ke la kazo de pli granda ekvatora radiuso (ol ĝia ekvilibra granda) estas la plej nestabila — laŭ la supra analizo — kaj ĝi ekestas nur post la subitaj plilarĝiĝoj de steloj (interna eksplodo, »novaj steloj«). Sed tia fazo povas esti tre interesa por klarigo de ekesto de planedoj (ankaŭ por asocioj kun granda orbit-inklino, formiĝantaj el la proksimolusaj partikloj).

2) Rotaci-gravitaj sekvoj en proto-galaksioj

La antaŭa analizo koncernas sfercajn proto-masojn de fluida stato, t. e. masojn ĉe kiuj ekzistas interna ligiteco per koheraj fortoj, ĉe kiuj la interpartiklaj spacoj estas relative malgrandaj, same la eventualaj kernetoj kun iom pli densa materio estas maloftaj kaj neapartigataj de la ĉirkaŭa materio. Observu nun proto-mason en kiu ekzistas gravaj plidensaĵoj, apartiĝoj de pli densa materio el la ĉirkaŭa medio, ekesto de novaj (sed ankoraŭ ne sendependaj) gravito-centretoj. Tiajn masojn oni povas nomi **proto-galaksioj**.

En la frua stadio de proto-galaksio, la partikloj estas traktendaj kiel ankoraŭ simetrie distribuitaj, pro kio ankaŭ la gravita efiko je la

surfaca partikuloj estos ĝenerale la sama kiel ĉe fluida proto-maso. En la proksima interno, pro ekzisto de jam pli densaj kernetoj, ne plene nuliĝos ĉiuj gravitaj efikoj, ĉar novaj kernetoj altirados pli forte la ĉirkaŭajn partiklojn. Sed tio nemulte efikos la surfaca partiklojn — nur la kernetoj kreskos ĉiam pli.

La esenca diverseco ĉi tie (kompare kun la proto-steloj) estas tia ke la vojo por unuopaj partikloj estas pli libera ol ĉe tute fluidaj masoj, ĉar la interspacoj estas pli grandaj (pro la amasiĝado ĉirkaŭ novaj gravitaj centretoj). Tiele unuopaj partikloj, respektive tutaj grupoj da partikloj, havos kombinatan rotaci-gravitan moviĝon, kaj la al-ekvatoraj komponantoj kondukados ĉiam pli kaj pli, al la ekvatora ebena, la polusproksimajn partojn en la »malplenajn« interspacojn (ekestintaj pro la plidensiĝoj ĉirkaŭ la kernetoj). La koheraj fortoj ne plu povas malebligi la densiĝadon, ĉar la ekestintaj interspacoj estos pli grandaj ol tiuj kiuj povas esti dum ekvilibro de la koheraj fortoj. La novaj gravitaj centretoj fariĝas preskaŭ ne plu tenataj sub la kohera influo de la ĉirkaŭa maso, pro kio ĉe ili multe pli sentiĝos la influo de la gravito-leĝoj. La kernetoj havos cirklaajn, resp. elipsajn orbitojn ĉirkaŭ la ĉefa maso-centro. Pro la proksimiĝado de aliaj partikloj al la ekvatora ebena, la kernetoj ĉiam pli izoliĝados ekster la cetera maso. Dum ĉi tiu procezo, la kernetoj eĉ plukreskos, per kaptado de la ĉirkaŭa materio. Tiel ekestas la proto-globaĵoj, de kiuj, dum posta evoluo, fariĝos globaj stel'amasoj, disemita tra la spaco apartenanta al la protogalaksio. Iliaj moviĝoj jam subigas ĉefe nur la la gravitleĝoj, sed la orbitoj ĉirkaŭ la centro de la galaksio havas iom malpligrandan inklinon ol tiu kiun ili havus sen la rotacia

efiko (la iama rotacio el la protogalakso kuniĝis kun la rívolua rapido).

Sur ĉi tiu ŝtupo de la galaksi-evoluo devas aperi pli forta influo de la nukleaj procezoj, ĉar estas grandskale perturbata antaŭa ekvilibro de la internaj procezoj, de la radiado ekstere kaj de la gravitaj fortoj. Ekstas novaj grupiĝoj de materio, sed nun en la kernetoj ne tiom kompakta kiel la antaŭe ekestintaj kernetoj (ĉar granda parto de la materio jam grupiĝis en la protoglobaĵojn). Pli granda kompakteco de la materio aperas nur ĉirkaŭ la galaksia ebena, pro ĉiam pli granda maskoncentriĝo tie.

