

POPULAARTEADUSLIK
SARI

F. Zigel

KOMEEDID



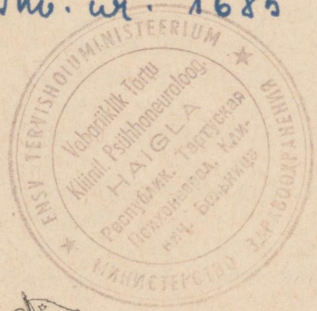
EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

A-16558

F. J. ZIGEL

KOMEEDID

1 no. nr. 1685



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1955

Originaali tiitel:

Ф. Ю. Зигель

КОМЕТЫ

Государственное издательство
технико-теоретической литературы

Москва 1953

Tõlkinud A. Roos

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

1. SISSEJUHATUS

Komeedid kuuluvad kõige imepärasemate ja samal ajal vähe uuritud taevakehade hulka. Komeetide ootamatu ilmumine, nende keerukas kuju, kiiresti toimuvad muutused ja sellele järgnev kadumine — kõik need nähtused tekitasid ammust ajast üldist huvi ning nõudsid selgitust.

Komeetide mõõtmed on kolossaalsed. Nende sabad on mitusada miljonit kilomeetrit pikad, komeedi pea läbimõõt aga ületab sageli Päikese ja tähtede oma. Ent vaatamata komeetide hiiglaslikele mõõtmetele, mis sunnivad lugema neid päikesesüsteemi kõige suuremate kehade hulka, on komeetide massid ometi tühiselt väikesed. Komeedi aine on koondunud peamiselt tema tahkesse ossa, mida nimetatakse tuumaks. Uusimate andmete kohaselt kujutavad komeetide tuumad endast jäätunud gaasidest koosnevaid panku, mille läbimõõt ei ületa mõnd kilomeetrit ja mis sisaldavad lisanditena arvukaid raskesti sulavaid tahkeid osakesi. Komeetide tuumad tiirlevad ümber Päikese mööda tugevasti väljavenitatud elliptilisi orbiite. Päikesele lähenemisel komeedi tuum kuumeneb, kusjuures tardunud gaasid aurustuvad ja moodustavad komeedi pea ning saba. Tuumas leiduvatest tahketest osakestest tekivad tolmsabad ja meteoorivoolud.

Komeetides toimuvaid keerukaid nähtusi põhjustavad peamiselt Päikese soojus ning valgus.

Käesolevas brošüüris on lühidalt esitatud kaasaegsed ettekujutused komeetide olemusest ja nende osast päikesesüsteemis.

2. KOMEETIDES VAADELDAVAD NÄHTUSED

Kaasaegsed vaatlusvahendid võimaldavad komeedi üles leida juba siis, kui see asub Päikesest veel küllalt kaugel (2—3 a. ü.* kaugusel). Vaadelduna teleskoobiga paistab komeet niisugusel kaugusel Päikesest väikese ümmarguse udutäpina, mille keskel asetseb heledam tähekujuiline tihend — tuum. Tuuma ümbritsevat udukogu nimetatakse koomaks.

Päikesele lähenemisel hakkavad komeedi tuumast Päikese suunas erituma helendavad lehvikutaolised joad, mis on tuntud väljavooluste nime all. Väljavooluste ilmumisega kaasneb komeedi üldise heleduse intensiivistumine. Suurenedes oma mõõtmetelt ning laienedes Päikese poole suunatud otsas, meenutavad väljavoolused kiirgavat fontääni, mis purskub välja komeedi tuumast. Ülalmainitud sarnasus suureneb sedamööda, kuidas komeet läheneb Päikesele. Väljavooluste otstest hakkavad siis eralduma joad, mis on pööratud tagasi, Päikesest eemale.

Päikese poole suunatud väline väljavooluste piirjoon muutub edaspidi enam või vähem teravaks ja moodustab niinimetatud kesta. Oma kuju poolest sarnaneb kest paraboloidiga, kusjuures komeedi tuum asub selle paraboloidi fookuses. Tihtipeale esineb juhtumeid, kus võib vaadelda mitte ühte, vaid mitut kesta, mis üksteist ümbritsevad ja millel on ühine fookus komeedi tuumas.

Kooma, tuum, väljavoolused ja kestad moodustavad komeedi peaa. Sedamööda, kuidas komeet läheneb Päikesele, ümbritsevad voolused igast küljest komeedi tuuma ja eemalduvad Päikesele vastupidises suunas, moodustades seejuures kas ühe või mitu komeedi saba.

Mõned komeedi sabad on peaaegu sirged, teised seevastu on märgatavalt kõveraks paindunud. Sabades võib vahel märgata põiki asetsevaid heledaid ribakesi, mis üldiselt on suunatud komeedi tuuma poole, või tombukeste taolisi, korrapäratu kujuga pilvekesi, mis liiguvad saba sees Päikesest eemale.

Oige harva tekivad komeetidel anomaalsed sabad, mis kujutavad enesest komeedi peast Päikese poole suunatud koonusekujulisi eendeid. Mõnede komeetide juures võib

* a. ü. — astronoomiline ühik, mis võrdub Maa keskmise kaugusega Päikesest (149 500 000 km).

lõpuks täheldada helendavaid rõngaid, mille ühiseks tsentriks on komeedi tuum. Neid rõngaid nimetatakse halo- d e k s. On kindlaks tehtud, et halod järjest laienevad, kus-



Joon. 1. Komeet 1910 I, milles täheldati kõiki põhilisi komeedikujusid.

juures nende kontsentrilisus tuumaga ja ringikujulisus säilivad.

Komeedid on keerukamad, kui see meile paistab vahetu vaatlemise puhul. Neis esineb molekule, mis eritavad mitte ainult nähtavaid, vaid ka silmale nähtamatuid kiiri. Nendes

kiirtes on komeedil teistsugune kuju ja teistsugused mõõ-
med, võrreldes silmaga nähtava kuju ning mõõtmetega.

Komeedi pea ja sabade täpset piirjoont on raske kindlaks määrata. Rangelt võttes on komeedi piirid laialivalguvad, «laialipühitud» ja tema näivaid kontuure määrab nende osakeste jaotus, mille kiirgust tajub inimese silm. Vaatlusega määratavail komeedi pea ja saba mõõtmeil on seepärast tinglik-ligikaudne iseloom.

Ülalloetletud nähtused ei esine tingimata iga komeedi juures. Vastupidi, enamikul nõrkadest komeetidest, mida on võimalik vaadelda üksnes teleskoobiga, puudub saba või lõpuni väljaarenenud pea. Kogu perioodi vältel, mil need komeetid on nähtavad, on võimatu märgata midagi muud peale kooma ja tuuma. Komeetide kujude mitmekesisust tõestavad keerukad nähtused toimuvad ainuüksi suurtes ja heledates komeetides, mis jõuavad nii Päikese kui ka Maa lähedusse. Ja üksnes erakordseil juhtumel esinevad kõik komeetides toimuda võivad põhilised nähtused ühes ja samas komeedis, nagu see juhtus näiteks 1910. aasta jaanuarikuu komeedi puhul.

3. KOMEETIDE UURIMISE AJALOOST

Vanal ajal, kui tavaliste astronoomiliste nähtuste ühelaadilisus ja tähistaeva näiv püsivus sünnitasid idee muutumatus ja täiuslikust taevast, mis vastandati «ebatäiuslikule» ja «kaduvale» maisele maailmale, andsid komeetid koos süttivate «uute» tähtede, «langevate tähtede» ning meteoriitidega selget tunnistust nende ideede puudulikkusest ja kogu universumis toimuvatest muutustest.

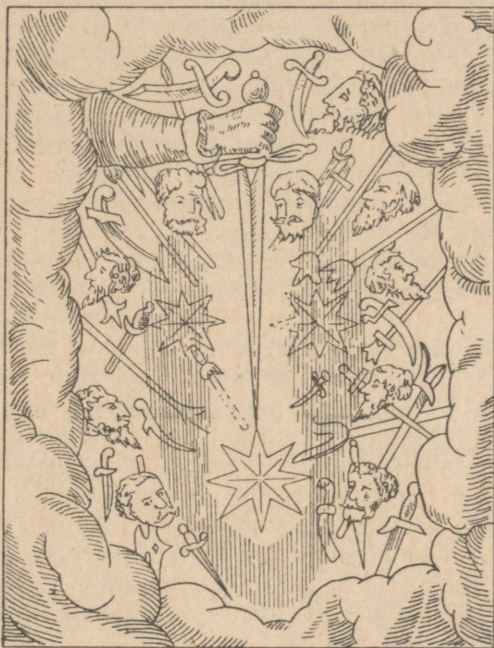
Vanaaja astronoomidel olid õige tagasihoidlikud instrumendid, mis lubasid neil paremal juhul teostada ainult ebapäseid nurgamõõtmisi, ja seetõttu puudus neil võimalus komeetide olemust uurida. Teadmiste kasinus komeetide kohta vana- ja keskajal põhjustas mitmesuguseid ebausul põhinevaid ettekujutusi.

Komeetidele omistati igasuguseid mõjusid mitte ainult tervete rahvaste ja riikide elule, vaid isegi üksikisikute saatusele.

Nii kirjutati näiteks 451. aastal m. a. j. taevast paistnud komeedi arvele Rooma vägede võit hunnide hordide üle samal aastal. Teine, 590. aastal ilmunud komeet oli paljude

arvates põhjuseks Euroopas kaua aega möllanud katkutaudile.

Ebausul põhinevast hirmust ülesköetud fantaasia sundis mõnikord nägema komeetides seda, mida tegelikult ei olnudki. Vanaaegsetel joonistel anti komeetidele tihti peale mõökade, saablite ja luudade kuju, 1528. aasta komeedis aga oskas tol ajal tuntud kirurg Ambroise Paré näha maharaiutud päid ja verega kaetud pistodasid!



Joon. 2. 1528. aasta komeet Ambroise Paré joonise järgi.

Komeetide ilmumine erutas eriti kroonitud päid. Liigse tagasihoidlikkuse puudumise tõttu olid paljud neist veendunud, et komeete saadab jumal mingi tulevase sündmuse märgina nende isiklikus elus. Et komeetidele omistati tavaliselt halba mõju ja neid loeti kõikvõimalike hädade kuulutajaiks, siis ei põhjustanud nende ilmumine kroonitud isikuis vähimatki optimismi. Vastupidi, ebausust tingitud

hirm ja vastumeelsus alistuda «armutu saatuse kuulutajale» viisid niikaugele, et komeeti tabas needuste vool, Portugali kuningas Alfonso VI aga koguni tulistas 1664. aasta komeeti püstolist.

Ebausul põhinevad kujutlused komeetidest esinevad inimkonna kogu ajaloo kestel ja alles üsna hiljuti, 1910. aastal, põhjustas Maa läbimine Halley komeedi sabast paljudes maades paanikat.

Kõigi nende ebausust tingitud kujutluste põhjused on hästi arusaadavad. Taevaga seostati alati usulisi kujutlusi jumalatest, inglitest, demonitest ja teistest «hauataguse maailma» elanikest, kes juhtivat inimeste saatusi. Religioosse ja ebauskliku inimese arvates pidi seepärast häire taevanähtuste tavalises käigus ja sellise haruldase objekti nagu komeedi ilmumine tingimata avaldama mingisugust mõju ka maa peal toimuvatele nähtustele. Selle mõju konkreetsete vormide määramiseks olid inimese fantaasiale antud laiad võimalused, sest teadmised komeetidest olid väga kasinad. Siiski võib arvata, et komeetide uurimine algas juba väga ammu. Iga teadusliku uurimise aluseks on faktid ja vanaaja vaatlejatel ning teadlastel on suured teened tõepärase andmete kogumisel komeetide kohta.

Komeetide astronoomia tekkis teadusena, mis registree ris komeetide ilmumist ja kirjeldas neis toimuvaid nähtusi. Vanades kroonikates leiduvail andmeil komeetide ilmumise ning kadumise kuupäeva, nende kuju, mõõtmete ja heleduse, nende sabade asetuse ning komeetide liikumise kohta tähtede keskel on kahtlemata teaduslik väärtus. Vaatamata vähesele sarnasusele originaaliga ja fantaasiale, peegeldavad vanaaegsed komeetide joonised tihtipeale ka komeetides toimunud reaalseid nähtusi.

Mõned meie ajani säilinud ülestähendused komeetidest on pärit iidsest ajast. Nii on näiteks 2296. aastast e. m. a. pärinevas hiina kroonikas märgitud, et Hiina keisri Jao valitsemise ajal, veidi aega enne tulevase keisri, Hia dünastia rajaja Jü sündi oli viimase ema näinud rändavat sabaga taevakeha. Sellest ajast peale leiduvad hiina kroonikais järjekindlad sissekanded kõigi heledate komeetide ilmumise kohta.

Üksikasjalisi ja teaduslikust seisukohast tihtipeale väärtuslikke ülestähendusi komeetidest sisaldavad vene kroonikad. Need kauge mineviku kirjanduslikud mälestusmärgid

näitavad selgelt vene inimeste sügavat huvi haruldaste taevanähtuste ja eriti komeetide vastu.

Kõige vanem vene ülestähendus komeetide kohta on leitud 912. aastast pärinevast Lavrenti kroonikast, kus on märgitud, et «läänest ilmus suur odakujuline täht».

Hilisemad vene kroonikad sisaldavad terve rea kirjeldusi ilmunud komeetide kohta, kusjuures need kirjeldused on sageli väga kujukad ja tõepärased.

Kõik selletaolised teated võimaldavad kindlaks määrata heledate komeetide ilmumise sagedust eri sajandeil, nende välimust iseloomustavaid iseärasusi ja erijuhtudel ka mõne perioodiliselt ilmuva komeedi ajalugu.

Vanaaja uurijad avastasid kaks teaduslikust seisukohast väga tähtsat fakti. Nad tegid kindlaks, et komeetide sabad on suunatud Päikesest eemale (seda fakti märkas juba rooma filosoof Seneca I sajandil m. a. j., siis hiina astronoomid 837. aastal m. a. j. ja lõpuks, juba palju hiljem, Apianus 1531. aastal) ja et mõnede komeetide sabad on kõverdunud (komeetide kirjeldused 479. aastast e. m. a., 192. aastast m. a. j. ja muud).

Juba antiikajal püüti komeetide loomust teaduslikult seletada. Aristoteles pidas näiteks komeete maapinnalt eralduvaks auruks, mis süttib Päikesele lähenemisel selle soojuse mõjul. Seneca arvamuse kohaselt, mis on esitatud tema teose «Looduse küsimused» seitsmendas raamatus, «... on komeedil omaenda koht taevakehade hulgas ja seepärast ei lakka ta kunagi eksisteerimast, ta sooritab oma teekonna ega kustu, vaid ainult eemaldub». Mõned vanaaja teadlased (Metrodor, Strabon) pidasid komeete Maa atmosfääris toimuvaks puhtoptiliseks nähtuseks ja vaatamata sellele, et nende seisukoht oli vastuolus faktidega ning absurdne, leidis veel XIX sajandi lõpul selle pooldajaid, nagu näiteks Goldstein.

Et ülaltoodud väidet ei olnud võimalik katseliselt kontrollida, kõlas ta enam-vähem veenvalt ja vaadet, mille järgi komeetidel pole midagi ühist Maaga, põhjendati alles XVI sajandi lõpul.

1577. aastal ilmus hele komeet ja tuntud taani astronoom Tycho Brahe katsus koos ühe oma õpilasega määrata komeedi kaugust. Ent kahest punktist (Kopenhaagen ja Praha) teostatud vaatlustel ei avastatud komeedi parallaktilist nihkumist. Vaatluste täpsuse tolleaegset taset arvesse võttes tõestas see tulemus, et komeet asub Maast kaugemal

kui Kuu ja et komeedid ei kujuta endast järelikult mitte teatavaid moodustisi Maa atmosfääris, nagu seda arvas Aristoteles, vaid taevakehi.

Kuna osutus, et komeedid asuvad väljaspool Maa piire, ja et vaatlused tõestasid nende liikumist, siis kerkis küsimus tee kohta, mida mööda komeedid planeetidevahelises ruumis liiguvad.

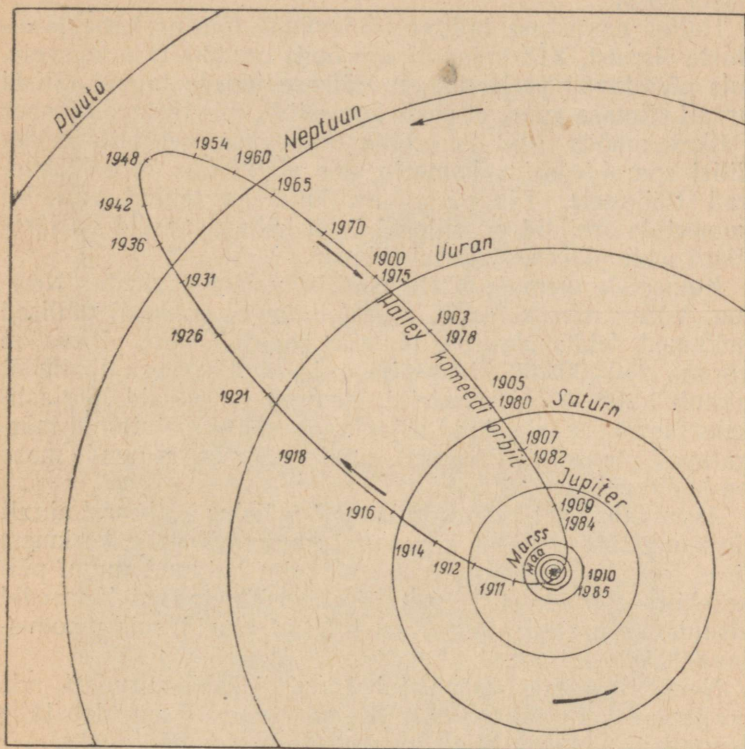
Enne Keplerit arvati, et kõik taevakehad võivad liikuda üksnes mööda ringjoont. Seda arvamust põhjustas Aristotelese kahjulik mõju, sest Aristoteles pidas ainuüksi ühtlast ringliikumist taevakehade «vääriliseks». Vaatlused näitasid aga, et planeetide tõeline liikumine ei vasta sellele lihtsusstatud skeemile. Kepleri poolt tohtu arvutustöö tulemusena avastatud seadused määrasid hoopis ulatuslikuma taevakehade orbiitide klassi, sest nende seaduste järgi võivad taevakehad liikuda mitte ainult mööda mitmesuguse raadiusega ringikujulisi orbiite, vaid ka mööda igasuguse kaju ja mõõtmetega ellipseid. Ühest küljest uued teoreetilised võimalused ja teisest küljest tähelepanekud, mis rääkisid komeetide eemaldumisest Päikesest ning nende ilmumisejärgsest lähenemisest, oleksid näiliselt pidanud viima loomulikule järeldusele, et komeedid tiirlevad ümber Päikese mööda tugevasti väljavenitatud ellipseid. Ent «taeva seadusteandja» Kepler ise pidas komeete taevakehadeks, mis palju erinevad planeetidest ega liigu seepärast mitte ümber Päikese, vaid sirgjooneliselt sellest mööda. Et iga komeet lendas Kepleri arvates Maast ja Päikesest mööda ainult üks kord, siis tekitas komeetide võrdlemisi sagedane ilmumine temas õige mõtte selle kohta, et «taevas on niisama tulvil komeetidest nagu ookean kaladest».

