

## 12. Meteorai ir jų srautai

←  
*x. A. Dubiečio nuotr.*



↑ 1 pav.  
Perspektyvos efektas miške. A. Dubiečio nuotr.

## 12.1. Krintančios žvaigždės

Žodis meteoros graikų kalboje reiškia „orė“, kitaip tariant, atmosferos reiškinį. Ilgą laiką meteorais buvo vadinami visi atmosferos reiškiniai: žaibai, pašvaistės, halai, vaivorykštės ir netgi tiesiog sniegas ar lietus. Pastarieji iki šiol vadinami hidrometeorais. Tačiau ilgainiui nusistovėjusi terminologija susiaurino meteorų sąvoką iki „krintančių žvaigždžių“. Nepaisant to, kad žvaigždės iš tiesų nekrinta, antraip visos jau seniai būtų nukritusios, ir toli gražu ne visi norai, sugalvoti pamačius meteorą, išsipildo, meteoras yra labai gražus ir įdomus reiškinys.

Remiantis senovės graikų filosofo Aristotelio idėjomis, ilgus amžius meteorai buvo laikomi paslaptiniais, tačiau žemiškos kilmės atmosferos reiškiniais, priklausančiais ugnies sferai ir kažkuo panašiais į žaibą. Vienas pirmųjų, pabandžiusių kitaip pažvelgti į meteorus ir jų kilmę, buvo žymus anglų astronomas Edmondas Halis (Edmond Halley). 1714 m. jis stebėjo ryškų bolidą ir apskaičiavo, kad šis, lėkdamas 8 km/s greičiu, užsiziebė 119 km aukštyje.

Nors Halio vertinimai tebuvo labai apytiksliai, jie neginčijamai bylojo apie kosminę šio reiškinio kilmę. E. Halis tuomet buvo vienas pagrindinių Britanijos mokslo stulpų, tačiau netgi milžiniškas jo autoritetas Karališkojoje mokslo draugijoje neišjudino giliai įsišaknijusio įsitikinimo, kad meteorai – tai žemiškos kilmės reiškiniai.

Prabėgus beveik šimtui metų Prancūzijoje, L'Eglio miestelio apylinkėse, įvyko labai retas reiškinys, kai iš dangaus tikraja to žodžio prasme pabiro akmenys – praūžė intensyvus meteoritų lietus. Šviesiausiems ano meto protams šis netikėtas įvykis užminė išties nelengvą galvosūkį ir paskatino permąstyti tuometį meteorų kilmės supratimą. Bemaž tuo pat metu, 1798 m., du Leideno universiteto studentai Johannesas Bencenbergas (Johannes Benzenberg) ir Heinrichas Brandsas (Heinrich Brandes) atliko meteorų stebėjimus iš dviejų punktų, ir trianguliacijos metodu tiksliai nustatė jų aukštį bei greitį, tuo galutinai įrodydami kosminę meteorų kilmę.

1799 m. žymus vokiečių keliautojas ir gamtininkas Aleksandras fon Humboldtas (Alexander von Humboldt), vienos savo kelionių po Pietų Ameriką metu lankydamasis Venesueloje, stebėjo išpūdingą meteorų liūtį. Apklausęs vietos gyventojus, jis sužinojo, kad panašus reiškinys ten buvo stebėtas ir 1733 bei 1766 m. Savaimė piršosi išvada, kad meteorų lietus turėtų pasikartoti po 33 metų. Ir iš tiesų 1833 m. lapkričio 13 d. galingas meteorų lietus praūžė Šiaurės Amerikos padangėje. Daugelis šio neįprasto įvykio liudininkų atkreipė dėmesį, kad visi meteorai tarsi išlekia iš vieno taško, esančio Liūto žvaigždyne. Šis taškas buvo pavadintas radiantu. Be to, buvo pastebėta, kad radianto padėtis per visą naktį žvaigždžių atžvilgiu nekinta – sukantis Žemei, dangaus skliaute jis juda kartu su žvaigždėmis. Taip buvo nustatyta, kad to paties srauto meteorai atmosferoje juda lygiagrečiomis trajektorijomis, o regimasis taškas danguje – radiantas – atsiranda dėl perspektyvos efekto,