De ĉi tiu stadio estas stadio en kiu kreiĝas »maljunaj« stel'asocioj en galaksioj, kun la orbitoj forte inklina al la ekvatorebena kaj grave ekscentriĝaj. Apartiĝo de tiaj asocioj for de la pli kompakta cetera maso de protogalakso sekvigas gravan perdon de la sfereco de la protogalakso kaj ekeston de ĝia tre plateca formo (kun apartaj asocioj en la cetera ĝissfera spaco). Tamen la influo de tuteca rotacio de la sistemo povas montriĝi en la formitaj apartaj stel'asocioj, kio paŝpostpaŝe kondukas al la relative rapida disiĝado de la asocioj, tiel ke aperas pluraj apartaj steloj, havantaj ĉiam malpli da komunaj trajtoj inter la orbitoj; nur la asocioj akirintaj la sferan formon (sferaj stel'amasoj) gardas longe tian formon.

Dum posta stadio de tia evoluo, memstariĝas ankaŭ novaj materikernetoj, troviĝantaj nemalproksime de la ekvatora ebena, sed nun la procezo kondukas ilin al la nekompaktaj stel'amasoj. Ilia rívoluo ĉirkaŭ la galaksi-centro havas la rotacian komponanton multe pli akcentitan ol ĉe la globaj stel'asocioj — ili ja kreiĝis multe pli proksime ĉe la ekvatora

ebena, pro kio la kongruo de la rotacia kaj de la gravita moviĝoj estas pli profunda. La inklino de iliaj orbitoj (rilate la ekvatoron) estas tre malgranda — oni rekonas ilin kiel »junaj« stel'asocioj en Galaksio.

La materio, koncentriĝinta ĉirkaŭ la ekvatora ebena, post tiaj disfaloj de la protogalakso, akiras iom alispecan karakteron. Krom la grave kompakta kerno, la cetera materio troviĝas preskaŭ en unu ebena (parenteze dirite, ĉi tiu ebena povas iomete diversi de la ekvatora ebena). La materio nun grupiĝas pli laŭ siaj fizikaj ecoj, almenaŭ koncerne la »helecon«. Nome en galaksioj ekzistas granda diverseco inter la »hela« kaj »malhela« materioj. La globaĵoj (aŭ aliaj grupiĝformoj de ambaŭspeca materio) apartiĝas unu de la alia, pro propraj fizikaj ecoj, kaj ili estas tuŝantaj unu la alian tre malofte kaj etparte. En dikaj galaksioj (kiaj estas same maloftaj) povas ekzisti tavoloj (unu aŭ kelkaj) de malhela materio inter tavoloj de hela materio. Sed en la »maldikaj« galaksioj ĉi tia tavolo ne eblas; tie la dispartiĝo okazas en formo de kelkaj »sektoroj« (de la kerno al la periferio) — la nomo »sektoro« estas ĉi tie nur skemeca, ĉar la sektoroj ne povas strikte kaj rektlinie limiĝi.

Kiel moviĝas ĉi tia materio? Kio koncernas la kernon de galaksio, por ĝi validas ĝenerale tio kion ni vidis en la unua parto de la verkaĵo (fluidaj masoj) — efiko de koheraj fortoj kaj iaspeca konkordiĝo de la duspecaj moviĝoj, per la ioma platiĝo de la kerno. Irante de kerno al periferio, la materio estas pli maldensa kaj grandparte koncertrita en globaĵoj. Pro tio ĉiam kaj pli evidentiĝos la efiko de gravitaj fortoj.

Ĝis iu distanco de la centro, la relative forta ligiteco de materio povos teni ĝin kune kaj tiu parto rotacios preskaŭ kiel rigida korpo. Sed malpli proksime (ekde la centro) ĉi tia rotacio ne eblos, ĉar unuopaj globaĵoj, kiom ajn granda estu ilia proksimeco (iam ili eĉ parte intermiksiĝas) kondutas grandskale kiel unuopaj objektoj, obeante ĉefe la gravitajn leĝojn.