Samasugused vaated komeetide olemusele olid ka Galileil.

Gravitatsiooniseaduse avastamine võimaldas probleemi lahendusele lähemale jõuda. Nagu seda tõestas Isaac Newton, tulenevad kõik kolm Kepleri seadust gravitatsiooniseadusest. Veendumus aga, et seda seadust võib rakendada kõigi, nii maapealsete kui ka kosmiliste kehade kohta, viis järeldusele, et komeetide liikumine on samuti allutatud gravitatsiooniseadusele.

Newton tõestas, et kaks taevakeha, mis olenevalt algtingimustest (relatiivsest kiirusest ja vastastikuselt asetusest) tõmbuvad teineteise poole nende masside korrutisega võrdelise ja nendevahelise kauguse ruuduga pöördvõrdelise jõuga, peavad liikuma (teineteise suhtes) mööda mõnda

koonilist lõikejoont: kas ellipsit, parabooli või hüperbooli. Taevakehade võimalike orbiitide klass laienes sel viisil uuesti ja jäi üle otsustada, missugust kõverat mööda neist kolmest komeedid tegelikult liiguvad.



Joon. 3. Halley komeedi orbiit.

Newtoni poolt 1680. aasta heleda komeedi vaatluste alusel tehtud arvutused näitasid, et vaatluste täpsuse piires liikus komeet ümber Päikese mööda parabooli.

Newtoni sõber ja õpilane Edmund Halley arvutas XVIII sajandi algul välja paraboolsed orbiidid 24 komeedi jaoks, mille kohta olid olemas usaldusväärsed andmed 1337. aastast kuni 1698. aastani läbiviidud vaatluste näol, ja avastas, et aastail 1531, 1607 ja 1682 ilmunud kolme komeedi orbiidid langesid peaaegu ühte. Halley järeldas täiesti õigesti, et need komeedid kujutavad endast mitte kolme omaette

taevakeha, vaid ühte ja sama komeeti, mis tiirleb ümber Päikese mööda tugevasti väljavenitatud elliptilist orbiiti. Ta tegi kindlaks, et selle komeedi tiirlemisperiood võrdub 76 aastaga, ja ennustas tema järjekordset ilmumist 1758. aasta lõpul.

Halley ennustuse hiilgav täidaminek tõestas tema järel-
duste õigsust, XIX sajandil aga õpiti tundma rida komeete, mis pöörduvad perioodiliselt Päikese juurde tagasi. Siiski arvati viimase ajani, et peale komeetide, mis tiirlevad ümber Päikese mööda elliptilisi orbiite, on olemas veel mitteperioodilisi «paraboolseid» komeete, mis ainult üks kord lähenevad Päikesele. Tänapäeval on kindlaks tehtud, et kõigi komeetide orbiidid on ellipsid ja et kõik komeedid on järelikult meie päikesesüsteemi liikmed.

Komeetide olemuse süstemaatilist uurimist alustas Newton. Võttes aluseks 1860. aastal ilmunud komeedi näilised mõõtmed, leidis Newton, et selle komeedi saba pikkus on võrdne 240 000 000 kilomeetriga ja et tema pea läbimõõt ulatub 1 200 000 kilomeetrit. Komeedid osutusid hiiglaslikeks taevakehadeks, kuid asjaolu, et nad ei mõjutanud märgatavalt planeetide liikumist, sundis oletama, et nende mass on kaduvväike.

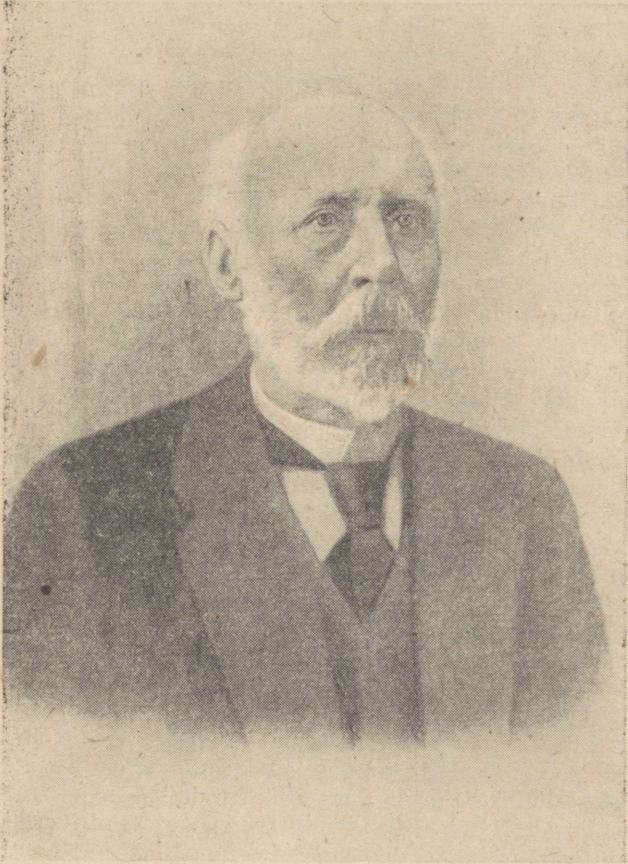
Arvutanud, et 1680. aasta komeet möödus Päikesest ainult ligikaudu ühe miljoni kilomeetri kauguselt selle keskmest ja ei lagunenu seejuures osadeks ega hajunud ruumi päikesekiirte kõrvetaval toimel, järeldas Newton, et komeedid sisaldavad peale gaaside veel tahkeid aineid, mis moodustavad väikese tuuma.

Newtoni arvates moodustub komeedi saba aurudest, mis eralduvad komeedi tuumast. Komeedi saba peegeldab talle langevaid päikesekiiri ja muutub seejuures nähtavaks.

Asjaolu, et komeetide sabad on suunatud Päikesest eemale, püüdis Newton seletada järgneva hüpoteesiga:

«Kaldun arvamusele,» kirjutas ta, «et nende sabaosakeste liikumise põhjuseks võib olla materia hõrenemine soojuse mõjul. Kaminakorstnas asuv ja soojuse mõjul hõrenenud õhk muutub kergemaks võrreldes naabruses oleva külma õhuga ning tõuseb üles, kiskudes enesega kaasa suitsuosakesi. Kas ei või samal viisil tõusta ka komeedi saba osakesed? Komeetide aurud on suutelised soojendama väga hõredat eetrilist keskkonda, hõrendades seda veel rohkem, ja tõusevad siis ühes sellega üles, moodustades saba.»

Selline seletus osutus puudulikuks. Palju lähemale täna-



Fjodor Aleksandrovič Bredihhin
(1831—1904).

päeva kujutlustele komeedisabade kohta jõudis meie suur kaasmaalane M. V. Lomonossov.

«Komeetide kahvatu valguse ja sabade põhjust,» kirjutas ta, «pole veel küllaldaselt uuritud, mina aga arvan, et see põhjus seisab kahtlematult elektrilises jõus... See nähtus on sarnane põhjavalgusega.»

XIX sajandi esimesel poolel töötasid Brandes ja Bessel välja «fontääni»-teooria komeetides toimuvate nähtuste kohta. Selle teooria kohaselt sarnastatakse komeedi tuumast välja paiskunud osakeste liikumist veepiiskade liikumisega purskkaevus. Fontääniteooria võimaldas esmakordselt kvantitatiivselt uurida komeetides toimuvaid nähtusi ning seletada komeedisabade kuju ja suunda (muidugi ainult üldjoontes).

Kaasaegse komeetide astronoomia alused rajas suur vene komeetideuurija Fjodor Aleksandrovitš Bredihhin (1831—1904). Ta lõi komeetide kujude kohta harmoonilise mehaanilise teooria, mis seletab kõiki põhilisi komeetides toimuvaid nähtusi. Bredihhini tööd seletasid igakülgselt Schiaparelli poolt möödunud sajandi 60. aastail kindlaks tehtud seost komeetide ja meteoroidide vahel. Meteorivoolude moodustumisele viiv komeetide lagunemine, komeedituumade jagunemine ja sellega kaasnev uute komeetide tekkimine — need on komeetide evolutsiooni peamised etapid, mida uuris ja seletas Bredihhin.

Bredihhini ajast peale etendavad meie maa teadlased komeetide uurimises juhtivat osa. Bredihhini tööde jätkaja, Stalini preemia laureaat, NSV Liidu Teaduste Akadeemia korrespondeeriv liige S. V. Orlov arendas ja täiustas tunduvalt komeetide kujude mehaanilist teooriat. Ta uuris üksikasjaliselt paljude komeetide ja eriti nende peade ehitust ning töötas välja komeetide kujude uue, füüsikalisest seisukohast põhjendatud klassifikatsiooni; samuti lahendas ta mõningaid komeetide evolutsioonis puutuvaid küsimusi ja seletas komeetide seost teiste päikesesüsteemi kuuluvate kehadega.

Professor S. V. Orlov on komeetide uurijate nõukogude koolkonna rajaja ning seisab selle eesotsas, kusjuures sellesse koolkonda kuuluvad oma tööde poolest üldtuntud teadlased S. K. Vsehsvjatski, A. D. Dubjago, B. J. Levin, S. M. Poloskov ja teised.

Oma edusammude eest võlgneb kaasaegne komeetide astronoomia paljus tänu nõukogude teadlastele.

4. KAASAEGSED KOMEETIDE UURIMISE MEETODID

Kaasaegses astronoomias rakendatavad komeetide uurimise meetodid on väga mitmekesised. Komeeti uuritakse igakülgset tema ilmumise hetkest väikese udulaigukesena tähistatava mustal taustal kuni tema kadumiseni.

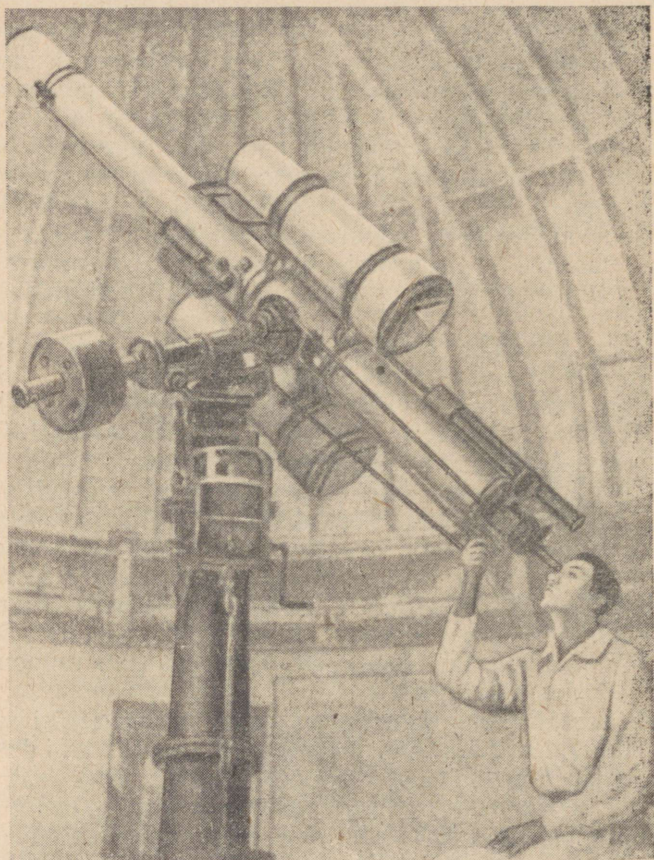
Nõrgalt helendavate uduliste objektide nagu komeetide avastamiseks ja uurimiseks on kõige sobivamaks instrumendiks valgusjõuline refraktor, mida nimetatakse komeediotsijaks. Juhtub aga ka, et komeete avastatakse tavaliste ja seejuures väikeste instrumentide abil, vahel aga isegi palja silmaga. Nii avastas näiteks nõukogude astronoom-asjaarmastaja S. M. Kozik aastatel 1936 ja 1939 kaks uut komeeti 3-tollise, halvakvaliteedilise refraktoriga ning kaks mordva astronoomi-asjaarmastajat Ahmarov ja Jurlov avastasid ühe uue komeedi 1939. aastal palja silmaga.

Praegu avastatakse komeete peaaesjalikult fotografeerimise teel. Fotoplaadil on rida väärtuslikke omadusi. Tal on võime pidevalt summeerida helendavast objektist tuleva valguse toimet ja seetõttu valgustusaja pikendamisel (teatava piirini) fikseerida järjest vähem heledaid tähti. Kiiresti kulgevate taevanähtuste, nagu näiteks meteoori lennu jäädvustamise käigus on fotoplaadil ka võime fikseerida objekti kõige peenemaid detaile, mida ükski kunstnik ei suudaks edasi anda. Foto on lõpuks vaba vaatlejale omastest subjektiivsetest vigadest ja kujutab seepärast uuritavat nähtust dokumentaalse täpsusega. Sel põhjusel rakendataksegi fotograafiat igakülgset kaasaegses astronoomias ja eriti komeetide uurimisel.

Taevakehade fotografeerimiseks kasutatakse erilisi suuri fotokaameraid, mida nimetatakse astrograafideks. Astrograaf ühendatakse tavaliselt refraktoriga nii, et mõlema instrumendi optilised teljed oleksid paralleelsed. Refraktor ja astrograaf kinnitatakse parallaktilisele kandelale, mis võimaldab neid pöörata kahe vastastikku perpendikulaarse telje ümber, kusjuures üks viimastest on suunatud maailma põhjapoolusele. Seda telge nimetatakse instrumendi tunni- ehk polaarteljeks ja ta ühtub kujuteldava «maailmateljega», mille ümber antud kohal toimub taevakehade näiv ööpäevane liikumine. Teise, niinimetatud käändetelje külge kinnitatakse ühelt poolt refraktor ja astrograaf, teiselt poolt aga neid tasakaalustav raske ese. Ühe-

aegne liikumine mõlema telje ümber võimaldab suunata instrumendi mistahes taevapunktile.

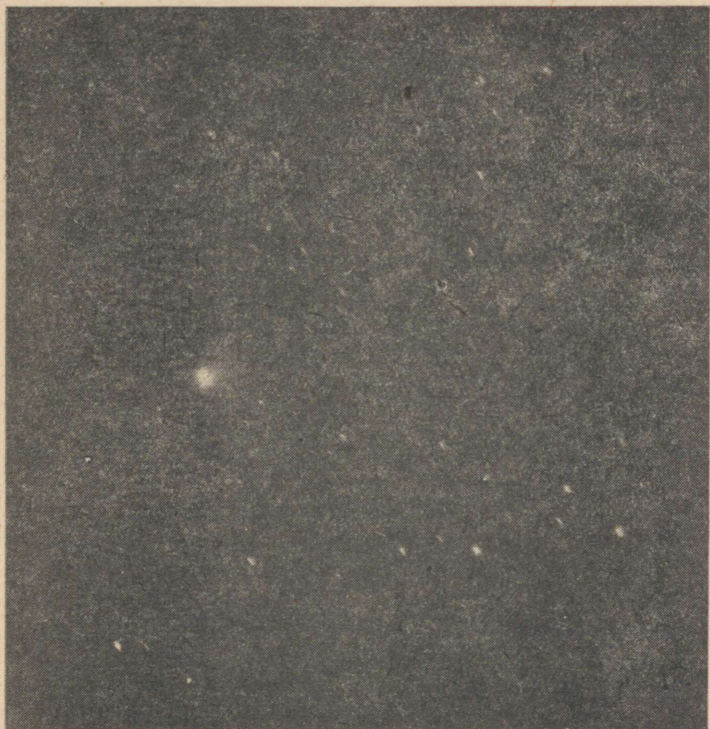
Vaatleja suunab teleskoobi objektile, kinnitab ta siis antud asendisse ja lülitab samaaegselt sisse kellamehha-



Joon. 4. Astrograaf.

nismi, mis aeglaselt pöörab teleskoopi ning astrograafi polaartelje ümber, järgides taevakeha liikumist. Kui kellamehhanism töötab täiesti õigesti, siis on objekt kogu aeg nähtav teleskoobi vaatevälja ühes ja samas punktis ning

projekteerub järelikut astrograafi fotoplaadi ühele ja samale punktile. Praktikas aga kontrollib vaatleja tavaliselt kella-mehhanismi käiku, vaadeldes teleskoobis mõnda tähte ja nihutades instrumenti erilise seadeldise abil nii, et täht ei kalduks kõrvale oma esialgsest asendist plaadil.



Joon. 5. Kauge komeedi foto.

Komeete fotografeeritakse pisut teisiti. Et komeet liigub tähtede suhtes, siis selleks, et saada komeedist teravat kujutist, nihutatakse teleskoopi mitte tähe, vaid komeedi liikumise järgi, nii et komeet jääb vaatevälja ühte ja samasse punkti. On arusaadav, et niisuguse fotografeerimisviisi korral jäävad tähed plaadile mitte täppide, vaid piklike laigukeste kujul.

Astrograafid on põhilised instrumendid komeetide uuri-

miseks. Jäädvustades paljusid nõrku tähti, avastab fotoplaadil ilmutava komeedi reeglipäraselt varem kui silm. Sel juhul aga, kui komeet läheneb ja tema välisilme rikastub arvukate ning vahel peente struktuuriliste detailide poolest, ei suuda ükski kunstnik kujutada seda keerukat pilti nii selgelt ja sellise dokumentaalse täpsusega, nagu seda teeb fotoplaadil. Fotograafilisi vaatlusi eelistatakse seepärast kõigil komeedi nähtavuse etappidel visuaalsetele, s. o. silmaga teostatud vaatlustele.

Seejuures tuleb tähendada, et üks ja sama komeet võib ühel ja samal hetkel paista fotoplaadil ning joonisel hoopis erisugusena, mis tuleb sellest, et inimese silm on eriti tundlik kollakasrohelistele, fotoplaadil aga sinakasviolettsetele kiirte suhtes. Silm ja plaad näevad komeeti erisugustes kiirtes, mida kiirgavad mõnikord komeedi eri osad, ja seetõttu pole imeks panna, et foto ning joonis võivad teineteisest erineda.

Eriti väärtuslik on visuaalsete ja fotograafiliste vaatluste kombinatsioon, mis tunduvalt hõlbustab komeedi struktuuri uurimist. Asi seisab selles, et komeetides toimuvad mõnikord üksikute detailide kiired muutused, mida fotoplaadil ei suuda fikseerida nii nende muutuste lühiajalisuse tõttu kui ka sellepärast, et ülevõtte kestel esinenud erinevad komeedi kujutised üksteist fotoplaadil katavad. Neil juhtudel on silma paremus fotoplaadi ees ilmne ja seepärast ei kaota komeetide visuaalsed vaatlused meie päevilgi oma teaduslikku tähtsust.

Hästiarenenud sabaga komeedi avastamise korral ei teki loomulikult kahtlust selles, et antud taevakeha on tõesti komeet. Enamasti avastatakse komeete aga siis, kui nad ei ole veel jõudnud Päikesele läheneda ning märgatavat saba moodustada. Sel juhul on komeet ainult tilluke udulaiguke väikese tähekujulise tihendiga — tuumaga — keskel. Selline kauge komeet sarnaneb väliselt udukogu või kerakujulise täheparvega. Küsimus, kas avastatud udulaiguke on tõepoolest komeet või mitte, laheneb lõplikult siis, kui pannakse tähele laigukese asukoha muutumist tähistaeva taustal. Uue komeedi avastamisel mõõdavad astronoomid selle asendi tähtede suhtes eri hetkedel, mis võimaldab määrata komeedi orbiidi ja arvutada komeedi edasise teekonna taevas.