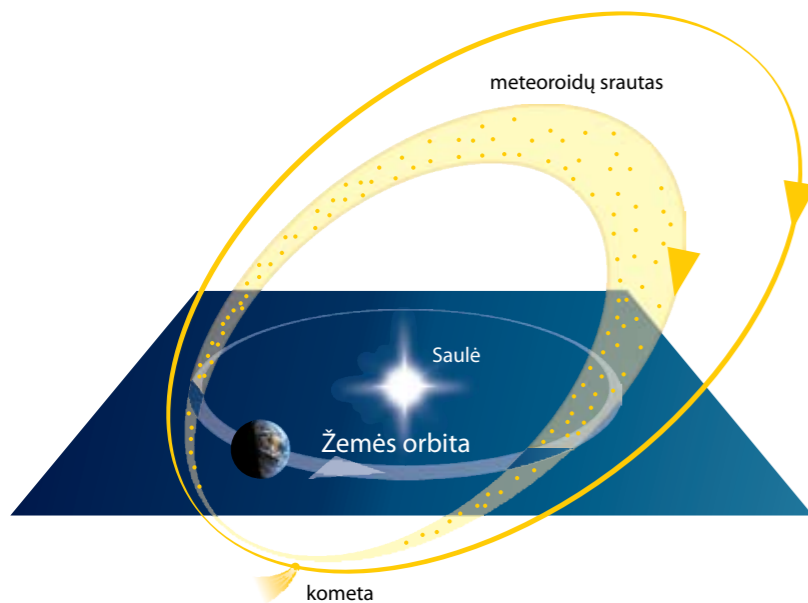


↑ 2 pav.  
Perspektyvos efektas žvaigždėtame danguje: perseidų srauto meteorų, nufotografuotų 2010 m. rugpjūčio 12 ir 13-osios naktimis, trajektorijų fotomontažas. A. Dubiečio nuotr.

panašiai kaip tolumoje į vieną tašką sueina lygiagretūs bėgiai ar medžių kamienai miške žvelgiant užvertus galvą (1 ir 2 pav., taip pat 4.6 sk.). Nuo to laiko meteorų srautai imti vadinti pagal žvaigždynų, kuriuose yra jų radiantas, vardus. Leonidų meteorų srauto radiantas yra Liūto žvaigždyne, perseidų – Persėjo ir t. t. Jei pasitaiko, kad tame pačiame žvaigždyne yra keli skirtingų srautų radiantai, srautų pavadinimuose pridamas ir artimiausios radiantui ryškios žvaigždės pavadinimas (graikiškos abėcėlės raidė), pavyzdžiui, eta ir delta akvaridai yra du skirtingi meteorų srautai, kurių radiantai yra tame pačiame Vandens žvaigždyne. Kartais, pavadinant mažuosius (silpnus) meteorų srautus, prie jų pavadinimo pridamas mėnesio vardas, pavyzdžiui, rugsejo perseidai, kad nesusipainioti jo su garsiuoju perseidų srautu, matomu rugpjūčio mėnesį.

## 12.2 Meteorų srautai ir kometos

Daugiau ar mažiau sistemiški meteorų stebėjimai buvo pradėti XIX a. viduryje, kai belgų astronomas ir Briuselio observatorijos įkūrėjas Adolfas Ketelė (Adolphe Quetelet), apibendrino turimus stebėjimų duomenis ir sudarė pirmąjį meteorų srautų katalogą. Nors to meto rezultatų patikimumas buvo menkas ir neegzistavo viena stebėjimų metodika, per gana trumpą laiką iki XX a. pradžios jau buvo atrasti visi šandien žinomi didieji ir dauguma



← **3 pav.**  
Taip formuojasi meteoroidų srautas. J. Griciaus pieš.

mažųjų meteorų srautų. Tikras perversmas, žymintis meteorų astronomijos, kaip atskiros astronomijos šakos atsiradimą, įvyko 1867 m., kai italų astronomas Džiovani Skiaparelis (Giovanni Schiaparelli), vėliau atradęs Marso kanalų, apskaičiavo, kad leonidų meteorų srauto orbita beveik sutampa su tuomet vos prieš metus atrastos periodinės Tempelio-Tutlio (55P/Tempel-Tuttle) kometos orbita. Netrukus jis nustatė ir neabejotiną orbitų panašumą tarp perseidų meteorų srauto bei Svifto-Tutlio (109P/Swift-Tuttle) kometos, kuri buvo atrasta 1862 m. Taip buvo atrastas glaudus ryšys tarp kometų ir meteorų srautų.