Iudistance de la galaksi-centro, la rekta rotaci-rapido egaligās kun la cirkla gravita rapido. Ĝis tiu distanco, la galaksio rotacios, pli-malpli, kiel .uto. Sed ironte pluen al la periferio, la rekta rotaci-rapido fariĝos pli kaj granda kompare kun la tiuloka rekta rapido de gravita moviĝo. Sed kontraŭe, la efiko de gravita moviĝo estas des pli granda ju pri malproksime oni estas de la centro — precipe la globaĵoj (de tiu aŭ alispeca materio) havas plejparte gravitan moviĝon, kun nur rudimentaj influoj de la rotacio de proto-galaksio. Ĉi tiuj globaĵoj postrestos (angule) la globaĵojn pli proksimajn (ekde la centro), despli multe ju pli malproksime estas la centro. Ĉi tio validas same por la »malhelaj« kiel por la »helaj« globaĵoj kaj aliaj nebulaj masoj. Tia estas verŝajne la vojo per kiu ekestas la galaksiaj spiraloj, same de la hela aŭ de la malhela materio.

Pro tio estas tute natura ke la steloj, aŭ stel'asocioj, ekestintaj de unuopaj globaĵoj, havas komunan cirklan (aŭ preskaŭ cirklan) moviĝon en la ekvatora ebena (aŭ preskaŭ en ĝi). Kontraŭe al tio, la steloj ekestintaj en periferiaj partoj de la stel'amaso (aŭ fariĝis de ĝi per konstanta malrapida disiĝado), havas la orbitojn kun granda inklino kaj kun granda ekscentriĝo (ĉar ankaŭ la koncerna stel'amaso havas la moviĝon laŭ tia orbito, depende de ekira rapido heredita multparte de tiama rotacio, en

stadio kiam alia materio estas puŝata al la ekvatora ebena).

Do, la simultana pritrakto de rotacio kaj de gravita moviĝo, ankaŭ en la ĵus traktita stadio de disiĝado de proto-galaksio, donis eblecon por simpla kaj logika klarigo de jam konataj faktoj pri la galaksioj, ia klarigo nekontraŭa ankaŭ kun la astrofizikaj teorioj pri ekesto de la stel'asocioj dum la evoluo de galaksioj.

Rimarko Kiam jam temas pri la astrofizika klarigado de faktoj, estas bone substreki ke — de kiam Struve (1931.) konstatis korelacion (en spektroj) inter la larĝeco de absorbolinoj kaj de radiadlinioj, t. e. ekesto de difinitaj radiadaj linioj de gasrotacio en steloj — pluraj astrofizikistoj provis doni pli-malpli ĝustan kunligon inter la spektro kaj la rotacio. Oni konstatis ke restas ioma nekongruo, neforigebla per la stelmodelo kun la cirkloforma ringo (ekz. kun tia ringo., ĉe iuj B-steloj, la rotaci'rapido estus 560 km/sek, pli ol ĝi devus esti laŭ la radiad'linioj). D. B. Mc Laughlin (1961.) provis forigi la nekongruon enkondukinte modelon de elipsoforma ringo, subtenata kontraŭ la disiĝo (en la interna parto) per la radiad'premo el stelo. Verŝajne ankaŭ ĉi tie oni povus konsideri gravitan moviĝon de la periferiaj partoj de tia ringo (konkorde kun la antaŭa klarigo pri ekesto de la ringo), ankaŭ por klarigi la elipsecan formon de la ringo.

3) Lasta fazo de la disfalo de partiklosistemo

En la lasta fazo de disfalo, la steloj (aŭ galaksioj) estas tre plataj, sed la periferia materio povas formiĝi kiel spiralaj vostoĵoj aŭ apartiĝi de la ĉefmaso en formo de samcentra ringo (vianta en tiu formo dum longa aŭ mallonga tempo), aŭ la tuta materio povas longe resti pli-malpli kompakta.

Pritraktu la kazon kiam la materio estas preskaŭ kompakta. Laŭ la antaŭa pritrakto, restis granda dika kerno, sed tuj post la kerno la diko rapide malkreskas dum nelonga distanco, post kio ĝi malkreskas nerapide ĝis la periferio. Pro okazinta perdo de la maso, t. e. dissemo de la materio en la ĉirkaŭan ĝissferan spacon (kiel estas montrita en la p. 2 de ĉi tiu verkaĵo), malgrandiĝis μ en la rilatumo (1) sekve malgrandiĝis la koncerna r , malgrandiĝis la distanco ĉe kiu ekvilibriĝas la rotacio kaj la cirkulaj orbitoj.