Komeedi asend taevas määratakse erilise mikromeetri abil, mis on kinnitatud teleskoobi okulaarosa külge. See

võimaldab mõõtmise teel kindlaks teha komeedi tuuma nurkkauguse tuntud tähtedest ning leida sel viisil tuuma koordinaadid. Selliseid mõõtmisi teostatakse sageli ka komeedi fotograafilistel ülesvõtetel. Uue komeedi avastamisest teatatakse Kopenhaagenisse, kus asub Astronoomiliste Telegrammide Rahvusvaheline Büroo, sealt aga saadetakse kõigisse observatooriumidesse üle maailma telegrammid komeedi asendi ja liikumise kohta.

Komeedi edasine uurimine, peale süstemaatilise fotografeerimise ja visuaalse vaatlemise teleskoopidega, seisab komeedi heleduse määramises ja tema spektri saamises.

Terminil «komeedi heledus», mis iseloomustab vaatlaja silma sattuva valguse intensiivsust, on kahesugune tähendus. Komeedi heleduse all mõistetakse esiteks tema summaarset ehk, nagu sageli öeldakse, «integraalset» kiirgust, s. o. komeedi poolt maapinnal tekitatavat valgustustugevust. Seda väljendatakse nii luksides kui ka tähesuurustes (üksikasjalisemalt vaata lk. 26).

Peale selle on komeedi kui teatava ulatusega objekti pindheledus eri kohtades erisugune. Seda pindheledust määratakse valgustustugevusena, mille annab helendava keha pinnaosa ruuminurga ühiku (ruutminuti või ruutsekundi) kohta.

Kui komeet on näha palja silmaga ja kui tema näivad mõõtmed on väikesed, siis võrreldakse visuaalselt tema integraalset heledust läheduses asetsevate tähtede tuntud heledustega.

Teleskoobi okulaar seatakse väikese komeedi vaatlemisel veidi väljapoole fookust. Seejuures muutuvad tähtede kujutised helendavatest punktidest ebateravate piirjoontega ketasteks, mis rohkem sarnanevad komeediga, võimaldades komeedi heledust täpsemini hinnata.

Komeedi integraalset heledust on võimalik määrata ka ülesvõtteil.

Suure komeedi üksikosade pindheledust määratakse kõige sagedamini suuremastaabiliste ülesvõtete järgi. Sel juhul mõõdetakse eriliste fotomeetrite abil negatiivil komeedi kujutise eri osade tumedused, mida on siis võimalik ümber arvutada tähesuurusteks.

On olemas fotomeetreid ka komeedi heleduse visuaalseks määramiseks, kuid viimasel ajal on komeedi heleduse määramiseks hakatud tarvitama väga täpseid fotoelektrilisi fotomeetreid.

Komeetide spektreid saab uurida kolmel viisil. Esimene viis seisab komeedi spektri visuaalses vaatlemises hariliku spektroskoobiga, mis on kinnitatud teleskoobi okulaarosa. Möödunud sajandil oli see meetod laialt levinud, end nüüd seda peaaegu ei rakendata. Palju hõlpsam on komeedi spektrist teha ülesvõte, mida võib siis uurida rahulikes laboratoorseis tingimuses. Teiseks komeetide spektri uurimise viisiks, mida tänapäeva astronoomias laialdaselt tarvitatakse, ongi seepärast komeetide fotografeerimine piluspektrograafi abil. Spektrograafi pilu asetatakse teleskoobi objektiivi fookusse nõnda, et komeedi pea kujutis asuks valgustamise ajal pilu kohal. Teleskoopi ennast aga pöörab vaatleja kahe-kolmetunnise valgustamisaja vältel nii, et see järgiks komeedi liikumist. Sel teel on võimalik saada komeedi tuuma ja pea spektrogramme.

Nõrgalt helendavate komeedisabade spektreid saadakse tavaliselt teisel teel. Fotografeerimist teostatakse sel juhul prismakaamera, s. o. valgusjõulise fotokaamera abil, mille objektiivi ette on asetatud prisma. Negatiivile jääb rida komeedi kujutisi mitmesugustes spektrivärvides. Seda liiki spektrogrammide puuduseks on asjaolu, et komeedi kujutised mitmesugustes kiirtes katavad üksteist, mis raskendab nende uurimist. Erinevalt kitsastest ja korrapärastest spektrijoontest, mida annab spektrogrammil piluspektrograaf, on prismakaameraga saadavad komeedi monokromaatilised kujutised peale selle laiad ja ebareglipärased, mis tunduvalt alandab nende samastamise täpsust tuntud spektrijoontega.

Mida siis annavad kõik need komeetide uurimise meetodid?

Komeedi tuuma asendi määramine visuaalsel teel ja fotodel võimaldab välja arvestada komeedi orbiidi ning uurida komeedi liikumise iseärasusi. Komeedi üksikosade visuaalse ja fotograafilise vaatlemise ja nende osade suhteliste asendite määramise alusel saab uurida komeedi struktuuri, leida tema osade ja detailide mõõtmed ning välja selgitada komeediaine liikumise seaduspärased.

Andmed komeetide heleduse kohta rööbiti nende keemilise koostise detailse uurimisega võimaldavad tundma õppida nende helendamise mehhanismi, koostisosade liikumise üksikasju ja palju muud, mis loob selge pildi komeetides toimuvate protsesside kohta.

Kõigil juhtudel kaasneb iga uurimisetapiga saadud tulemuste teoreetiline tõlgitsemine, mis tugineb faktidele ja on kooskõlas kaasaegse teaduse üldise tasemega.

5. KOMEETIDE ORBIIDID

Komeedi orbiidi all mõistetakse kõverjoont, mida mööda liigub ruumis komeedi tuum. Komeedi tuuma liikumist määravaks põhijõuks on Päikese külgetõmme. Neil juhtudel, kui komeet läheneb mingisugusele suurele planeedile, tuleb arvestada ka selle külgetõmme. Muudel juhtudel planeedi tõmbejõudu ei arvestata ja eeldatakse, et komeedile mõjub ainult Päikese külgetõmme.

Newton tõestas, et üksnes Päikese tõmbejõu mõju all viibiv komeet võib liikuda ainult kas hüperbooli, parabooli või ellipsit mööda. Küsimusele selle kohta, missugune neist kõverjoontest on antud komeedi orbiidiks, võivad vastuse anda vaatlused. Selleks on vaja määrata komeedi tuuma asend tähtede suhtes mitmel erineval hetkel. Vaatluste põhjal arvutatud orbiit on seda lähedasem tegelikule orbiidile, mida pikema aja vältel on teostatud vaatlused.

Newton arvas, et «suuremas osas väljaspool planeetide piirkonda» viibivad komeedid liiguvad mööda suuri ja tugevasti väljavenitatud ellipseid, mis Päikese läheduses peaaegu ei erine paraboolidest. Paraboolse orbiidi määramine aga nõuab vähem vaeva, võrreldes elliptilise orbiidi määramisega. Newtoni poolt väljatöötatud teravamõtteline meetod võimaldas paraboolset orbiiti arvutada kolme vaatluse põhjal.

Mingisuguse taevakeha orbiidi määramiseks on vaja: 1) selgitada antud keha orbiidi tasandi asetus Maa orbiidi suhtes; 2) leida orbiidi asetus tema tasandis mõne tuntud suuna suhtes; 3) määrata orbiidi kuju ja mõõtmed, ning lõpuks 4) välja arvestada hetk, mil taevakeha läbib periheeli, s. o. oma orbiidi Päikesele lähima punkti.

Kõiki neid orbiidi karakteristikuid väljendatakse kindlates suurustes, mida nimetatakse orbiidi elementideks. Komeedi orbiidi arvutamise ülesanne seisab järelikult selle orbiidi elementide leidmises komeedi asendite järgi taevavõlvil, mis on määratud vaatluste põhjal.

Ümberpöörduvalt — mõne komeedi orbiidi elementide tundmine võimaldab koostada tema efemeeriidi (nii nime-

tatakse tabelit, kus on antud komeedi koordinaadid mitmesugustel hetkedel).

Efemeriidi võrdlemine komeedi tegelikult vaadeldud asenditega annab võimaluse parandada varem arvutatud orbiidi elemente ja lõpuks, arvesse võttes planeetide külgetõmmet, suure arvu täpsete vaatluste alusel arvutada niinimetatud lõplikku orbiiti.

Juba Newtoni ajal selgus, et rööbiti «paraboolsete» komeetidega, nagu näiteks 1680. aasta komeet, mille orbiit praktiliselt (vaatlustäpsuse piirides) ei erinenud paraboolist, on olemas ka perioodilisi komeete, mis tiirlevad ümber Päikese mööda ellipseid.

Esimesena perioodiliste komeetide hulgas avastati kuulus Halley komeet. Selle orbiit osutus tugevasti väljavenitatud ellipsiks, mille periheel asub Päikesele peaaegu kaks korda lähemal kui Maa, afeel * aga palju kaugemal kui Neptuuni orbiit. Oma määratu pika tee ümber Päikese läbib Halley komeet 76 aastaga.

Varsti tehti kindlaks, et on olemas perioodilisi komeete, mille orbiidid ja vastavalt ka tiirlemisperioodid on tunduvalt lühemad. XVIII sajandi lõpul avastati rida komeete, mille tiirlemisperiood võrdub ainult mõne aastaga. Need komeedid nimetati lühiperioodilisteks komeetideks. Kõige lühema perioodiga komeediks nende hulgas on 1949. aastal avastatud Wilson-Carringtoni komeet (1949 d), mis sooritab teekonna ümber Päikese 2,3 aastaga. Selle komeedi orbiit asub täies ulatuses Jupiteri orbiidi sees.

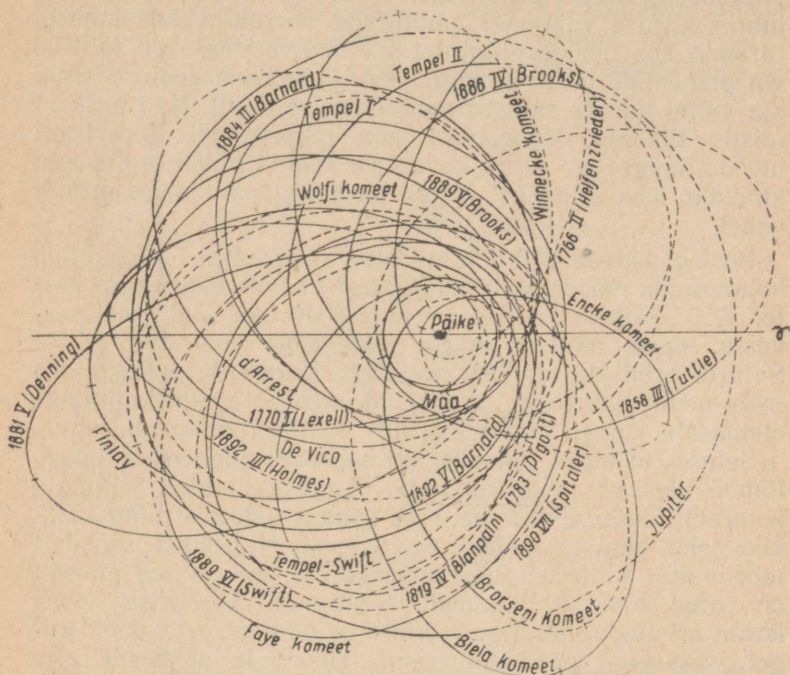
Praegu tuntakse ligi 170 elliptilise orbiidiga komeeti, mille tiirlemisperioodid kõiguvad 2,3 aasta ja kümnete miljonite aastate vahel. Perioodiliste komeetide elliptiliste orbiitide hulgas esinevad mitmesuguse väljavenitatuse ja suurusega orbiidid.

On olemas komeete (Schwassmann-Wachmanni, Oterma), mis tiirlevad ümber Päikese mööda peaaegu ringikujulisi orbiite. Teiste (Halley, Delavani) komeetide orbiidid kujutavad endast tugevasti väljavenitatud ellipseid. Rööbiti võrdlemisi väikeste orbiitidega, mis vabalt mahuvad Jupiteri orbiidi sisse (Encke komeet, 1949 d), esinevad hiiglaslikud orbiidid, mille afeelid asetsevad Päikesest kümneid tuhandeid kordi kaugemal kui Maa.

Erinevalt suurte planeetide orbiitidest, mille tasandid

* Afeel — Päikesest kõige kaugemal asuv orbiidi punkt.

peaaegu ühtivad, asuvad komeetide orbiidid tasandil, mis on sageli üksteise ja Maa orbiidi tasandi suhtes tugevasti kallutatud. See asjaolu lähendab komeete meteoriitidele ja osalt väikeplaneetidele (asteroididele).



Joon. 6. Lühiperioodiliste komeetide orbiidid.

Kas kõik komeedid kuuluvad perioodiliste hulka, s. t. kas on nende kõigi orbiidid ellipsid, või on olemas ka komeete, mis lähenevad meile tähtedevahelisest ruumist mööda paraboolseid või hüperboolseid orbiite?

Käesoleval ajal on arvatud 467 komeedi orbiidid. Nende seas on paraboolseid orbiite 250, elliptilisi 170 ja hüperboolseid 47.

Peab siiski märkima, et kõigile uutele komeetidele arvutatakse esialgu alati paraboolne orbiit, mille elementide järgi koostataksegi efemeriidid, mis võimaldavad jälgida komeedi liikumist taevavõlvil. Alles siis, kui on kogunenud

suur hulk vaatlusandmeid, võib märgata tõelise orbiidi kõrvalekaldumist paraboolist. Leitud erinevuste järgi arvutatakse siis selle komeedi elliptiline või hüperboolne orbiit.

Mehaanika seadustest järeldub, et liikumiseks mööda paraboolset orbiiti peab komeedil olema kindel kiirus, kusjuures kiiruse vähimagi muutumise korral hakkab komeet tiirlema kas mööda elliptilist või hüperboolset orbiiti. Kas või planeetide häiriva mõju tõttu ei saa komeedid pikema aja vältel liikuda rangelt paraboolisel orbiidil. Nad peaksid niisiis liikuma õigupoolest kas ellipsit või hüperbooli mööda, kuigi õige suure komeetide rühma puhul ei õnnestu kindlaks teha erinevust nende tõelise ja paraboolse orbiidi vahel.

Pealegi käivad kõik ülalloeletud andmed nende orbiitide kohta, mida mööda komeedid liikusid nende vaatlemise kestel, s. o. Päikese ja Maa läheduses. Kaugel Päikesest seevastu, nagu näiteks suurte planeetide, eriti Jupiteri ja Saturni orbiitide rajoonis, avaldab komeedile märgatavat mõju nende planeetide tõmbejõud, mis teatavate tingimuste olemasolu korral komeedi orbiiti põhiliselt muudab.

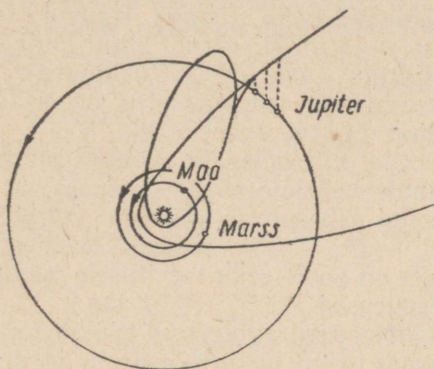
Selleks, et oleks võimalik arvesse võtta planeetide külgetõmbe häirivat mõju komeedi liikumisele, tuleb selgitada komeedi liikumise iseloom enne tema avastamist ning kindlaks teha, kas see komeet on mõnest planeedist lähedalt möödunud. Viimasel juhul määratakse, kuidas see planeet on antud komeedi liikumist mõjutanud. Sel viisil läheb korda arvutada, missugust orbiiti mööda komeet liikus kaugel väljaspool päikesesüsteemi, kus seda süsteemi võis lugeda komeeti külgetõmbavaks materiaalseks punktiks. Selliseid orbiite nimetatakse primaarseteks. Primaarne orbiit võib mõnikord palju erineda antud komeedi vaadeldud orbiidist (joon. 7).

Primaarsete orbiitide arvutamine on keerukas operatsioon, mis nõuab palju tööd, sest tuleb igakülgselt arvesse võtta planeetide häirivat mõju ja see kujutab endast väga rasket ülesannet. Selliseid arvutusi tasub teostada ainult siis, kui antud komeedi kohta on kogunenud palju usaldusväärseid ja täpseid vaatlusandmeid.

Käesoleval ajal on arvutatud 22 komeedi primaarsed orbiidid. Nad on kõik ellipsid. Seepärast võib väita, et vaadeldud hüperboolsed orbiidid pole midagi muud kui suurte planeetide häiriva mõju või ebatäpsete vaatluste tulemus. Paraboolsed orbiidid aga on vastavalt ülalöel-

dule ebareaalsed. Kõik komeedid on järelikut meie päikesesüsteemi liikmed, mis tiirlevad ümber Päikese mööda elliptilisi orbiite.

Mõni sõna komeetide tähistamisest. Kui avastatakse mingisugune komeet, siis antakse talle oma nimetus. Antud aastal esimesena avastatud komeeti tähistatakse aastaarvuga ja tähega «a», näiteks 1953 a. Samal aastal järgmistena avastatud komeete tähistatakse aastaarvuga ja



Joon. 7. Primaarse orbiidi muutumine Jupiteri mõjul.

ladina tähestiku järgnevate tähtedega vastavalt komeetide avastamise järjekorrale antud aastal (1953 b, 1953 c jne.). Selle nimetuse kõrvale kirjutatakse sulgudes komeedi avastaja nimi, näiteks komeet 1929 b (Neuimin). Kõik need nimetused on aga esialgsed. Pärast seda kui uute komeetide orbiidid on arvatud ja periheeli läbimise hetked määratud, nummerdatakse komeedid rooma numbritega mitte avastamise, vaid periheeli läbimise momentide järjekorras (näiteks komeedid 1951 I, 1951 II jne.).

Päikese juurde korduvalt tagasi pöörduvad komeedid saavad iga kord uue tähistuse. Komeeti 1786 I näiteks nimetati tema järgmiste ilmumiste puhul komeediks 1819 I, 1822 II jne.

Praegu avastatakse igal aastal mitu komeeti, üksikuil aastail aga avastatakse kümme ja rohkem sellist taevakeha.

6. KOMEEDI HELEDUS JA SELLE MUUTUSED

Taevakeha heleduseks nimetatakse selle taevakeha poolt maapinnal tekitatavat valgustustugevust. Heledust väljendatakse nii tavalistes valgustuse ühikutes luksides (lx) kui ka erilistes astronoomilistes heleduse ühikutes, mida nimetatakse tähesuurusteks.

Juba muistsel ajal nimetati kõige heledamaid tähti I. suurusjärgu (1^m) tähtedeks, kõige nõrgemaid tähti aga, mis on veel nähtavad palja silmaga, kuuenda (6^m) suurusjärgu tähtedeks. Möödunud sajandi algul jõuti selgusele, et n -nda suurusjärgu tähe valgustustugevus on umbes 2,5 korda (kaasaegses astronoomias on selleks suhteks leppeliselt võetud 2,5119) suurem kui $n+1$ suurusjärgu tähe oma. Mõnede eriti heledate tähtede, planeetide, Kuu, Päikese ja muude heledate objektide jaoks on tänapäeval tarvitusele võetud tähesuurus null ja negatiivsed tähesuurused (0^m , -1^m , -5^m); seoses heleduse mõõtmise täpsuse kasvuga on peale selle tarvitusele võetud ka mürdarvulised tähesuurused ($3^m,97$; $6^m,51$ jne.).