Ypatingą vaidmenį meteorų astronomijoje atliko anglų astronomas mėgėjas Viljamas Deningas (William Frederick Denning), visą savo gyvenimą skyęs astronominiams, ypač meteorų, stebėjimams. Jis pelnytai laikomas šiuolaikinės meteorų astronomijos tėvu. Neturėdamas universitetinio išsilavinimo, jis paskelbė apie 400 mokslinių straipsnių geriausiuose to meto moksliniuose žurnaluose. Visą gyvenimą praleidęs gimtajame mieste

Bristolyje, iki pat gilios senatvės V. Deningas savo namų kieme vykdė astronominius stebėjimus. Jis stebėjo ne tik meteorus, bet ir kometas, planetas ir t. t. Jis sudarė išsamų meteorų srautų katalogą, kuriame pateikė daugiau nei 500 veikiančių radiantų sąrašą. Už šiuos rezultatus ir begalinį atsidavimą 1906 m. V. Deningas buvo apdovanotas Karališkosios mokslo draugijos aukso medaliu ir ilgą laiką gavo Anglijos karalienės vardinę stipendiją. Įdomu tai, kad V. Deningą galima atpažinti kaip „meteoritų eksperto“ personažą garsiajame H. Velso „Pasaulių kare“.

Paskutinį tašką, įtvirtinant kometų ir meteorų srautų ryšį, padėjo žymus meteorų tyrinėtojas Fredas Viplas (Fred Whipple). 1950 m. jis pasiūlė garsųjį kometos – „purvinos sniego gniūžtės“ – modelį, kuriuo detalai paaiškino, kaip iš tikrųjų gimsta meteorų srautai [1]. Pagal šį modelį kometos branduolys – tai ledo matrica su išalusiomis dulkelėmis ir uolienu fragmentais. Kometai artėjant prie perihelio – artimiausio Saulei orbitos taško, – jos paviršius dėl intensyvaus Saulės spinduliavimo ima kaisti, ledas garuoja,



↖ **4 pav.**  
Šviesiausia pastarųjų dešimtmečių viešnia mūsų padangėje – Hale-Bopp kometa (D/Halle-Bopp), puošusi mūsų padangę 1997 metais.  
R. Balčiūno nuotr.

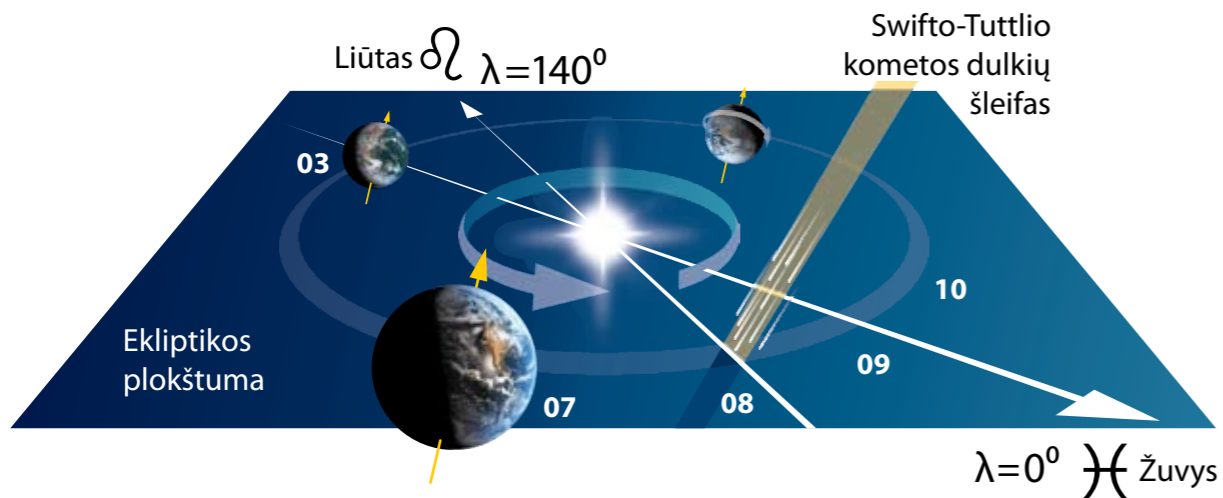
↑ **5 pav.**  
Panstarrs kometa (C/2011 L4 Pan-STARRS), kuri buvo gerai matoma plika akimi ankstyvą 2013 m. pavasarį.  
R. Balčiūno nuotr.