La radiadprocezo alkondukos paŝpostpaŝe al nova koncentriĝo de partikloj. La tavolo nomita »stabila«, en la unua parto de la verkaĵo, transiras sen aldonaj perturboj, el la rotacia al la rivolua moviĝo. Eĉ la partikloj troviĝantaj je egalaj distancoj r povas tie grupiĝadi. Nome

$$v^2 = \mu/r, \mu = k^2(M + m)$$

kaj pli granda partiklo havos, almenaŭ iomete, pli grandan rektorapidon, atingados malpligrandajn partiklojn kaj tiel kreiĝos pli grandaj kernetoj.

Do la »stabila tavolo« travivas sorton de la disfaliĝinta tavolo kaj kreiĝas korpo(j) kun cirkla (aŭ preskaŭcirkla) orbito. Sede, la partikloj aŭ la kernetoj kiuj »saviĝis« (en la procezo de kaptado far la ĉefa korpo) daŭrigas moviĝi memstare kaj iom ŝanĝas sian orbiton pro perturba forto de la ĉefkorpo. Kiel konata, ĉi tia perturba influo kondukas al kreo de satelitoj de la ĉefkorpo, aŭ al io simila al la »trojaanoj« en la sunsistemo. La Jupitero estas unu tia ĉefkorpo en la sunsistemo (kun la relative tre granda maso kaj kun la preskaŭ cirkla orbito).

La tavoloj troviĝantaj ekster ĉi tiu ekvilibra distanco havas gravitan rapidon pli malgrandan ol estas la rota-

cia rektorapido. Do ili troviĝas en apoastra pozicio (de la keplera elipso) kaj provadas penetri pli prolunden al periastra pozicio. Kreiĝas denove ringo inter la radiuso de stabileco kaj iama periferio. El tia ringo »perdiĝas« iuj partikloj (inter tiuj revene al apoastra pozicio trovis ĝin malplena, ĉar aliaj partikloj foriris pli profunden). La aliaj restos kiel ringo aŭ ekgrupiĝos (la grupiĝado estas plifaciligita per diverseco de rapidoj kaj tiel ekestas »malordo«). Kreiĝos unu, du tri. . . kernetoj, kiuj tiam memstare rivoluos ĉirkaŭ la stelo-kerno.

Ju pli malpreksimen oni iros al la periferio, des pli grandaj estos la ekscentriĝoj de la ekestintaj korpoj, pro la pli granda diferenco inter la rektorapido de la antaŭ rotacio kaj la koncerna gravita rapido. Pro tio la procezo, priskribita antaŭe por ĉefkorpo, kondukos ĉi tie al kreo de du, tri aŭ pluraj korpoj, kun elipsaj orbitoj, kies ekscentriĝoj estos des pli grandaj ju pli malproksimaj (de la centro) ili estas. Tiel povus evidente klariĝi kreo de la Saturno kaj de aliaj eksteraj planedoj de la sunsistemo.

La restinta materio de stelo havas radiuson malpligrandan ol estis la radiuso de la »stabila tavolo« (kvankam ankaŭ tiu radiuso iom malgrandiĝis pro la masperdo). Krom tio la restinta materio ne plu estas (relative) tiom plata kiom estis la stelo en la antaŭa stadio. Dum nova koncentriĝprocezo de materio, la periferiaj partoj ne sukcesas unuiĝi en unu kernon, pro konstanta ekstera influo de la Jupitero (grandskale ankaŭ de la Saturno) — mi jam konkretigas ĉi tie la nomojn, pro pli klara prezento de la evoluo. Verŝajne tiel kreiĝis la ring-tavolo de planetetoj. La proksimeco de la Jupitero ne permesis al la Marso kapti multegajn partiklojn, krom tio ĝi kaŭ-

zigis gravan ekscentriĝon de ĝia orbito. La Tero kaj la Venuso kaptadis por sia kresko partiklojn el la sufiĉe dika sed tre mallarĝa tavolo. Kaj por kreo de la Merkuro restis tro malmulte da partikloj, ĉar la plejparto de la proksimaj partikloj, pro fortega altiro de la Suno, falis al la ĉefa kerno aŭ ekvagadis kiel meteoroj.