Oletame, et täht suurusjärguga null tekitab tasandil, mis on risti tähe kiirtega, valgustustugevuse, mis võrdub a luksiga. I. suurusjärgu tähe poolt tekitatud valgustustugevus on sel juhul $\frac{a}{2,5}$ ehk $a \cdot 2,5^{-1}$ luksi, -1 . suurusjärgu tähe puhul aga $a \cdot 2,5^{+1}$ luksi. Siit järeldub, et m -nda suurusjärgu tähe valgustustugevus $A = a \cdot 2,5119^{-m}$ luksi.

Koefitsiendi a väärtuseks, mis leiti katseliselt, osutus $2,13 \cdot 10^{-6}$.

Saadud valemi abil võib seega iga tuntud tähesuurusega taevakeha heledust väljendada luksides.

Komeedi näivat heledust määratakse sageli komeedi pea heleduse võrdlemise teel tähtedega, mille tähesuurustes väljendatud heledused on juba teada.

Olgu näiteks võrdlustähtede (η Suure Vankri ja γ Karjase tähtkujus) heledused $\eta = 2^m,26$ ning $\gamma = 3^m,34$. Oletame, et tegime komeedi k näiva heleduse vaatlemisel järgmise hinnangu: $\eta 2^k 3 \gamma$. See tähendab, et vaatleja on mõttes jaganud η ja γ heleduste vahe viide ossa ning leidnud, et komeet on oma heleduselt tähele η lähedasem kui tähele γ . Komeedi heleduse leidmiseks jagame võrdlustähtede heleduste vahe, mis on $1^m,08$, viiega, saades $0^m,22$

ja siit leiame, et komeedi heledus $k = 2^m,26 + 2 \cdot 0^m,22 = 2^m,70$.

Sel teel saab vaatluste alusel leida komeedi näiva heleduse. Tulemuste täpsus sõltub muidugi sellest, kuivõrd täpselt vaatleja hindab komeedi heledust.

Olgugi et kallid ja keerukad elektrofotomeetrilised vaatlusmeetodid ilmselt ületavad oma täpsuselt komeetide heleduse lihtsaid visuaalseid hinnanguid, on viimased siiski seniajani laialt levinud ning neil on suur teaduslik tähtsus.

Komeedi näiv heledus sõltub tema kaugusest Päikesest ja Maast. Eri komeetide heleduste omavaheliseks võrdlemiseks arvutatakse seepärast välja komeedi absoluutne heledus, s. o. komeedi heledus 1 astronoomilise ühiku kaugusel nii Päikesest kui Maast.

Komeedi absoluutse heleduse võib leida järgmiselt. Olgu komeedi absoluutne heledus tähesuurustes H_0 . Sellele vastav valgustustugevus A_0 on siis $a \cdot 2,5^{-H_0}$. Oletame, et Maast kaugusel ϱ asuva komeedi heledus osutus vaatluste alusel võrdseks A_1 luksiga. 1 a.ü. kaugusel asuva komeedi heledus on siis $A_1 \varrho^2$.

Komeedi kaugus Päikesest olgu vaatluse hetkel r . Nagu selgub vaatlustest, võib lugeda, et komeedi heledus suureneb ligikaudu pöördvõrdeliselt kaugusega Päikesest n -ndas astmes. Päikesest ja Maast 1 a.ü. kaugusel asuva komeedi heledus on siis $A_1 \varrho^2 r^n = A_0$.

Väljendades seda tähesuurustes, saame:

$$a \cdot 2,5^{-H_1} \varrho^2 r^n = a \cdot 2,5^{-H_0};$$

taandades a ja logaritmidest saame võrrandi

$$-0,4 H_1 + 2 \lg \varrho + n \lg r = -0,4 H_0$$

ehk

$$H_0 + 2,5 n \lg r = H_1 - 5 \lg \varrho.$$

Komeedi absoluutne heledus H_0 ja astmenäitaja n heleduse muutumise seaduses on saadud võrrandis tundmatud suurused. Mis puutub r -sse ja ϱ -sse, siis need on antud komeedi efemeriidides, komeedi näiv heledus (H_1) aga määratakse vaatluste teel.

Maksimaalselt täpsete H_0 ja n väärtuste saamiseks kasutatakse võimalikult suurt arvu vaatlusi komeedi heleduse kohta ning koostatakse süsteem paljudest kahe tundmatuga (H_0 ja n) võrranditest. Selliseid süsteeme lahendatakse niinimetatud vähimruutude meetodi järgi. Toome lihtsa näite.

Professor S. V. Orlovi poolt teostatud vaatlused komeedi 1911 V heleduse kohta andsid järgmisi tulemusi:

Vaatluste kuupäevad	$\lg r$	$\lg \rho$	H_1	Võrrandid
27. august	0,142	-0,212	$5^m,43$	$H_0 + 0,142 x = 6,49$
12. september	0,047	-0,281	$4^m,19$	$H_0 + 0,047 x = 5,59$
3. oktoober	-0,122	-0,254	$2^m,70$	$H_0 - 0,122 x = 3,97$

Toodud võrrandites $x = 2,5 n$. Liites need võrrandid liikmeti ning jagades iga liikme võrrandite arvuga, saame:

$$H_0 + 0,022x = 5,35.$$

Saadud võrrandi lahutame liikmeti igast tabelis antud võrrandist. Sel teel saame järgmised võrrandid:

$$0,120x = 1,14,$$

$$0,025x = 0,24,$$

$$0,144x = 1,38.$$

Nende võrrandite liitmise teel saame: $0,289x = 2,76$; järelikult $x = 9,55$ ja $n = 3,8$. Et x on meil teada, siis leiame võrrandist $H_0 + 0,022x = 5,35$ ka H_0 , mis on $5^m,14$.

Komeetide heleduse muutumise sõltuvuse süstemaatilist tundmaõppimist nende taevakehade kaugusest Päikesest alustas suurim nõukogude komeetideuuriija prof. S. V. Orlov juba 1910. aastal. Hiljem aga töötas prof. S. K. Vsehsvjatski läbi kõik olemasolevad fotomeetriliste vaatluste andmed 230 komeedi kohta ja avaldas 1933. aastal kõigi komeetide absoluutse heleduse üldkataloogi, mis algab 1066. aasta komeediga (Halley) ning lõpeb komeediga 1932 m (Brooks). Selle kataloogi alusel, mis pakub väga väärtuslikku materjali komeetide füüsikalise olemuse uurimiseks, leidis S. K. Vsehsvjatski, et heleduse muutumise seaduses esinev suurus n võrdub keskmiselt ligikaudu 4-ga. See tähendab, et Päikesele lähenemisel kasvab komeedi heledus väga kiiresti. Nii kasvab näiteks komeedi heledus 10-kordsel Päikesele lähenemisel 10 000 korda!

Absoluutselt heleduselt erinevad komeetid üksteisest väga palju. Kõige heledam oli 1729. aasta komeet, mille absoluutne heledus oli -3^m , ja kõige nõrgem komeet

1922 II, mille absoluutne heledus oli $14^m,8$. On kerge arvutada, et esimene neist kiirgas 10 miljonit korda rohkem valgust kui teine.

Ei tule arvata, et suure absoluutse heledusega komeedid on Maalt tingimata hästi nähtavad. Komeedi absoluutne heledus iseloomustab ainult tema potentsiaalseid võimalusi valguse kiirgamiseks, kusjuures need võimalused võivad jääda ka realiseerimata (see käib näiteks suure periheelikaugusega komeetide kohta). Komeedi näiv heledus sõltub



Joon. 8. 1843. aasta suur komeet.

mitte üksnes tema absoluutsest heledusest, vaid ka muudest asjaoludest. Komeedi näiv heledus on seda suurem, mida rohkem komeet läheneb Maale. Peale selle on mõõduandev ka komeedi periheelikaugus, ja nimelt mida väiksem see on, s. o. mida rohkem võib komeet läheneda Päikesele, seda suurejoonelisemat saba (või sabasid) ta omab ja seda efektselt ta näib taevavõlvil. Nii paistis näiteks määratu suure sirge sabaga komeet 1843 I palju toredamana ning grandioossemana kui komeet 1811 I, kuigi esimese komeedi absoluutne heledus oli 360 korda nõrgem teise omast.

Komeedi 1843 I säärase efektse esinemise põhjus seisab selles, et ta erinevalt komeedist 1811 I möödus väga lähedalt Päikesest ja tema heledus kasvaski seepärast sel perioodil väga tugevasti.

Üks ja seesama komeet võib ka maakera eri paikades näida erisugusena. Halley komeet näiteks oli aastail 1909—1911 suurepäraselt nähtav Kaukaasias ja äratas oma määratu suure saba tõttu üldist tähelepanu, Venemaa keskoblastites aga näis ta mai- ja juuniööde heledal taustal tuhmi, uduse 3. suurusjärgu tähekesena, millel polnud mägata saba jälgegi.

Komeetide jaotamine näiva heleduse järgi suurteks, palja silmaga nähtavateks, ning teleskoopilisteks komeetideks on seepärast küllaltki tinglik ja ebamäärane. Mitte komeedi näiv heledus, vaid tema absoluutne heledus koos astmenäitajaga n on selles suhtes komeedi tähtsaks füüsikaliseks karakteristikuks, mis väljendab tema valguse kiirgamise võimet.

7. KOMEEDI TUUMA OLEMUS

Kui komeet koosneks ainuüksi gaasidest, siis hajuksid need, arvesse võttes nende erakordselt väikest tihedust ja väikest kogumassi, suitsupilvekese taoliselt kiiresti ruumi ja komeet lakkaks eksisteerimast. Komeedid on aga võrdlemisi stabiilsed taevakehad, mis tiirlevad ümber Päikese mööda elliptilisi orbiite ja eksisteerivad vähemalt mitusada aastat. Kõik see näitab, et komeedis sisaldub tahke osa, mida nimetatakse komeedi tuumaks.

Komeedituumade massid ja mõõtmed on kindlasti väga väikesed. Selle järelduse kasuks räägivad paljud faktid. Lexelli komeet näiteks läbis juba 1770. aastal Jupiteri kaaslaste süsteemi ega põhjustanud nende liikumises mingeid märgatavaid muudatusi. See asjaolu oli tõestuseks, et komeedi mass on tunduvalt väiksem Maa omast. Sama aasta juulis lendas Lexelli komeet Maast mööda ainult 2,4 miljoni kilomeetri kauguselt. Kui komeedi mass oleks võrduanud Maa massiga, siis oleks Laplace'i arvutuste kohaselt komeedi häiriva mõju tulemusel maapealne aasta pikenenud 2 tunni 48 minuti võrra. Edasised uurimised näitasid aga, et see aasta ei pikenenud isegi 3 sekundi võrra. Siit saab arvutada, et Lexelli komeedi mass ei ületa $1/5000$ Maa omast.

Teisest küljest pole komeedi näiv tuum — komeedi peas esinev tähekujuline helendav tomp — ilmselt mitte tahke keha. Vaatlused näitavad, et Maale lähenemisel näiva tuuma läbimõõt väheneb, Maast eemaldumisel aga uuesti

suureneb. Halley komeedi näiva tuuma läbimõõt näiteks muutus 1910. aastal järgmiselt: 13. aprillil oli ta võrdne 10 200 km-ga, 10. mail 1600, 23. mail 460 ja 11. juunil 3700 km-ga!



Joon. 9. Halley komeet 1910. aastal.

On selge, et kui näiv tuum oleks olnud tahke moodustis, siis poleks tema tõeline, kilomeetrites väljendatud läbimõõt sõltunud tema kaugusest Maast. Tegelikult aga sõltuvad komeedi näiva tuuma mõõtmed mitte ainult kaugusest, vaid ka vaatleja käsutuses oleva instrumendi võimsusest. Ilmneb, et mida suurem on teleskoop ning mida tugevam on

vaatlusel tarvitav suurendus, seda väiksem on näiv tuum. Kõik see tõendab, et näiv tuum ei ole midagi muud kui sfääriline gaaside kogum, mille tihedus suureneb keskme poole ja mis ümbritseb tõelist tahket ning väga väikest tuuma.

Missugused on siis tõeliste komeedituumade mõõtmed?

1910. aasta mais möödus Halley komeedi tuum Maa ja Päikese vahelt, projekteerudes seejuures Päikese kettale. Vaatamata sellele, et komeedi tuuma nähtav teekond Päikese ketta kohal oli arvutuste teel kindlaks tehtud, ja hoolimata sellest, et vaatlusteks tarvitati võimsaid teleskoope, ei õnnestunud Päikese kettal avastada jälgegi Halley komeedi tuumast. Tarvitatud instrumentide võimsusest lähtudes arvutati, et Halley komeedi tuuma läbimõõt ei ületa 30 km.

1927. aasta juunis lähenes väga väikesele kaugusele Maast (5,8 miljonit kilomeetrit) Pons-Winnecke komeet (1927 VII). Meudoni observatooriumi võimsa refraktoriga (objektiivi läbimõõt 83 sentimeetrit) õnnestus oletatavasti komeedi tõelist tuuma näha. See paistis nõrga, 14. suurusjärgu tähekesena. Eeldades, et komeedi tuum peegeldab 10% talle langevast päikesevalgusest, leidis astronoom Baldé, et komeedi 1927 VII tuuma läbimõõt on ligikaudu võrdne 400 meetriga. Samasugune läbimõõt oli Baldé uurimiste kohaselt ka komeedi 1930 VI tuumal. Hiljem tehti palju katseid komeedituumade massi ja mõõtmete kindlaksmääramiseks, kusjuures lähtuti mitmesugustest hüpoteesidest nende struktuuri kohta. Kõige rohkem huvi pakuvad selles suhtes viimaseil aastail teostatud tööd.

1945. aastal analüüsis B. A. Vorontsov-Veljaminov üksikasjaliselt mitmesuguseid komeedituumade mõõtmete määramise meetodeid. Tol ajal valitses ammu väljakujunenud ettekujutus komeedituumadest kui üksikute pangataoliste meteoriitide võrdlemisi tihedatest kogumitest. Lähtudes sellest, töötas B. A. Vorontsov-Veljaminov välja uue meetodi, mis võimaldas arvutada nii tuuma üldläbimõõtu kui ka teda moodustavate pankade ligikaudseid mõõtmeid.

B. A. Vorontsov-Veljaminov rakendas seda meetodit Halley komeedi puhul ning leidis, et selle ligikaudu 60-kilomeetrise läbimõõduga tuum koosneb umbes miljonist üksikust pangataolisest meteoriidist, kusjuures iga panga läbimõõt kõigub 150 m piirides.

Sellist tahketest kehast koosnevat tihedat parve Päikese külgetõmbest põhjustatud looded purustada ei suuda ja see-

pärast on ta küllaltki püsiv ning pikaeline. B. A. Vorontsov-
Veljaminovi poolt tarvitusele võetud tuumamudelil on aga
teisi puudusi.

Kaasani astronoom A. D. Dubjago näitas 1950. aastal, et
niisuguses tuumas olevad üksikud pangad peavad üks-
teisega iga mõne minuti tagant kokku põrkama, kusjuures
nad purunevad ja pihustuvad. Et kokkupõrgetel eraldub
soojus, mis jäädavalt lahkub tuumast, hakkab tuuma üldine
mehaaniline energia pidevalt kahanema. Selle tulemusel
lakkab lühikese ajaga üksikute pankade liikumine tuumas ja
parv muutub ühtseks kompaktses kehaks.

Kuid siin tekivad uued raskused. Komeedi tuuma ei saa
pidada võrdlemisi väikeste mõõtmetega monoliitseks kehaks,
sest sel juhul oleks arusaamatu, kuidas saab niisuguse
tuuma väga väikeselt pinnalt eralduda Päikesele lähene-
misel palju gaase.

Väljapääs raskustest on tänapäeval leitud komeedi tuuma
«jäämudelis». Uusimate vaadete kohaselt koosneb komeedi
tuuma põhimass mitmesugustest jäästunud gaasidest —
metaanist, ammoniaagist, süsihappegaasist jne. Peale selle
esineb seal ka jäästunud vesi. Kõik need «jääd» pole puh-
tud — nad on segatud arvukate tahkete, raskesti sulavate
metall- või kiviosakestega. Kui niisugune monoliitne «jää-
tuum» läheneb Päikesele, siis tardunud gaasid sublimeeru-
vad (aurustuvad, ilma et nad vahepeal vedelduksid), tahked
osakesed aga, millega nad olid segatud, sadestuvad tuuma
pinnale ja moodustavad rohkem või vähem paksu, tahkest
tolmust koosneva kihi. Selle kihi halb soojusjuhtivus kait-
seb «jäätuuma» liiga kiire aurustumise vastu ja kindlustab
komeedile küllaltki pika ea.

Tuuma «jäämudel» lahendab edukalt rea seniajani eba-
selgeks jäänud küsimusi. Kõigepealt seletab ta hästi suure
hulga gaaside olemasolu, mis eralduvad väikesest komeedi-
tuumast, sest jäästunud gaaside kontsentratsioon on tuu-
mas väga suur. Teiseks tekib suure hulga gaaside välja-
paiskumine «jäätuumast» reaktiivse rõhu tuumale, millega,
nagu näitas A. D. Dubjago, saab hästi seletada ammutuntud
sekulaarseid aeglustumisi või kiirenemisi lühiperioodiliste
komeetide liikumises.

Viimaste aastate uurimiste alusel võib järeldada, et
mitmesuguste gaaside tahked kondensaadid «mustunud»
jää osakeste kujul esinevad nii meie päikesesüsteemis kui
ka väljaspool selle piire.

Uurides suurte planeetide tekkimise probleemi O. J. Schmidt'i teooria järgi, jõudis B. J. Levin juba 1949. aastal järeldusele, et hiidplaneetide tsoonis esinevad tardunud gaasidest koosnevad tahked kehad. Juba siis püstitas ta hüpoteesi suure arvu mitmesuguste «jääd» olemasolu kohta komeedituumades. Teisest küljest on Saturni rõngaste spektris avastatud veehärmatise neeldumisribad. Lõpuks on väga tõenäoline, et tähtedevahelise tolmu kübemekesed on jää killud, millesse on segunenud raskesti sulavat ainet.

Uusimate andmete valguses kujutavad komeedituumad endast seega väga omapäraseid kehi, mille sarnasus planeetide ja meteoriitidega on väike. On võimalik, et komeedituumad sarnanevad suurte planeetide pisikaaslastega, mis koosnevad nähtavasti samuti peamiselt jäästunud gaasidest.

8. KOMEETIDE KOOSTIS JA HELENDUS

Spektraalanalüüs võimaldab teada saada, missugused molekulid põhjustavad komeetide peade ja sabade helendamist; spektraalanalüüsi abil on samuti võimalik kindlaks teha tahke, Päikese kiiri peegeldava tolmu olemasolu komeetides. Lahendamatuks jääb aga seejuures küsimus spektri nähtamatutes piirkondades kiirgavate molekulide olemasolu kohta komeetides. Komeedid sisaldavad kahtlemata selliseid molekule, ent nende eksisteerimise üle saame, nagu on näidatud allpool, otsustada ainult kaudsete andmete alusel.