o smulkios dulkelės ir uolienu fragmentai atsiskiria nuo kometos paviršiaus. Šios smulkios skeveldros, priklausomai nuo jų masės ir įkaitusių vandens garų bei kitų dujų slėgio, į kosminę erdvę išmetamos 10–100 m/s greičiu. Taip gimsta mažyčiai kosminiai kūnai – meteoroidai, kurie nuo šiol pradeda savistovią evoliuciją. Ilgainiui, veikiant Saulės ir planetų gravitacinėms jėgoms bei šviesos slėgiui, meteoroidai vis labiau tolsta nuo kometos, palengva nukrypdami ir nuo pradinės kometos orbitos (**3 pav.**). Kiekvieną kartą kometai praskriejant perihelį, paskui ją nutišęs meteoroidų šleifas periodiškai papildomas vis naujomis dalelėmis ir galiausiai užpildo visą kometos sukimosi aplink Saulę orbitos elipsę [2]. Ką tik atsiradusi tankiausia šio šleifo dalis matoma kaip švytinti kometos uodega (**4, 5 pav.**). Kiekviena kometa turi savo meteoroidų srautą. Netgi kometai visiškai suirus, jos meteoroidų srautas egzistuoja dar tūkstančius metų. Kai meteoroidų srautas kerta Žemės orbitą, mes jį matome kaip meteorų srautą. Beje, dalis meteoroidų srautų kildinama ne iš kometų, o iš mažųjų planetų – asteroidų.

Meteoroidų srauto evoliucijos tempas labai priklauso nuo kometos orbitų parametrų. Jei kometos orbita yra stipriai pasvirusi į ekliptikos plokštumą, kurioje juda Saulė,

Žemė ir visos kitos planetos, didžiųjų Saulės sistemos planetų sąlygojamą gravitacinį poveikį patiria tik ta meteoroidų srauto dalis, kuri yra arti perihelio. Toks srautas evoliucionuoja ilgai, pvz., garsusis kiekvienais metais rugpjūčio mėnesį matomas perseidų srautas, kurio susikirtimas su Žemės orbita pavaizduotas **6 pav.** Ir atvirkščiai, srautai, kurių orbita yra beveik ekliptikos plokštumoje, evoliucionuoja daug sparčiau. Be to, srauto orbita precesuoja, dėl to jo stebėjimo sąlygos laikui bėgant gali smarkiai keistis.

Bene ryškiausias glaudaus kometų ir meteorų srautų tarpusavio ryšio ir didingos dangaus mechanikos pavyzdys – Bielos kometos (3D/Biela) ir dabar jau nebeatomo andromedidų meteorų srauto istorija. 1826 m. čekų astronomas mėgėjas Vilhelmas fon Biela (Wilhelm von Biela) atrado nedidelę kometą, kuri skriejo aplink Saulę 6,6 metų periodu. 1846 m. buvo pastebėta, kad kometos branduolys



↑ 6 pav.  
Perseidų meteoroidų srauto susikirtimas su Žemės orbita.  $\lambda$  yra Saulės ilguma, skaičiuojama nuo pavasario lygiadienio. 1 Saulės ilgumos laipsnis maždaug atitinka 1 dieną. J. Griciaus pieš.

suskilo į dvi dalis, o kai kometa vėl pasirodė 1852 m., šios dvi dalys jau buvo nutolusios viena nuo kitos per 2 mln. km ir skriejo gerokai pasikeitusia orbita. Po to kometa prapuolė ir daugiau niekas jos nebematė. Tačiau 1872 m., kai kometa eilinį kartą turėjo praskrieti netoli Žemės, netikėtai iš Andromedos žvaigždynė esančio radianto pabiro išspūdinga gausybė lėtų meteorų. Apskaiciavus meteorų srauto orbitą, paaiškėjo, kad ji beveik identiška pradingusios Bielos kometos orbitai. Toks pat meteorų lietus pasikartojo po 13 metų – 1885-aisiais, tuomet buvo gautos ir pirmosios meteorų nuotraukos. Vėliau srautas išnyko taip pat netikėtai, kaip ir atsirado – didžiųjų planetų traukos poveikis nulėmė, kad andromedidų meteoroidų srauto ir Žemės orbitos daugiau nebesusikerta.