Tia klarigo pri ekesto de la planedoj en la sunsistemo ne pretendas esti kompleta teorio pri evoluo de la sunsistemo, ĝi tamen povas servi utile por parta klarigo de ĉi tiu deveno, ekirinte de la simultana efiko kaj kombino de la rotacia kaj rivolua moviĝoj de partikloj. Kio koncernas la kernetojn apartiĝintajn en la unua fazo de la disfalo de la proto-suno, ili paŝpostpaŝe dis (sem)igiĝis kaj vagadas kiel meteoroj, kaj kelkaj estas kredeble kaptitaj por esti satelitoj. Plurajn el ili oni aligas ankaŭ al planedetoj (tiuj kies inklinoj estas grandaj); al la ringo de la planedetoj apartenas certe ankaŭ kernetoj apartiĝintaj dum la inter-stadio de la protosun-disfalo, kiuj kernetoj distingigis per grandaj (sed ne tro!) inklinoj kaj per grandaj ekscentriĝoj — simile al »interstadiaj subsistemoj« en galaksioj.

4) Finrimarkoj

Ankaŭ post disfalo de iu sistemo, diru konkrete de la protosuno je la Suno kaj ĝiaj akompanantoj, ekzistas fortoj subtenantaj la rotacion de la Suno. Ni ne povas eniri la naturon

de ĉi tiuj fortoj (kiuj kredeble havas elektromagneto-dinamikan karakteron), sed ni povas kompreni ke ilia efiko ekzistas plue, tamen en rudimenta formo, ĉar perdiĝis la kontinueco de materio kaj la efiko treege malfortiĝas je granda distanco.

Pro tio ne estas sencece starigi (Popović, 1953.) la demandon: Kiajn sekvojn donas, en la moviĝoj de karpoj de la sunsistemo, la rudimenta rotacio de la sunsistemo kiel tuto? En la menciita verkaĵo estas nur parte donitaj matematikaj sekvoj de tia efiko. Sed la kontrolo pri realeco de tia supozo estas tre malfacila. Nome la sekvoj estas nekonataj kaj ili povas esti nur tre malgrandaj. En pliparto de la malproksimaj planedoj, la sekvoj »droniĝis« en la ekirajn moviĝrapidojn. Sed ĉe la proksimaj planedoj, precipe ĉe la Merkuro, ne estas tiel, ĉar tiaj efikoj estas iom pli grandaj (pro proksimeco de la Suno). Sajnas natura plua esploro de teoriaj sekvoj de tiu efiko, kun la supozita (determinenda!) grandeco de la rudimenta rotacio, apartigi ĉi tiajn efikojn je la aliaj planedoj (precipe je la rivolu-periodo de la Tero ĉirkaŭ la Suno), kaj post tio esplori la sekvojn ĉe la Merkuro (simile al tio ĉe la Luno rilate la rotacion de la Tero kaj ĉe la kvina Jupiter-satelito rilate al ties rotacio). Eble oni trovos interesajn klarigojn por la konataj nelegĉoj en la moviĝoj de tiuj korpoj de la sunsistemo. Sed ĉi tio ja povas esti traktata aliam kaj aliloke.

La menciita literaturo

G.N. Duboŝin, 1958: Pri la diferencialaj ekvacioj de la rivolu-rotacia moviĝo de rigidaj korpoj altirantaj unu la alian (en la rusa), *Astronomičeskij žurnal*, XXXV, 2, pp. 265-276.

..., 1963: Sur le mouvement de translation-rotation des corps célestes artificiels, Symposium »Dynamique des satellites«, Paris 1962. (Springer-Verlag), 14-20.

M.S. Ejgenŝon, 1960: Vnegalaktičeskaja astronomija (Ekstergalaksia astronomio), FIZMATGIZ, Moskvo, 1960, precipe p. 171, 260-2.

D.B. Mc Laughlin, 1961, *Jour. R. Astr. Society Canada*, 55, pp. 13-22, 73-85.

B. Popović, 1953: Pri la efiko de eventuala rotacio de sunsistemo je planed-moviĝo (en la serbkroata), *VESNIK Društva mat., fiz., astr. Srbije*, Beograd, V, pp. 77-93.