Juba esimesed, 1864. aastal alustatud komeetide spektrite visuaalsed vaatlused tõestasid nende keerukat iseloomu. Hiljem, 1907. aastast peale, algas komeetide spektrite süstemaatiline fotografeerimine, tänu millele õnnestus tungida spektri ultravioletsesse ossa, mida inimsilm ei taju. Komeetide spektritest teame käesoleval ajal põhiliselt järgmist.

Komeetide eri osad annavad erisuguseid spektreid. Komeedi näiv tuum ja selle lähim ümbrus tekitavad paljude tumedate joontega pideva spektri, mis on Päikese spektri nõrgendatud koopias. Päikesekiirte lihtne peegeldumine komeedi tõeliselt tuumalt seda spektrit põhjustada ei saa, sest see tuum on väga väike ja kaasaegsed uurimisvahendid tema spektrit avastada ei suuda. Näivate komeedituumade pideva spektri tekkimisviis on esialgu ebaselge. On võimalik, et komeedi pea gaasid oma suure kontsentratsiooni

tõttu hajutavad tuuma läheduses päikesekiiri samal viisil, nagu seda teeb Maa atmosfäär. Võib olla, et komeedi tuuma ümbritseb pilv, mis koosneb päikesekiiri peegeldavatest väikestest tahketest tolmutüüpemestest. See probleem lahendatakse tulevikus.

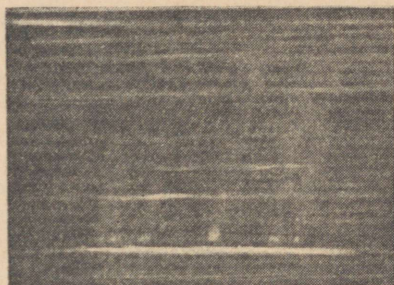
Kõige intensiivsemaid kiirgusi, mis on komeetide spektrites ülekaalus, võib täheldada komeedipeades. Komeedi pea spektril on alati gaasispektri iseloom. Ta koosneb üksikutest ribadest, mis on iseloomulikud molekulide spektritele.

Komeedi pea spektri nähtavas osas paistavad silma kolm riba (kollane, roheline ja helesinine), mis kannavad Swani spektri nime ning on omased süsiniku molekulidele (C_2). Spektri violetses ja ultravioletses osas on avastatud ribade grupid, mille tekitajateks on tsüaani (CN) ja oletatavasti C_3 molekulid. Viimaste aastate üksikasjalised uurimised on peale selle võimaldanud avastada komeedipeade koostises OH, NH ja NH_2 molekule ning ühekordselt ioniseeritud CH^{+*} molekule. See, et komeedipeade koostises esinevad neutraalsed CH molekulid, oli teada juba varem.

Komeedipeade võrdlemisi intensiivne helendus võimaldab nende spektrit detailselt uurida. Palju raskem on saada ja uurida nõrgalt helendavate komeedisabade spektrit. Selleks, nagu juba märgitud, tuleb kasutada enamasti prisma-kaameraid, kuid niisuguste kaamerate abil saadud spektritel katavad komeedi monokromaatilised kujutised osaliselt üksteist ja see asjaolu raskendab tunduvalt nende kujutiste samastamist tuntud gaaside kiirgamisjoonte ning -ribadega. Seepärast tõlgitsetaksegi mitmeid komeedisabade spektrogramme erisuguselt ja lõpliku selguse sellesse küsimusse toob alles tulevik. Viimasel ajal on saadud komeedisabade piluspektrogramme, eriti komeedi 1947 k saba kohta, mis enesest mõista tunduvalt hõlbustab nende uurimist. Esialgu aga seisab väljaspool kahtlust, et komeedisabade hulgas esineb nii gaasilisi kui ka tolmsid. Gaasilistes sabades võib tähele panna üksikuid ribasid, mis on omased lämmastiku (N_2^+) ja vingugaasi (CO^+) ioniseeritud molekulidele. Päikese valgust peegeldavate tolmsabade spektrid kujutavad endast nähtavasti Päikese spektri nõrgendatud koopiasid, kuigi fraunhoferi jooni pole neis vaatluste teel esialgu võimalik avastada.

* Märk + tähendab antud molekuli ühekordset ionisatsiooni.

Komeedi lähenemisel Päikesele vähem kui 0,8 a.ü. kaugusele ilmuvad tuuma lähedal asuvate pea osade spektrisse naatriumi jooned. Ainult üks kord, 1882. aastal, õnnestus astronoomidel vaadelda komeedi (1882 II) spektrit sel momendil, kui tema kaugus Päikesest oli ainult 0,01 a.ü. Visuaalselt vaadeldud spekter oli ebatavaline: heleda ning pideva vikerkaarevärvilise riba taustal helkisid arvukad jooned spektri punases, kollases ja rohelises osas. Hiljem selgus, et need olid naatriumi (Na), nikli (Ni), raua (Fe),



Joon. 10. Morehouse'i komeedi (1908 III) spekter, mis on saadud prismakaamera abil.

kroomi (Cr), vingugaasi (CO) ning varem tuntud süsiniku (C₂) molekulide jooned.

Komeedi eri osade koostis on seega spektraalanalüüsi andmete kohaselt erisugune. Komeetide pead on alati gaasilised, koosnedes peamiselt süsiniku, tsüaani ja mõnede süsivesinike molekulidest. Komeetide sabad võivad koosneda nii tolmu kui ka gaasidest, kusjuures viimaste koostisse kuuluvad lämmastiku ja vingugaasi ioniseeritud molekulid.

Komeetide spektrite detailse uurimise tulemusena selgus, et komeetide helendus on külm helendus, mille põhjustajaks on komeedi gaasilistes osades luminesentsprotsessid, tolmsabades ja tuumas aga päikesevalguse peegeldumine. Luminesents on laialdaselt tuntud nähtus, sest klaastorudest koosnevate tänavreklaamide ja «päevavalguslam-pide» valguse tekitab ju neis sisalduvate ainete luminesents. Reklaamtorude helendus erineb aga oluliselt komeetide luminesentsist. Gaasi molekulide külma helen-

dust torudes põhjustavad elektrivälja mõjul liikuvate elektronide löögid. Komeetide luminesentsi aga põhjustab Päikese kiirgus. Komeedi koostisse kuuluvate gaaside molekulid neelavad päikesekiirte energiat ja kiirgavad seda viivitamatult edasi, ilma et valguslainete pikkus seejuures muutuks. Niisugust külma helendamise protsessi nimetatakse resonantskiirgamiseks ehk fluorestsentsiks.

Komeedi pea koostisega tutyumisel köidab tähelepanu üks iseloomulik detail: komeedipeades esinevad molekulid, mis on keemilises suhtes ilmselt ebastabiilsed; need molekulid ühinevad väga kiiresti teiste molekulidega ja tunduva tiheduse tingimustes neid seepärast tavaliselt ei esine. Niisuguste molekulide hulka kuuluvad mitmesugused «radikaalid» — CH, NH, OH ja teised. Asjaolu, et nad võrdlemisi püsivalt eksisteerivad komeedipeades, seletub sellega, et gaaside tihedus komeetides on kaduvväike (miljardeid kordi väiksem toaõhu tihedusest), mistõttu need molekulid praktiliselt omavahel kokku ei pörka ega liitu üksteisega. Sel juhul aga kerkib üles teine küsimus: kuidas siis tekivad need ebastabiilsed molekulid?

Enne tuuma «jäämudeli» ilmumist valitses B. J. Levini poolt 1943. aastal püstitatud ja hiljem edasi arendatud hüpotees, mille olemus seisab järgmises.

Komeedituumadel on nagu kõigil teistelgi tahketel kehal võime akumulierida oma väliskihti, vahel aga ka kogu ruumalasse mitmesuguseid gaasimolekule. Protsessi, mille puhul tahke keha imab gaasi, nimetatakse sorptsiooniks, kusjuures tehakse vahet pinnapealse sorptsiooni (adsorptsiooni) ja ruumalase sorptsiooni (absorptsiooni) vahel. Sorbeeritud gaasid lähevad kristallidevahelistesse ja kristallide sees olevatesse mikroskoopilistesse lõhedesse, mida leidub igas tahkes kehas.

Tahke keha soojenemisel hakkavad tema poolt sorbeeritud molekulid kiiresti liikuma, kusjuures mõned neist satuvad keha pealispinnale ning erituvad ümbritsevasse ruumi. Pinna 1 cm²-lt ühe sekundi vältel erituvate sorbeeritud molekulide arvu n saab arvutada valemi järgi:

$$n = n_0 \sqrt{\frac{kT}{2\pi m}} e^{-\frac{L}{RT}},$$

kus n_0 on 1 cm³-s sisalduvate molekulide arv, k — Boltzmanni konstant, m — molekulide mass, T — temperatuur,

R — absoluutne gaasikonstant, L aga on niinimetatud sorptsioonisoosus, s. o. kalorites väljendatud soojushulk, mis on vajalik selleks, et erituks üks gramm-molekul antud gaasi.

Laboratooriumides olemasolevate meteoriitide kuumutamise teel on võimalik nende poolt sorbeeritud gaase vabastada. On selgunud, et meteoriidid sisaldavad CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , N_2 , $(\text{CN})_2$ ja teisi molekule.

Oletame, et komeedituumade poolt on sorbeeritud analoogilisi gaasimolekule. Päikesele lähenemisel komeedituumast absoluutne temperatuur T kasvab, kusjuures temperatuuri seost komeedi kaugusega Päikesest r (astronoomilistes ühikutes) võib ligikaudselt väljendada lihtsa valemi abil:

$$T = \frac{300}{\sqrt{r}}.$$

Nagu vaatlused näitavad, hakkavad komeedi tuumast juba 1,5—2 a.ü. kaugusel Päikesest, s. o. võrdlemisi madala (-150°C piirides) temperatuuri juures erituma gaasid. Tuumast välja paiskunud molekulid lagunevad Päikesekiirguse suure energiaga ultravioletsete kvantide* mõjul lihtsamateks ja keemiliselt ebastabiilseteks molekulideks. Seda protsessi, mis seletab «radikaalide» olemasolu komeedi peades, nimetatakse fotodissotsiatsiooniks. Nii laguneb näiteks komeedi tuumast välja lennanud ditsüaani algmolekul $(\text{CN})_2$ fotodissotsiatsiooni tulemusel kaheks tsüaani CN molekuliks. NH_2 molekulid tekivad ammoniaagi NH_3 molekulidest, mis nähtavasti sisalduvad tuumas, jne. Üksikasjaliselt vaatleb neid protsesse oma huviküllastes uurimustes S. M. Poloskov. Komeedi pea nähtavat heledust põhjustavad peamiselt süsiniku molekulid, komeedi pea valgustugevus aga on võrdeline temas antud momendil sisalduvate süsiniku molekulide üldarvuga. Neist kaalulustest lähtudes koostas B. J. Levin 1943. aastal järgmise teoreetilise valemi, mis seob komeedi absoluutset heledust H_0 , tema tuletatud heledust H_1 (s. o. heledust 1 a.ü. kaugusel Maast) ja komeedi kaugust Päikesest r :

$$H_1 = H_0 + 0,547 \frac{L}{T_0} (\sqrt{r} - 1),$$

* Kvant — valgusenergia elementaarannus.

kus L on sorptsioonisoojus, T_0 aga komeedi tuuma absoluutne temperatuur 1 a.ü. kaugusel Päikesest.

Endine, puhtempiiriline valem (lk. 27) omandab $q = 1$ a.ü. puhul järgmise kuju:

$$H_1 = H_0 + 2,5 n \lg r.$$

Uue valemi võrdlemine vaatlusandmetega oli palju tulemusrikkam kui vaatlusandmete läbitöötamine endise valemi alusel.

Hiljem, 1948. aastal, töötas B. J. Levin välja meetodi, mis võtab arvesse gaaside kadu komeedi tuumast ajal, mil ta viibib Päikese läheduses, ning ühtlasi ka mõningaid teisi võrdlemisi peeni efekte. Komeedituumadest gaaside eraldumise protsesside seost komeetide heledusega on uurinud ka nõukogude astronoomid V. Riives, O. V. Dobrovolski ja teised.

Gaaside eritumise (desorptsiooni) asemel komeedituumadest vaadeldakse kaasajal komeedi «jäätuumas» auramist ja seejuures vabanevate molekulide difusiooni läbi tuuma katva tahke tolmu kihi.

Lähimaks ülesandeks, mille kallal edukalt töötavad nõukogude astronoomid, on nende protsesside põhjendatud teooria väljatöötamine, mis seletaks komeetides toimuvaid nähtusi (eriti komeetide heleduse muutumist) piisavalt nii kvantitatiivselt kui ka kvalitatiivselt küljest.

9. KOMEEDI PEA

Vaatleme nüüd seda, kuidas komeedi tuumast väljunud osakekestest kujuneb komeedi pea. Komeedipeade ja -sabade moodustumise protsessi ligikaudselt seletav teooria, mida nimetatakse komeedikujude mehaaniliseks teooriaks, esitati möödunud sajandi esimesel poolel Brandese ja Besseli poolt. Seda teooriat arendasid ja täiustasid oma töödes kuulus vene komeetideuuriija F. A. Bredihhin ning nõukogude teadlased S. V. Orlov, A. J. Orlov, N. D. Moissejev ja teised.

Praegu on see teooria kaotanud oma puhtmehaanilise iseloomu ning muutub iga aastaga täiuslikumaks füüsika valdkonnast pärinevate ideede ja faktide arvel.

Komeedipeade kaasaegse teooria aluseks on Besseli ja Bredihhini poolt loodud «fontääni»-teooria, mille olemus seisab järgmises.

Kujutleme komeedi tuumast välja lennanud osakest. Ammutuntud asjaolu, et komeetide sabad on suunatud Päikesest eemale, tõendab, et peale Päikese külgetõmbe mõjub osakesele ka Päikesest lähtuv tõukejõud. Olgu Päikese mass M ja osakese kaugus Päikesest r . Siis on osakese kiirendus Päikese külgetõmbe mõjul $k^2 \frac{M}{r}$, kus k^2 on tõmbejõu konstant.

Oletame, et osakese kiirendus tõukejõu mõjul on m korda suurem tõmbejõu mõjul tekkivast kiirendusest, nende kiirenduste vahe aga, mida nimetatakse osakese efektiivseks kiirenduseks, on μ korda suurem Päikese tõmbejõu mõjul tekkivast kiirendusest. Siis

$$\frac{k^2 M m}{r^2} - \frac{k^2 M}{r^2} = \frac{k^2 \mu M}{r^2} \text{ ehk } m = 1 + \mu.$$

Kiirendust tõukejõu mõjul m väljendatakse viimases valemis Päikese tõmbejõu mõjul tekkiva kiirenduse kaudu.

Et uurida osakese liikumist komeedi tuuma suhtes, rakendame tuumale ja osakesele tõmbejõust tingitud ning vastupidiselt suunatud kiirenduse. Sel juhul tuum nagu ei tõmbuks Päikese poole ja osakese resultantkiirendus on

$$\frac{k^2 \mu}{r^2} + \frac{k^2}{r^2} = k^2 \frac{1 + \mu}{r^2}.$$

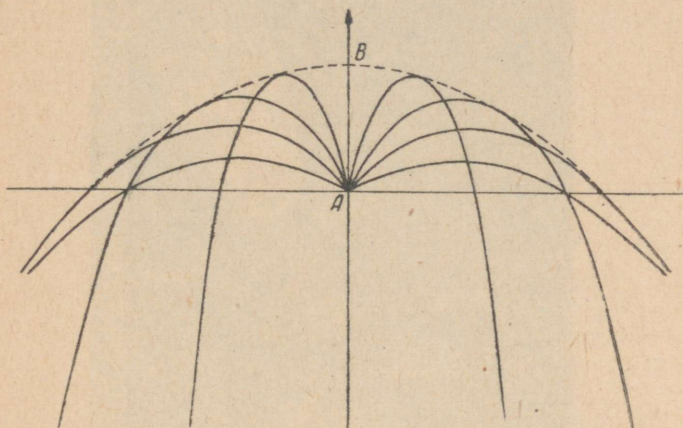
Saadud võrrandis on komeedi tuuma kaugus Päikesest võetud võrdseks r -ga, Päikese mass aga 1-ga.

Kujutleme nüüd, et komeedi tuumast paiskub igas suunas välja suur hulk ühesuguse algkiirusega osakesi. Igaüks neist hakkab tuumast väljumisel liikuma kiirenduse $k^2 \frac{1 + \mu}{r^2}$ mõjul, mille suurus ja suund jäävad antud r puhul konstantseks.

Võib lugeda, et iga osakese kiirendus on alati suunatud rööbiti komeedi raadiusvektoriga, s. o. lõiguga, mis ühendab Päikest ja komeedi tuuma. Pole raske näha, et tuumast välja lennanud osakeste parv muutub sarnaseks purskkaevust välja paiskunud veepiiskade kogumiga, sest iga veepiisk liigub enam-vähem muutumatu raskuskiirenduse ($g \approx 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sek}^2}$) mõjul. On teada, et keha (kivi, mürsk, piisk jne.), mis visatakse teatud nurga all horisondi suhtes, hakkab õhuta ruumis liikuma mööda parabooli. Komeedi pea

osakeste trajektoorid kujutavad endast tuuma suhtes seepärast samuti paraboole.

Kujutleme joonisel 11 punktiiriga märgitud kõverat, mis puudutaks iga osakese trajektoori ühesainsas punktis. See kõverjoon, mida nimetatakse osakeste orbiitide mähkjaks, iseloomustab «fontääni» piirjoont. Saab tõestada, et äsjamainitud kõverjoon (s. o. komeedi pea piirjoon) kujutab endast samuti parabooli.



Joon. 11. Komeedi pea kujunemine «fontääni»-teooria järgi.

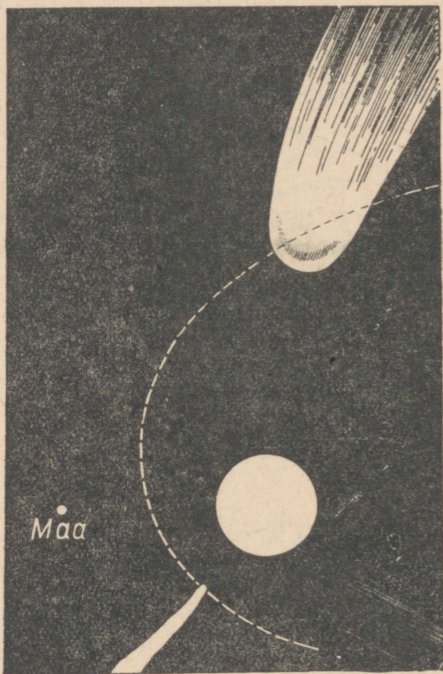
Joonisel 11 on tähega B märgitud komeedi pea tipp, s. o. selle Päikesele lähim punkt. Komeedi pea tipu kaugus tuumast, mida tähistatakse tähega ξ , etendab meie poolt vaadeldavas teoorias tähtsat osa. Püüame leida seose selle kauguse, osakese komeedi tuumast väljumise algkiiruse (v_0) ja sellesama osakese kiirenduse a vahel tuuma suhtes. Piki raadiusvektorit komeedi tuumast välja lennanud ja pea tipuni jõudnud osakesed peavad uuesti langema tuumale, sest resultantkiirendus on suunatud Päikesest eemale, s. o. need osakesed sarnanevad püstloodis üles visatud kiviga.

On teada, et kõrgus h , millele visatud keha tõuseb, on seotud keha algkiirusega v_0 ja raskuskiirendusega g lihtsas vahekorras $v_0 = \sqrt{2gh}$.

Rakendades seda valemit komeedi pea tipuni jõudnud osakese suhtes, saame:

$$v_0 = \sqrt{2 \frac{k^2(1+\mu)}{r^2}} \quad \xi \text{ ehk } \xi = \frac{v_0^2 r^2}{2k^2(1+\mu)}$$

Selle lihtsa valemi abil on võimalik seletada mõningaid tähtsaid iseärasusi komeedi pea arenemises. On juba ammu



Joon. 12. Komeedi pea kahanemine Päikesele lähenemisel.

teada, et komeedi lähenemisel Päikesele muutuvad tema pea mõõtmed komplitseeritud viisil. Kaugel Päikesest (üle 3 a. ü. kaugusel) näeb komeet välja väikese udulaigukesena tsentri läheduses oleva tuumaga. Komeedi lähenemisel Päikesele gaaside eraldumine tuumast intensiivistub, tekivad kestad, komeedi pea kasvab ja omandab umbes 2,5 a. ü. kaugusel kõige suuremad mõõtmed. Siis hakkab komeedi

pea kahanema ja muutub minimaalseks siis, kui komeet läbib periheeli. Seda komeedi pea (ja järelikult ka suurus ξ) kahanemist seletabki tuletatud valem, mille kohaselt r -i vähenemisega kaasneb ka ξ vähenemine.

Selle nähtuse füüsikaline põhjus on täiesti selge. Komeedi pea osakeste kiirendus tuuma suhtes kasvab nende osakeste



Joon. 13. Komeedi pea.

Päikesele lähenemisel ruitu ja nad sööstavad üha kiiremini ning järjest rohkem «ahenevaid» paraboole mööda Päikesest eemale.

See komeedi pea mehaaniline teooria on enesest mõista kaunis ligikaudne. Komeedipeades tegelikult toimuvad protsessid on selle lihtsustatud skeemiga võrreldes palju keerukamad.

Komeedi tuumast väljuvad molekulid lagunevad näiteks fotodissotsiatsiooni tulemusel kiiresti teisteks molekulideks ja seepärast ei saa väita, et osakesed jäävad kogu lennu vältel komeedi tuumast selle saba otsani muutumatuks. Algmolekulid kiirgavad seejuures valgust, mida silm ei taju, kuna mõningaid nendest fotodissotsiatsiooni tulemusel tek-

kinud sekundaarseid molekule on võimalik vaadelda visuaalselt.

Hoolimata teooriast ei ole komeedipeadel kaugeltki mitte alati paraboolne piirjoon.

Komeedipeades ilmnevad sageli ebauhtlused, millel on keerukas iseloom ja mis nõuavad selgitust.

Peas vaadeldavate üksikasjade hulgas pakuvad erilist huvi kestad (joon. 15, tüüp E). Mõningates komeetides on neid näha mitu, kusjuures paistab silma kestade kontsentrilisus.

Kestade kuju ja nende asendit komeedi tuuma suhtes on uurinud paljud teadlased, eriti aga S. V. Orlov. Eduka katse seletada kestade liikumist ja nende vaadeldavaid kujudid tegi hiljuti (1952. aastal) nõukogude astronoom O. V. Dobrovolski.

Dobrovolski vaatleb kesti kui mittestatsionaarseid moodustisi, mis koosnevad komeedi tuumast välja paiskunud osakeste pilvedest. Tuumast igas suunas, kuid ühesuguse kiirusega välja lennanud osakeste pilv moodustab tema arvutuste kohaselt sfäärilise (mitte aga paraboolse, nagu varem arvati) kesta, mille kese nihkub aeglaselt komeedi tuuma suhtes. Eri aegadel välja paisatud kestad moodustavad mitmekihilise, ligikaudu kontsentrilise kestade süsteemi.

See uus teooria on kooskõlas faktidega — Halley komeedi vaatlustega 1910. aastal. O. V. Dobrovolski arvutuste kohaselt on Halley komeedi kestades tõukejõu mõjul tekkiv osakeste kiirendus ligikaudu võrdne 0,05-ga. See suurus on tunduvalt väiksem kui endine ($1 + \mu \approx 1$), mis oli vähe põhjendatud.

Et pea mõõtmed sõltuvad komeedi kaugusest Päikesest, siis on eri komeetide peade läbimõõte mõtet võrrelda ainult ühe ja sama kauguse puhul Päikesest.

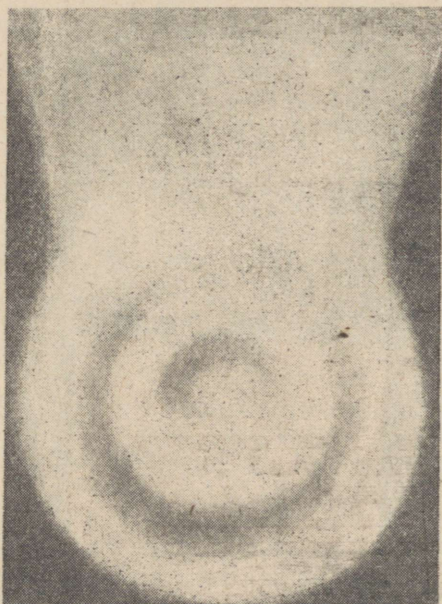
* Selliseks «standardseks» kauguseks on võetud 1 astronoomiline ühik. Allpool on toodud mõningate komeetide peade läbimõõdud sellel kaugusel.

1811	I	1 200 000 km,	1910	II	300 000 km,
1882	II	600 000 km,	1908	III	270 000 km,
1858	VI	360 000 km,	1910	I	180 000 km.

Tabel näitab, et komeedid koos oma tihtipeale mitmesaja miljoni kilomeetri pikkuste sabadega kujutavad endast hiiglaslikke taevakehi, mis ületavad mõõtnetelt isegi Päikese. See grandioossus on aga väga petlik, sest komeedi üldmass

on kaduvväike ja gaaside tihedus on isegi komeedi tuuma piirkonnas miljardeid kordi väiksem toaõhu tihedusest.

Gaasid väljuvad komeedituumadest ebaühtlaselt. Komeedipeades võib sageli näha pilvekesi, mida nimetatakse pilvmoodustisteks. Nad liiguvad kiiresti suunas, mis on vastupidine Päikese suunaga. Pilvmoodus-



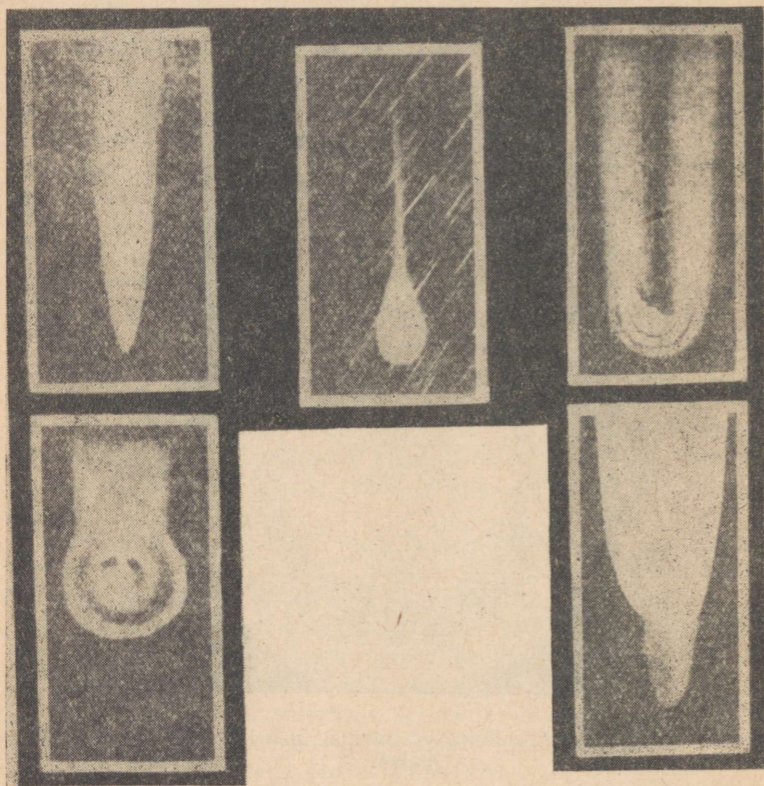
Joon. 14. Komeedi tuuma ümbritsevad halod.

tiste liikumise uurimise teel on võimalik määrata neis moodustistes sisalduvate molekulide kiirendusi, mis tekivad tõukejõu mõjul.

On ilmnenu, et need kiirendused on ligikaudu võrdsed 1-ga (väljendatult Päikese tõmbejõu mõjul tekkiva kiirenduse kaudu) pilvede puhul, mis koosnevad süsinikust (C_2), ja 2,5-ga tsüaanist (CN) koosnevate pilvede puhul.

Mõnikord võib komeetides näha halosid. Mõned halod (komeetidel 1884 I, 1910 II) koosnevad gaasidest C_2 , CN ja CH_2 , teised seevastu tolmust (komeedil 1892 III), kusjuures nad helendavad peegeldunud päikesevalguse arvel.

Halod tekivad siis, kui tuumadest eralduvad plahvatuse-
taoliselt igas suunas üheaegselt gaasi molekulid või tahke
tolm. Halosid iseloomustavaks iseärasuseks on see, et Päi-



Joon. 15. Komeedipeade klassifikatsioon S. V. Orlovi järgi. Vasak-
poolsed joonised — N ja N_h tüüpi komeetide pead; keskmine joonis —
 C tüüpi komeedi pea; parempoolsed joonised — E ja E_a tüüpi
komeetide pead.

kese tõukejõud neis sisalduvatele osakestele nähtavasti
üldse ei mõju.

O. V. Dobrovolski muide arvab, et tõukejõu mõjul tekki-
vate kiirenduste osas sarnanevad halod ja kestad täielikult
üksteisega, ja üksnes asjaolu, et halod on nähtavad ainult
lühikest aega, teeb esialgu võimatuks konstateerida nende

juures samasugust nõrka, tõukejõust tingitud kiirendust, nagu see esineb kestade puhul. Halode olemus pole seega veel täiesti selge.

Mõnikord, ent väga harva, ilmuvad komeetidel pikemad või lühemad koonusekujulised eendid, mis on suunatud komeedi peast Päikese poole. Neid eendeid nimetatakse anomaalseteks sabadeks ja nad koosnevad nähtavasti võrdlemisi suurtest kildudest, mis tekivad komeedi tuuma lagunemisel. Päikese tõukejõud anomaalsete sabade osakestele märgatavalt ei mõju.

Mõni aasta tagasi pani S. V. Orlov ette klassifitseerida komeedipäid järgmiselt.

Kui korduvalt Päikesest lähedalt möödunud komeedi tuum on gaasidest täiesti tühjaks muutunud, siis puudub sellisel komeedil gaasidest koosnev pea üldse, tolmsed sabad aga algavad vahetult «palja» tuuma juurest. Säärane oli komeet 1901 I. Niisuguseid «peata» komeete tähistab S. V. Orlov tähega N (joon. 15).

Kui komeedi tuum sisaldab suhteliselt vähe gaase, siis koosneb komeedi pea üksnes koomast ja näeb välja «sibulakujulisena» (tüüp C). Lõpuks, rikkalikult gaase sisaldavaid komeedipäid palistavad alati paraboolsed kestad (tüüp E).

Igal pea tüübil võivad olla halod (mida tähistatakse tähega h) ja anomaalne saba (a). Komeedi pea tüüpi tähistatakse sel juhul näiteks E_{ha} (komeet 1882 II), N_h (komeet 1892 III) jne.

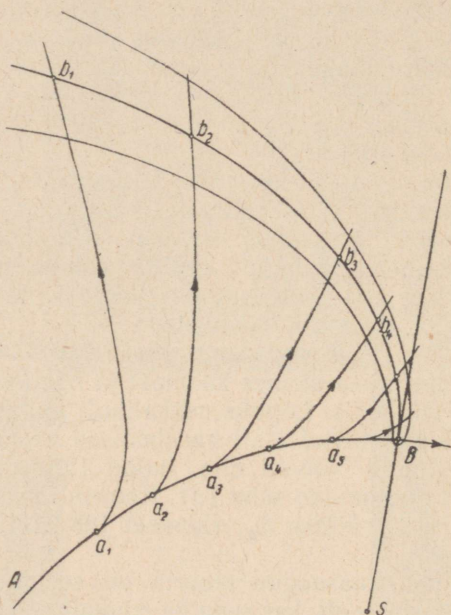
Komeedi pea kaasaegne teoria on seega loodud nõukogude teadlaste poolt, kes seda ka edukalt edasi arendavad.

10. KOMEETIDE SABAD JA NENDE KLASSIFIKATSIOON

Selleks, et komeedil oleks näha märgatav saba, on eelkõige vajalik, et komeet läheneks küllaldaselt määral Päikesele, ja teiseks, et vaatlustingimused oleksid soodsad. Mida lähemale komeet Päikesele jõuab, seda täielikumalt arenevad välja kõik tema vormid, nende hulgas ka saba. Komeetidel, mille orbiitide periheelikaugused ületavad 2 a. ü., kas pole üldse sabasid või nende sabad on väikesed (näiteks komeet 1892 III).

Enamikul teleskoopilistest komeetidest, milliseid avastatakse tavaliselt mitu tükki aastas, ei ole märgatavaid sabasid. See seletub ebasoodsate vaatlustingimustega ja ka

nende komeetide suure kaugusega Maast. Maale ja Päikesele ligidale jõudvatel komeetidel aga on enamasti olemas sabad, mis on vahel väga efektsed. Sageli juhtub, et komeedil on korraga kaks, kolm ja mõnikord isegi neli saba (anomaalne saba kaasa arvatud).



Joon. 16. Sündünaam.

Möödunud sajandi 70-ndail aastail avastas vene komeetideuurija F. A. Bredihhin, et vaatamata mitmesuguste komeetide ohtrusele ja nende sabade mitmekesisusele võib komeedisabade seas mehaaniliste karakteristikute järgi eristada kolm põhitüüpi. Bredihhin uuris üksikasjaliselt sabade ehitust ja tõestas, et saba põhiliseks mehaaniliseks karakteristikuks, mis võimaldab kindlaks määrata saba tüüpi, on antud saba osakestele mõjuv kiirendus.

Põhielementideks, milledeks lahutatakse komeetide sabad nende uurimise puhul, on Bredihhini järgi niinimetatud sündünaamid ja sünkroonid. Kujutleme, et komeedi tuumast

lendas välja osake, mis liigub Päikese suhtes efektiivse kiirendusega $\frac{k^2 \mu M}{r^2}$ (vt. lk. 40). On võimalik tõestada, et niisuguse osakese trajektoor kujutab endast hüperbooli haru, mille kumerus on suunatud Päikese poole.

Oletame, et orbiiti AB mööda (joon. 16) liikuvast komeedituumast lendavad lakkamatult välja osakesed, mille efektiivsed (ja järelikult ka tõukejõu mõjul tekkivad) kiirendused on ühesugused. Kui seejuures ka väljalennu algtingimused (s. o. osakeste algkiiruse suurus ja suund tuumast väljumisel) on ühesugused, siis paigutuvad kõik väljalennanud osakesed, nagu seda tõestas Bredihhin, piki kõverjoont, mille ta nimetas sündünaamiks, s. o. «samajõujooneks» (kõver $b_1 b_2 b_3 b_4 B$).

Sõltuvalt tuuma väikestest mõõtmetest ja osakeste väljalennu tagasihoidlikust algkiirusest asub sündünaamitasandis, mis peaaegu ühtib komeedi orbiidi tasandiga ning puutub komeedi pikendatud raadiusvektorit (SB), kusjuures puutepunkt langeb ühte komeedi tuumaga. Niisuguste sündünaamide kogumid moodustavadki komeetide sabad.

Täpselt võttes ei ole komeetide sabad muidugi lamedad. Kõikvõimalikud sündünaamid, mis kuuluvad komeedi saba koostisse, moodustavad ruumis pinna, mida nimetatakse sündünaamiliseks konoidiks ja mis meenutab kõverdunud härjasarve. Aine põhiosa on tihtipeale koondu nud selle «sarve» pealispinna lähedusse ja selliste komeedisabade servad paistavad seepärast heledamatena kui võrdlemisi tume teljeriba.

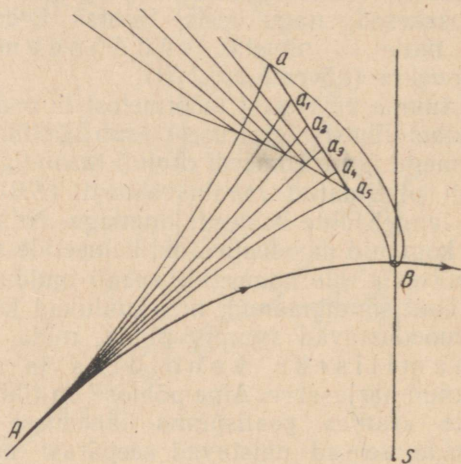
Rööbiti aine pideva eritumisega komeedi tuumast juhtub, et tuumas tekib midagi plahvatuse taolist, mille juures paiskub üheaegselt välja väga palju mitmesuguseid osakesi. Iga osake hakkab liikuma oma kindla, tõukejõust tingitud kiirendusega. Saab tõestada, et väljalennanud osakesed paigutuvad sel juhul piki kõverat, mis peaaegu ei erine komeedi tuuma poole suunatud sirgjoonest. Selle kõvera nimetas Bredihhin sünkrooniks, s. o. «samaaegsusjooneks».

Kui väljalennanud pilves sisalduvad igasuguseid kiirendusi (0-st kuni 2,2-ni) omavad osakesed, siis algab sünkroon komeedi tuumast. Selliseid sünkroone nimetatakse täielikeks sünkroonideks. Kui aga pilve osakeste kiirendused kõiguvad 0,6 ja 2,2 piirides, siis moodustub niinimetatud lõpp sünkroon ribakese kujul, mis on põiki komeedi sabaga ning on suunatud tuuma poole. On kerge

näha, et täielikud sünkroonid võivad mõnikord ulatuda lõpp-sünkroonide piirkonda.

F. A. Bredihhini poolt tarvitusele võetud komeedisabade klassifikatsioon seisab järgmises.

Peaaegu sirgjoonelised sabad, mis kulgevad piki raadiusvektori pikendust ja on vahel veidi kõverdunud komeedi liikumisele vastupidises suunas, nimetas Bredihhin I tüüpi sabadeks. Tõukejõust tingitud kiirendused $1 + \mu$ on nendes kõige suuremad ja nimelt Bredihhini järgi arvu 18 kordsed (s. o. $1 + \mu = 18n$, kus $n = 1, 2, 3$ jne.).

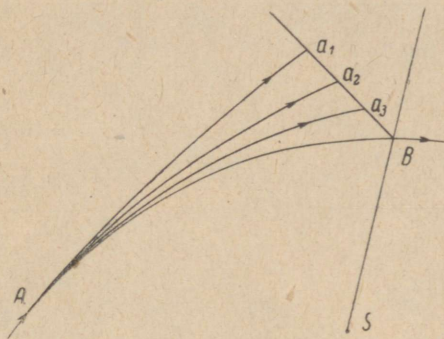


Joon. 17. Lõppsünkroon.

II tüüpi sabad on laiemad ja heledamad; neis, nagu näiteks Donati komeedis (1858), võib vahel täheldada lõpp-sünkroone ja nad on tunduvalt kõveraks paindunud suunas, mis on vastupidine komeedi liikumise suunale. II tüüpi saba eespoolne piirjoon ühtib sündünaamiga, millele vastab $1 + \mu = 2,2$, saba keskjoon ühtib sündünaamiga $1 + \mu = 1$ ja saba tagumine piirjoon sündünaamiga $1 + \mu = 0,6$. II tüüpi sabades toimub seega osakeste liikumine kiirendustega, mille suurused kõiguvad 0,6 ja 2,2 piirides.

III tüüpi sabadeks nimetas Bredihhin peaaegu sirgjoonelised ja võrdlemisi lühikesed sabad, mis on komeedi liikumisele vastupidises suunas veel rohkem kõrvale kaldunud kui II tüüpi sabad.

Antud komeedi saba tüüpi määratakse järgmiselt. Tähekaardile kantakse komeedi saba ja siis raadiusvektori ning sündünaami $1 + \mu = 1$ projektsioonid. Kui saba kulgeb piki raadiusvektorit, on ta I tüüpi, kui aga saba keskteljeks osutub projekteeritud sündünaam, siis on tegemist II tüüpi sabaga. Lõpuks, saba, mis ei täida kumbagi tingimust ega ole suunatud anomaalsete sabadega sarnaselt Päikese poole, on III tüüpi saba.



Joon. 18. Täieliku sünkrooni moodustumine.

Tõukejõust tingitud kiirendusi komeetide sabades saab arvutada kahel viisil. Esimesel juhul arvutatakse etteantud kiirendusega $1 + \mu$ sündünaami mõnede punktide asendid kaardil, kus on kujutatud komeet, ning ehitatakse nende punktide järgi sündünaam. On ilmne, et saba kujutise punktides, mida läbib sündünaam, asuvad antud kiirendusega osakesed.

See meetod kõlbab hästi sabade puhul, mis on märgatavalt kõverdunud. I tüüpi sabade korral määratakse tõukejõust tingitud kiirendust teisiti. Neis sabades võib sageli näha pilvmoodustisi, mis komeedi peast lähtudes kiirendatult liiguvad piki komeedi saba. Määrates vaatluste teel niisuguse pilvmoodustise asendid eri hetkedel, saab küllaldase kindlusega arvutada tema osakeste kiirenduse. Selle lihtsa, kuid samal ajal täpse meetodi I tüüpi sabade uurimiseks töötas välja nõukogude teadlane prof. A. J. Orlov.

Bredihhini poolt väljatöötatud komeedisabade klassifikatsioon mehaaniliste tunnuste järgi rajaneb komeedisabade füüsikalisel erinevusel, nagu seda aimas ka Bredihhin ise.

Oletades, et I tüüpi sabad koosnevad kõige kergematest osakestest, II tüüpi sabad raskematest ning III tüüpi sabad kõige raskematest osakestest, püstitas Bredihhin hüpoteesi, et osakese tõukejõust tingitud kiirenduse korrutis tema molekulkaaluga M on konstantne suurus, s. o. $(1 + \mu)$. $M = \text{const}$. Lähtudes eeldusest, et I tüüpi sabad koosnevad kõige kergema elemendi — vesiniku — molekulidest, määras Bredihhin oma hüpoteesi alusel tõukejõust tingitud kii-



Joon. 19. Pilvmoodustised Morehouse'i komeedis.

renduste järgi II ja III tüüpi sabade molekulkaalud ning järelikult ka nende koostise. Bredihhini järgi esinevad II tüüpi sabades süsivesinike (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6), CO , CO_2 ja kergete metallide (näiteks naatriumi, Na) molekulid, III tüüpi sabad aga koosnevad raskete metallide (näiteks raua, Fe) molekulidest.

Komeetide spektrite uurimised pärast Bredihhini surma ei kinnitanud tema vaateid komeedisabade füüsikalisele olemusele. I tüüpi sabades avastati vesiniku asemel vingugaasi (CO^+) ja lämmastiku (N_2^+) ühekordselt ioniseeritud molekulid. II ja III tüüpi sabad andsid pidevaid spektreid, mis võib osutada nende tolmseloomusele. Ent komeedisabade mehaanilise klassifikatsiooni alused, mis on rajatud Bredihhini poolt, ja tema ideed eri tüüpidesse kuuluvate sabade

füüsikalise olemuse erinevuse kohta jäävad õigeks ka tänapäeval.

Komeedisabade kaasaegne klassifikatsioon, mis on välja töötatud S. V. Orlovi ja teiste nõukogude teadlaste poolt nende moodustiste mehaaniliste ning füüsikaliste omaduste detailse uurimise alusel, seisab järgmises.



Joon. 20. Komeet 1943 I (Tevzadze) I tüüpi sabaga.

I tüüpi sabad koosnevad gaasidest ja nimelt komeedi tuumast välja paiskunud ioniseeritud CO^+ ja N_2^+ molekulidest. Need sabad on sündünaamilised moodustised, mille koostisosadeks on mitmesuguste sündünaamide hiiglaslikud kimbud.

I tüüpi sabades täheldatavate ebaühtluste põhjused on mitmesugused. Nii kuumeneb näiteks tuum Päikese mõjul eri kohtades erisugusel määral ja gaaside eritumine tuumast toimub seepärast ebaühtlaselt. Teiseks pöörlevad komeetide

tuumad oma telgede ümber ja gaasijoad, mis paiskuvad välja sellistest pöörlevatest tuumadest, võivad moodustada maailmaruumis gigantseid spiraalikujulisi kõverjooni, mida täheldataksegi sageli I tüüpi sabades (niinimetatud «gamma-kujud»).

Need ebaühtlused on vahel õige tunduvad ja tuumast äkki eraldunud võrdlemisi tihe gaasipilv jätab sappa jõudmisel mulje, nagu oleks ta komeedi küljest «lahti rebenenud» saba.

Tõukejõust tingitud kiirenduste kordsust I tüüpi sabades, mille avastas Bredihhin, näivad kinnitavat S. V. Orlovi uurimised. Tema andmete järgi on kiirendused kordsed mitte 18-ga, nagu arvas Bredihhin, vaid 22,3-ga, s. o. osakeste kiirendusi I tüüpi sabades võib väljendada valemiga

$$1 + \mu = 22,3n, \text{ kus } n = 1, 2, 3, \dots, 9.$$

I tüüpi sabades on seega avastatud hiiglaslikud tõukejõust tingitud kiirendused, mis rohkem kui kaheksa kordselt ületavad Päikese tõmbejõust tingitud kiirenduse.

S. V. Orlov paneb ette lugeda I tüüpi sabade hulka erilised moodustised, mida nimetatakse kiirteks (neid tähistatakse Orlovi järgi I⁰-ga). Need moodustised kujutavad endast komeedi pea paraboolsete kestade sirgjoonelisi otsi, mis kiiresti ühinevad pikendatud raadiusvektoriga ja mille kohale ilmuvad kohe teised. Nad koosnevad CO⁺ molekulidest ning tõukejõust tingitud kiirendused ulatuvad neis kolossaalse suuruseni, mis kõigub 1000 piirides. Mis sugused jõud siis panevad komeedisabade osakesi selliste tohutute kiirendustega liikuma?

Kui suur vene füüsik P. N. Lebedev (1866—1912) käesoleva sajandi algul tõestas, et valguskiired avaldavad valgustatud esemeile rõhku, siis näis, et küsimus, miks komeetide sabad on suunatud Päikesest eemale, on leidnud lihtsa ja selge lahenduse. Ent päikesekiirte valgusrõhuga saab seletada üksnes II ja III tüüpi sabade osakeste kiirendusi.

I tüüpi gaasilistele sabadele (eriti gaasilistele kiirtele) aga seda seletust laiendada ei saa. Tõukejõust tingitud kiirendused on neis liiga suured selleks, et neid saaks kirjutada ainuüksi valgusrõhu arvele. I tüüpi sabades toimivad võimsad ja esialgu uurimata tõukejõud, mille olemus on tundmatu, kuid pole kahtlust, et nad on tekkinud Päikesel mõjul. See küsimus lahendatakse tulevikus.

II ja III tüüpi sabad koosnevad S. V. Orlovi uurimiste

kohaselt peenest tahkest tolmust ning kujutavad endast sünkroonseid moodustisi, kusjuures II tüüpi sabad koosnevad lõppsünkroonidest, III tüüpi sabad aga täielikest sünkroonidest. Et S. V. Orlovi arvates nii II kui ka III tüüpi sabad on sünkroonsed ning koosnevad tolmust, siis nimetati kõik need sabad tema ettepanekul II tüüpi sabadeks, kusjuures täielikke sünkroone tähistatakse II⁰-ga.



Joon. 21. Donati komeet. I ja II tüüpi sabadega. II tüüpi sabas on näha sünkroone.

Kuidas siis tekivad tolmsabad?

On teada, et päikesesüsteemis on väga palju meteorokehi, mis tiirlevad ümber Päikese mitmesuguseid orbiite mööda. Need tillukesed kosmilised kehad pommitavad lakkamatult Maad ja teisi planeete. Maale pole selline «tulistamine» ohtlik, sest need osakesed on enamasti nii väikesed (kaalult gramme või grammi murdosasid), et Maa atmosfääri lennates nad süttivad «lendtähtedena» ja hajuvad Maani jõudmata. Suuremad meteorokehad (kaalult kilogramme ja väga harva tonne) jõuavad küll Maa pinnani, kuid atmosfäär nõrgendab tunduvalt nende põrget selle vastu. Määratu

suurte, purustusi tekitavate meteoriitide (nagu näiteks Tunguska meteoriit) langemised on erakordselt haruldased.

Teistsugust toimet avaldavad meteoriidid langemisel atmosfääri mitte omavatele planeetidele ja nende kaaslastele. Sel juhul säilitavad nad oma tohutu kosmilise kiiruse ja kokkupõrkel äkilise peatuse tõttu nagu «plahvatades» pihustavad kivimid langemise rajoonis peeneks tolmuks.

On kindlaks tehtud, et Kuu pinda katab võrdlemisi paks kiht sellist tolmu, mis on tekkinud Kuu lakkamatu pommitamise arvel meteoriitide poolt. On põhjust arvata, et planeetide kaaslasted ja asteroidid on samuti kaetud rohkem või vähem paksu tolmu kihiga.

Ka komeetide tuumi ümbritseb tolmu kiht, kuigi selle päritolu on, nagu juba mainitud, teistsugune.

Et komeetide tuumad on väikesed ja tõmbejõud nende pealispinnal pole suur, siis piisab tuuma kergest põrutusest (mida põhjustab näiteks kokkupõrge meteorkehaga), et osa tolmust lahkuks tuumalt jäädavalt. On võimalik, et just komeedituumade sellistel kokkupõrgetel meteorkehadega moodustuvadki tolmsabad. Tolmupilve osakesed paiskuvad tuumast eemale üheaegselt ja tolmsabad koosnevad seepärast sünkroonidest. Tolmuosakesi võivad muide endaga kaasa kiskuda ka «jäätuumast» erituvad gaasid.

Arvutused näitavad, et II tüüpi sabade koostisse kuuluvad tolmu kübemekesed, mille läbimõõt kõigub 10^{-5} cm ja mass 10^{-13} g piirides, kusjuures keskmine tihedus on võrdne $3,6$ g/cm³-ga. II⁰ tüüpi sabad (täielikud sünkroonid) sisaldavad tolmu kübemekesi ning kilde, mille läbimõõt ületab 10^{-5} cm. Tõukejõust tingitud kiirendused kõiguvad neis sabades nulli (komeedi tuumal) ja 2—2,2 vahel (täieliku sünkrooni otsal).

Komeedis 1901 I, millel olid ainult tolmsabad, sattusid täielikud sünkroonid II tüüpi sabade piirkonda, nii et sel juhul osutus võimatuks kindlaks määrata, missugust tüüpi need sabad olid.

Komeetidel ei saa seega olla üle kolme saba (anomaalsed sabad välja arvatud). Kuulsal 1744. aasta kuue sabaga Chéseaux' komeedil oli Bredihhini uurimiste kohaselt tegelikult üks I tüüpi saba, komeedi viis ülejäänud «saba» aga osutusid ühe II tüüpi saba viieks lõppsünkrooniks.

Kui I ja II⁰ tüüpi sabade (täielike sünkroonide) olemus ei ärata kahtlust, siis II tüüpi sabade loomuse kohta toimub

viimaseil aastail huvitav diskussioon S. V. Orlovi ja B. J. Levini vahel.

S. V. Orlov kaitseb seisukohta, mille järgi komeedi pea ning tema sabade vahel pole midagi ühist: komeedipead on alati gaasilised, kusjuures nad koosnevad põhiliselt C_2 ja CN-st, komeedisabad aga võivad koosneda nii gaasidest (kuid N_2^+ ja CO^+ -st) kui ka tolmust. Komeedi peas on tõukejõust tingitud kiirendused ligikaudu võrdsed I-ga, I tüüpi sabades aga on nad palju suuremad. Komeedi saba ja pea sarnanevad püü ning põõsaga, mis kuuluvad eri liikidesse, kuid kasvavad ühel ja samal paigal (tuumal).

B. J. Levini arvates pole veel sugugi tõestatud, et II tüüpi sabad koosnevad tolmust. Põhiline erinevus komeedi pea ja saba vahel kehtib üksnes I tüüpi sabade kohta. II tüüpi sabades lähenevad tõukejõust tingitud kiirendused komeedipeades täheldatavatele kiirendustele. B. J. Levin arvab seepärast, et II tüüpi sabad moodustuvad komeedi peas sisalduvast süsinikust (C_2) ning tsüaanist (CN), kusjuures süsiniku molekulidest formeerub saba väline kumer osa, tsüaani molekulidest aga saba sisemine osa.

II tüüpi sabadest seni saadud spektrogrammide kvaliteet on nii madal, et kumbki vaidlev pool tõlgitseb spektrogrammide sisu võrdse eduga enda kasuks. Otsustavaks argumentiks ühe või teise vaate kasuks oleks II tüüpi saba täisväärtuslik spektrogramm, millel oleksid selgesti näha kas gaasiliste (C_2 ja CN) kiirguste üksikud jäljed või peegeldatud, tumedate neeldumisjoontega päikesespekter. Esialgul aga küsimust II tüüpi sabade olemuse kohta lõplikult lahendatuks pidada ei saa.

11. KOMEETIDE LAGUNEMINE JA TEKKIMINE

Komeetide lagunemine võib toimuda mitmel viisil. Eelkõige kaotab komeet igakordsel möödumisel Päikese lähedalt teatud osa oma tuumas sisalduvatest gaasidest. Et nende gaaside tagavara on piiratud, siis saabub iga komeedi elus vältimatult aeg, mil ta ei saa Päikesele lähenemisel enam gaase eraldada ning pead ja hiiglaslikku gaasilist saba moodustada.

Pea puudumine komeedil on tundemärk, mis osutab vaieldamatult sellele, et antud komeet on vana. Selliseks vanaks, oma gaasid kaotanud komeediks oli, nagu juba mainitud,

hele komeet 1901 I. On võimalik ligikaudselt arvutada, mis-
suguse aja vältel komeet peab oma tuumas sisalduvad gaa-
sid täielikult kulutama. Halley komeedi kohta on vastavad
arvutused teostanud S. V. Orlov. Need arvutused näitasid,
et Halley komeet raiskab oma gaasitagavarad ära siis, kui



Joon. 22. Brooks'i komeedi (1889 V) lagunemine.

ta 330 korda sooritab teekonna ümber Päikese. Saadud arv
on muidugi väga ligikaudne, kuid vaevalt võib kahelda tema
suurusjärgus. Kaks- kuni kolmsada tiiru on nähtavasti aeg,
mille jooksul komeet kaotab oma pea ja jääb ilma gaasilis-
test sabadest.

Teisest küljest tõestasid S. K. Vsehsvjatski uurimised, et
igakordsel tagasipöördumisel Päikese juurde kahaneb
komeetide absoluutne heledus. Kuna on teada, et komeedi
peamine kiirus pärineb tema gaasilisest peast, siis osutab
äsjamainitud fakt samuti sellele, et komeedi gaasitagavarad

jõuavad võrdlemisi kiiresti lõpule. Nagu näitab S. K. Vsehsvjatski, oleks mõnede kaasaegsete nõrkade komeetide heledus 100—150 aastat tagasi olnud nii suur, et need komeetid poleks vaatlejail kahe silma vahele jäänud. Neid aga siiski ei nähtud ja sellest võib teha järelduse, et niisuguseid komeete tol ajal ei olnudki ja et nad tekkisid (või hakkasid liikuma praegusi orbiite mööda) alles hiljuti — sada või isegi vähem kui sada aastat tagasi.

Oma gaasid täielikult kulutanud komeet (nagu näiteks komeet 1901 I) on veel siiski võimeline moodustama tolm-sabasid ja säilitab järelikult õiguse komeedi nimetusele. Komeedi täielik lagunemine, mille tulemuseks on tema hävinemine, toimub mitte gaaside kaotamise, vaid teise protsessi arvel, milleks on komeedi tuuma mehaaniline jagunemine.

Komeedituumade jagunemine on hästi vaadeldav fakt. Ultduntud on Biela komeedi lugu. 1846. aastal jagunes ta kaheks komeediks, kusjuures kummalgi oli pea ja saba. Järgmisel ilmumisel (1852. aastal) eemaldusid mõlemad komeetid teineteisest 2 miljoni kilomeetri kaugusele ja sestsaadik pole neid enam keegi näinud. 1872. aastal, kui Biela komeet pidi väga lähedalt mööduma Maast, täheldati komeedi asemel ohtrat «lendtähtede» sadu. Sajad meteorid, mis ilmusid taevas, andsid tunnistust selle kohta, et Biela komeedi tuum oli lagunenu väikeste kehade parveks, mis liikusid tema orbiiti mööda, moodustades meteorivoolu.

Komeedituumade jagunemist on korduvalt vaadeidud. 1860. aasta veebruaris jagunes komeet 1860 I kaheks komeediks. Komeedi 1889 V tuum lagunes kaks kuud enne seda, kui ta pidi läbima periheeli, viieks osaks, kusjuures kolmel neist olid gaasilised kestad ja sabad. Vaatlejate silme all lagunes komeedi 1882 II tuum mitmeks osaks, kui komeet läbis parajasti periheeli.

Komeedituumade säärase jagunemise põhjuseks on nähtavasti nende kokkupõrked meteoridega. 1937. aastal tõestasid Bosler ja Roure, et oma tuuma jagunemise hetkel 1846. aastal lendas Biela komeet ühte meteorivoolu *, mis koosneb, nagu kõik teisedki voolud, paljudest tillukestest ja teatud arvust suurematest meteorkehadest. Biela komeedi tuuma kokkupõrge ühe või mitme niisuguse meteorkehaga nähtavasti põhjustaski komeedi lagunemise.

* Leoniidide meteorivoolu.

Komeedi tuuma kokkupõrked vastulendavate meteorokehadega ei põhjusta igakord tuuma jagunemist. Kui meteorokeha pole suur (selliste kehadega just aga kohtuvad komeedid kõige sagedamini), siis eemaldab selle põrge vastu komeedi tuuma ainult osa tahkest tolmust, mis katab tuuma.

Väljaspool kahtlust seisab igal juhul, et komeedi tuuma killustumine, tahkete osakeste eraldumine selle pinnalt ja komeedi järkjärguline muutumine meteorivooluks leiab aset kogu tema elu vältel.

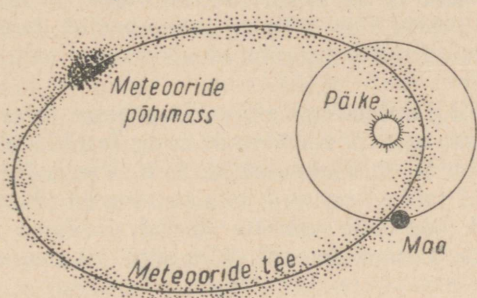
Meteorivoolude moodustumist komeedituumade lagunemise arvel uuris ning põhjendas üksikasjaliselt F. A. Bredihhin. Tema teooria kohaselt koosnevad komeetide anomaalsed sabad võrdlemisi suurtest tahketest osakestest (mille läbimõõt ületab kaasaegsete andmete järgi 0,01 mm), milledeks komeedi tuum lakkamatult laguneb. Anomaalne saba on nähtav ainult siis, kui temas sisalduvate osakeste arv on küllalt suur. Nähtamatud anomaalsed sabad aga on tõenäoliselt olemas paljudel (kui mitte kõigil) komeetidel.

Bredihhin tõestas, et osakesed, milledeks komeedi tuum laguneb ja mis hiljem moodustavad meteorivoole, ei pea tingimata liikuma mööda laguneva komeedi orbiiti. Võrdlemisi suur tahke osake, millele Päikese tõukejõud praktiliselt ei mõju, säilitab komeedi tuumast lahkumisel selle kiiruse Päikese suhtes. Peale selle on osakesel veel oma kiirus komeedi tuuma suhtes (väljalennu kiirus). Osakese edaspidine saatus sõltub sellest, missuguseks osutub tema resultantkiirus Päikese suhtes (see kiirus saadakse mainitud kiiruste geometrilise liitmise teel). Mõnikord võib resultantkiirus osutada nii suureks, et osake lendab hüperboolset orbiiti mööda päikesesüsteemi piiridest välja. Teistel juhtudel hakkab osake liikuma ümber Päikese mööda elliptilist orbiiti. Sellistest osakestest just moodustuvadki Bredihhini idee kohaselt meteorivoolud.

1950. aastal uuris A. D. Dubjago põhjalikult meteorivoolude moodustumist komeedituumade lagunemisel. Komeedi tuumast mitmesugustel põhjustel lahkuvatest meteorosakestest koosnev pilv venib ning laieneb järk-järgult nii Päikese külgetõmbest tingitud loodejõudude kui ka valgusrõhu erineva mõju tõttu erineva suurusega osakestele.

Selleks, et meteorivool jaotuks ühtlaselt teda tekitanud komeedi orbiidile, kulub Dubjago arvutuste kohaselt mitu tuhat aastat.

Komeetide saatus on niisiis selge. Varem või hiljem raiskavad nad ära oma gaaside tagavarad ja nende tuumad lagunevad paljudeks väikesteks kildudeks, mille põhimass paigutub piki komeedi orbiiti. Selline rööngassaiataoline parv on algul ebaühtlane — parve selles piirkonnas, kus asus kunagi komeedi tuum, on osakesi rohkem ja parv on seal tihedam. Ent pikkamööda, Päikese külgetõmbest tingitud loodejõudude toimetel ja teistel põhjustel see tihendus kaob ja meteorivool muutub enam-vähem ühtlaseks rööngaks, mille edaspidine evolutsioon seisab osakeste järkjärgulises kaotamises parve poolt (osakeste planeetidele langemise, nende ruumis hajumise jne. arvel).



Joon. 23. Meteorivoolu orbiit.

Järeldust, et komeetid on meteorivoolude tekitajateks, kinnitavad faktid. Ühest küljest komeetide orbiitide ja teisest küljest meteorivoolude uurimised on näidanud, et rida komeete on kahtlemata seotud meteorivooludega. Nii põhjustavad näiteks komeedi 1862 III tuuma osakesed iga-aastase rikkaliku «tähesaju» augustis (Perseiidide meteorivoolu). Kuulus Halley komeet on tekitanud kaks — Orioniidide ja mais esineva Akvariidide — meteorivoolu. Selliseid näiteid on teada ligikaudu kümme.

Ülalöeldule võib lisada, et komeetid on oma olemuselt taevakehad, mille lagunemise protsessi võib täheldada pidevalt, sest pea, sabade ja muude komeedikujude moodustumine komeedi lähenemisel Päikesele annab tunnistust tema lakkamatust hävinemisest. Vastupidist, loovat protsessi aga pole komeetides avastatud. On selge, et komeetide hävine-

mise protsess pidi kunagi algama. Kuidas ta aga algas ja kuidas on komeedid tekkinud?

Komeetide tekkimise küsimus kuulub väga raskete probleemide hulka, mis on kaasaegse astronoomia poolt esialgu lahendamata.

XIX sajandi algul esitas tuntud prantsuse teadlane Pierre Laplace niinimetatud kaasahaaramise hüpoteesi. Selle hüpoteesi kohaselt tekivad komeedid kusagil väljaspool päikesesüsteemi ja mõningaid nende seast võib nende liikumise ajal tähtedevahelises ruumis kaasa haarata Päikese külgetõmme, kusjuures nende hüperboolsed orbiidid muutuvad elliptilisteks.

Kaasaegse astronoomia seisukohalt ei pea Laplace'i hüpoteesi paika, sest ta on vastuolus faktidega. Kõigi komeetide primaarsed orbiidid on ellipsid ja komeetide tekkimise allikat tuleb otsida mitte väljaspool päikesesüsteemi, vaid selle sees.

Üheaegselt Laplace'iga esitas Lagrange teise hüpoteesi, mida on meie päevil arendanud ning laialdaselt populariseerinud prof. S. K. Vsehsvjatski. S. K. Vsehsvjatski arvates on komeedid tahked rahnud, mis paiskuvad planeetidevahelisse ruumi võimsate pursete korral Jupiteri, Saturni ja teiste suurte planeetide, võib-olla aga ka nende kaaslaste pinnal.

Selle hüpoteesi vastu on korduvalt vaieldud, 1951. aasta lõpul aga arutati ja kriitiseeriti seda üksikasjaliselt erinõupidamisel Kiievis, mille tulemusel S. K. Vsehsvjatski hüpoteesi tunnistati kõikide poolt puudulikuks. Hüpoteesi peamiseks puuduseks on asjaolu, et selle autor oletas alusetult vulkaaniliste protsesside toimumist suurtel planeetidel ja nende kaaslastel ning ignoreeris kaasaegseid andmeid komeedituumade füüsikalise loomuse ja nende orbiitide kohta.

Mõned komeedid kujutavad enesest kahtlemata primaarsete komeetide jagunemise produkte. S. V. Orlovi juhtimisel Moskvast teostatud uurimised selgitasid, et on olemas terved komeetide pered, mille orbiidid lõikuvad ühes ja samas punktis. Just selles punktis lagunes kunagi osadeks primaarse komeedi tuum, kusjuures need osad muutusid hiljem iseseisvateks komeetideks. Niisuguse pere moodustavad näiteks komeedid 1680 I, 1843 I, 1880 I, 1882 II ja 1887 I. Uute komeetide tekkimist primaarsete komeetide jagunemisel kinnitavad ka varem esitatud faktid.

Komeetide «paljunemine» jagunemise teel ei seleta veel nende tekkimist, sest küsimus, kuidas on tekkinud primaarsed komeedid ise, jääb lahendamata. Tänapäeval seisab väljaspool kahtlust, et komeetide tekkimine on seotud kogu päikesesüsteemi tekkimise ning evolutsiooniga.

On teada, et päikesesüsteemi koosseisu kuuluvad suurte, Maa tüüpi planeetide kõrval ka väikesed kehad, mis sarnanevad mõnes suhtes komeetidega. Nendeks on eelkõige väikeplaneedid ehk asteroidid, mille põhimass tiirleb ümber Päikese Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel. Kõige suurem asteroid Ceres sarnaneb oma mõõtmetelt (läbimõõt 786 km) ja füüsikalistelt omadustelt täiesti suurplaneetide suurte kaaslastega, kõige väiksemal (läbimõõt ligikaudu 1 km) tuntud asteroididest — Hermesel — aga on korrapäratu, killutaoline kuju ja ta ei erine oma olemuselt millegagi hiiglaslikest, Tunguska või Arizona tüüpi meteoriitidest.

Tänapäeval on selge, et asteroididel ning meteoridel on üks ja seesama olemus. Suurima asteroidi ja kõige väiksema, grammi murdosi kaaluva meteorikeha vahel, mis on kohtumisel Maaga suuteline esinema «lendtähe», on olemas kõik üleminekuvormid.

Sellesse väga arvukasse päikesesüsteemi väikekehade klassi kuuluvad ka komeedid. Massilt seisavad nad suurte asteroidide ja meteoride vahel. Mõnede komeetide (näiteks Oterma 1943. aasta komeedi) orbiidid on peaaegu ringikujulised ja sarnanevad asteroidide omadega. Teisest küljest on mõnede asteroidide (näiteks Hidalgo) orbiidid tugevasti välja venitatud ning neil on suur kalle Maa orbiidi suhtes, mis on teatavasti iseloomulik suuremale osale komeetide orbiitidest.

Tuntakse kehi, mille kohta on raske otsusele jõuda, kas nad on komeedid või asteroidid. Nii avastas näiteks 1892. aastal Holmes imeliku komeedi (1892 III), millel oli korrapärane, planeeditaoline kettakuju ning väga nõrk saba. Komeedi orbiit osutus väga sarnaseks asteroidide omaga. Vaatluste ajal ilmus komeedil mitu määratu suurt tolmalho, mille läbimõõt oli kolm korda suurem Päikese omast ja mis tekkisid nähtavasti meteoriitide põrgete tulemusel selle imepärase komeedi tuuma vastu. Selliseid imelikke, oma olemuselt ebamääraseid objekte on täheldatud korduvalt.

Alles hiljuti oli laialdaselt levinud hüpotees selle kohta, nagu oleksid meteorid, asteroidid ja komeedid tekkinud ühe planeedi lagunemisel, mis olevat kunagi tiirelnud Marsi ja

Jupiteri orbiitide vahel. Pole aga raske veenduda selles, et äsjamainitud hüpotees ei ole kooskõlas uusimate kujutlustega komeedituumade «jäälloomuse» kohta.

Komeedid moodustavad nähtavasti väga arvuka ja omapärase taevakehade klassi. Hollandi astronoomi Oorti hiljutiste uurimiste kohaselt ümbritseb planeetide süsteemi hiiglaslik komeetide pilv, mille piirid asuvad umbes 200 000 a. ü. kaugusel Päikesest, kus lähimate tähtede häiriv mõju võib juba komeedi päikesesüsteemi koosseisust välja kiskuda.

Rõhuv enamik komeete liigub oma orbiidi suure periheelikauguse tõttu kaugel nii Päikesest kui Maast ja neid pole seepärast võimalik vaadelda. Need «ülipikaperioodilised» komeedid viibivad kogu aeg «kinnikülmunud» seisundis, gaase praktiliselt ei kuluta ja võivad seetõttu eksisteerida miljardeid aastaid. Ent lähimate tähtede häirival mõjul võivad mõnede kaugete komeetide orbiidid muutuda väikese periheelikaugusega orbiitideks, mis lõikavad planeetide süsteemi. Nende orbiitide järkjärguline lühenemine planeetide häiriva mõju tulemusel ja sagedased lähenemised Päikesele põhjustavad kiire gaaside kao ja lõpuks selliste komeetide täieliku lagunemise. Kadunud komeetide asemele aga astuvad komeetide pilvest üha uued komeedid. Nähtavasti just selliselt täienevadki kiiresti lagunevate lühiperioodiliste komeetide read.

Tulevane komeetide tekkimise teooria peab kõiki neid fakte arvestama.

12. LÖPPSÖNA

Kaasaegsed teadmised komeetidest maalivad meie silme ette järgmise pildi.

Planeetide süsteemi piirab igast küljest hiiglaslik «jääpankadest» koosnev parv, kusjuures need pangad sisaldavad tahkeid lisandeid. Pankade üldarv on väga suur, «komeetide pilve» läbimõõt aga on 2000 korda suurem planeetide süsteemi omast. Väljaspool «pilve» piire domineerib naabertähtede külgetõmme, «pilve» piiride sees aga määrab pankade liikumist Päikese ning planeetide tõmbejõud.

Kaugeltki mitte kõiki neid panku ei või nimetada komeedituumadeks. Suurem osa neist tiirleb ümber Päikese määratu suurtel, kolossaalsete periheelikaugustega orbiitidel ja pideva viibimise tõttu «kinnikülmunud» seisundis puuduvad

neil seepärast tunnused, mis on iseloomulikud komeetidele, ja nimelt pea ning saba.

Üksnes need pangad, mille orbiidid muutuvad tähtede häiriva mõju tulemusel väikese periheelikaugusega orbiitideks, saavad tõelisteks komeetideks.

Lähenedes Päikesele «elustab» külmunud komeedituuma. Selle pindkiht aurustub ning moodustab uue komeedi pea ja gaasilise saba. Eritunud gaasimolekulid väljuvad tuumast selle temperatuurile vastava kiirusega, mis ulatub sadade meetriteni sekundis, ja kisuvad kaasa mõningaid komeedi tuuma tahkeid osakesi. Sel viisil formeeruvad tolmsabad ning meteorivoolud.

Gaasimolekulid, mis väljuvad komeedi tuumast Päikese kiirguse mõjul, lagunevad väga kiiresti lihtsamateks molekulideks, kusjuures mõned neist helendavad spektri nähtavas osas.

Päikesekiired, mis muutsid «jääpanga» hiiglaslikuks komeediks, saavad samal ajal selle järkjärgulise lagunemise põhjuseks. Komeedi tuuma mass kahaneb igakordsel Päikesele lähenedes tuumast jäädavalt lahkuvate gaaside arvel. Planeetide tõmbejõu mõjul komeedi orbiit reeglina lüheneb, mis ainult kiirendab selle protsessi kulgu. Lähenedes Päikesele sagnevad ja komeet ligineb talle ohtlikele päikesesüsteemi rajoonidele, kus kokkupõrked meteorkehadega võivad kiirendada tema hävingu saabumist. Komeedi tuuma lagunemine, mis täiendab tuuma jääosa hajumist, ning järkjärguline muutumine meteorivooluks — selline on enamiku komeetide saatus. Komeedi «surma» teiseks, kuigi vähe tõenäoliseks variandiks on tema kokkupõrge Päikese või planeetidega.

Komeedid on seega pidevalt ja võrdlemisi kiiresti lagunevad taevakehad. Ent potentsiaalsete komeedituumade tagavarad «komeetide pilves» on väga suured ja tähtede häiriv tõmbejõud toob kadunud komeetide kohale päikesesüsteemi kaugetest piirialadelt uusi komeete. Arvata, et see allikas kiiresti ammendub, pole mingit alust, ja komeedid jäävad tõenäoliselt veel miljardeid aastaid päikesesüsteemi alatisteks liikmeteks.

Kuidas on tekkinud «komeetide pilv»?

Selle kohta võime teha ainult enam-vähem tõenäolisi oletusi. «Komeetide pilv» moodustus nähtavasti selle gaasi ja tolmu kogumi evolutsiooni protsessis, millest O. J. Schmidt teooria kohaselt on tekkinud planeetide süsteem.

On võimalik, et selle kogumi kondenseerumine üksikuteks tihenditeks toimus ka päikesesüsteemi piirialal. Alalise pimeduse ja väga madalate temperatuuride piirkonnas kattusid tahked osakesed pärastpoole tarduvate gaaside kihiga, kusjuures paljude selliste osakeste ühinemine viis «potentsiaalsete» komeedituumade tekkimisele. Võib-olla sel viisil komeedid tekivadki.

Komeetide tekkimise küsimus on ainult üks kaasaegse komeetide astronoomia aktuaalseimatest probleemidest.

Teiseks, sellega seotud ja mitte vähem tähtsaks probleemiks on komeetide füüsikalise olemuse üksikasjaline uurimine.

Komeetide ja eriti algmolekulide täpne keemiline koostis pole veel teada. Pole lõplikult selgitatud halode olemus, kestade moodustumise mehhanism komeedipeades ja II tüüpi sabade koostis.

Valgusrõhk, mis rahuldavalt seletab tõukejõust tingitud kiirendusi II ja II^o tüüpi sabades, osutub mitteküllaldaseks, et anda molekulidele neid kolossaalseid kiirendusi, mis on avastatud I ja eriti I^o tüüpi gaasilistes sabades. Pealegi pole täiesti selge nende imepäraste kiirtesüsteemide enda olemus ja nende seos komeedi peaga. Pole kahtlust, et komeedikujude moodustamises etendavad teatavat osa ka elektrilised jõud.

Kvantitatiivse teooria loomine elektrinähtuste kohta komeetides on üks lahendust ootavaid ülesandeid.

Ei saa täies ulatuses lahendatuks lugeda küsimust komeedi tuuma olemuse ning struktuuri ja sünkroonide moodustumise mehhanismi kohta. Uurimist vajavad probleemid seose kohta komeetide ja meteorivoolude, komeetide ja meteoriitide, komeetide ja planeetide vahel.

Komeetide teoreetilised uurimised peavad tuginema pidevalt täiustuvale vaatlustehnikale. Kõrgekvaliteediliste ülesvõtete ja spektrogrammide saamine komeetidest, nende kiirguse uurimine spektri nähtamatus osas ja eriti raadiolainete piirkonnas, komeetide täpne fotoelektriline fotomeetria — sellised on tähtsamad eksperimentaalsed ülesanded.

Niisugune on kaasaegse komeetide astronoomia lähimate probleemide kaugeltki mitte täielik loetelu. Nende probleemide lahendamises etendavad kahtlemata suurt ja austavat osa nõukogude teadlased.

SISUKORD

1. Sissejuhatus	3
2. Komeetides vaadeldavad nähtused	4
3. Komeetide uurimise ajaloost	6
4. Kaasaegsed komeetide uurimise meetodid	15
5. Komeetide orbiidid	21
6. Komeetide heledus ja selle muutused	26
7. Komeedi tuuma olemus	30
8. Komeetide koostis ja helendus	34
9. Komeedi pea	39
10. Komeetide sabad ja nende klassifikatsioon	47
11. Komeetide lagunemine ja tekkimine	57
12. Lõppsõna	64

Зигель, Ф. Ю

КОМЕТЫ

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство

Таллин, Пярну маантэ 10

*

Toimetaja R. Toming .

Tehniline toimetaja H. Kohu

Korrektorid L. Golberg ja E. Kask

Ladumisele antud 29. IX 1955. Trükkimisele
antud 18. XI 1955. Paber 54×84, 1/16.
Trükipoognaid 5,25. Formaadile 60×92 kohal-
datud trükipoognaid 4,3. Arvutuspoognaid 3,5.
Trükiarv 5000. MB-19118. Tellimise nr. 2707.
Trükikoda «Tartu Kommunist», Tartu,
Ülikooli 17/19.

Hind rbl. 1.05

Rbl. 1.05

0.11

A 16558
5028065

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00502806 5