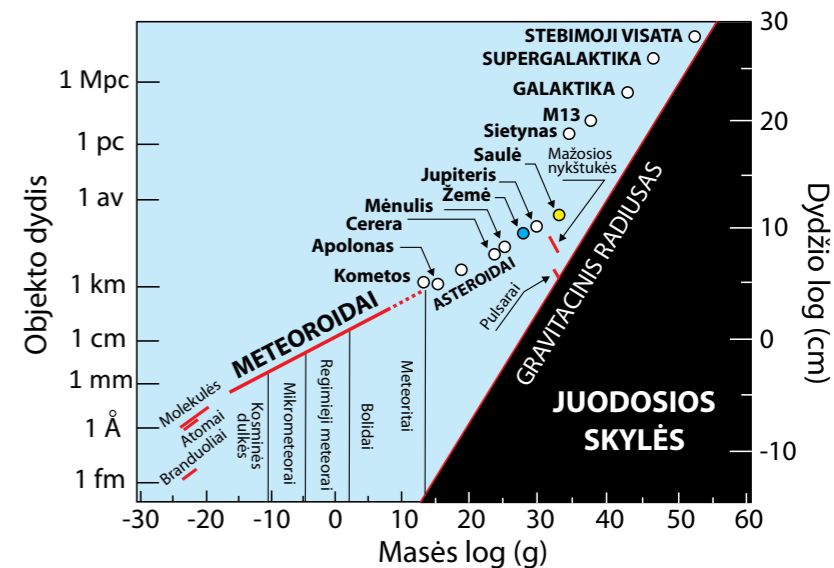
Žinomas ir kitas pavyzdys, kai iš naujo atrandama prapuolusi kometa, o kartu atgyja ir laikytas išnykusiu meteorų srautas. Taip nutiko 1998 m., kai perihelyje iš naujo

buvo atrasta iki tol laikyta dingusia Ponso-Vinekės (7P/ Pons-Winnecke) kometa, kurios orbita per keletą pastarųjų dešimtmečių patyrė didelių gravitacinių perturbacijų. Tais pačiais metais (po 70 metų pertraukos!) atgijo ir su šia kometa siejamas bootidų meteorų srautas, kurio radiantas yra Jaučiaganio žvaigždynė [3].

### 12.3 Meteoroidai – mažiausi Saulės sistemos kūnai

Meteoro ir meteoroido sąvokos kartais painiojamos, klaidingai suteikiant joms tą pačią prasmę. Meteoroidas – tai nedidelis kosminis kūnas, atsiradęs yrant kometoms ar asteroidams ir skriejantis tam tikra orbita aplink Saulę. Meteoras – tai reiškinys, kai meteoroidas įskrieja į Žemės atmosferą. Meteoroidas savo orbitoje iki susidurdamas su kitu kosminiu kūnu gali gyvuoti laiko tarpą, matuojamą kosminiais masteliais, tuo tarpu meteoras – tai labai trumpalaikis švytintis reiškinys atmosferoje, kurio trukmė vos keli akimirksniai. Trumpas meteoro žybsnis žvaigždėtame

→ 7 pav.  
Visatos objektų masės ir dydžio diagrama. Kairėje ašyje atidėti matmenys: 1 fm (femtometras) = 10-15 m, 1 Å (angstromas) = 10-10 m, 1 μm (mikrometras) = 10-6 m, 1 av (astronominis vienetas) = 150 000 000 km, 1 pc (parsekas) = 3,1×10<sup>13</sup> km, 1Mpc (megaparsekas) = 106 pc. Gravitacinis radiusas – tai spindulys sferos, iki kurios turėtų susitraukti tam tikros masės objektas, kad taptų juodąja skylė. Pavyzdžiui, Žemės gravitacinis radiusas yra apie 9 mm



danguje simbolizuoja nedidelę kosminę katastrofą – meteoroido egzistavimo pabaigą. Nors ir būdami maži, visatos objektų masės ir dydžio diagramoje meteoroidai užima nemažą sekos dalį nuo molekulinio dydžio objektų iki asteroidų bei kometų [4] (7 pav.).

Meteorai išsižiebja vidutiniškai 100–110 km aukštyje. Tai žemutiniai termosferos arba jonosferos sluoksniai. Panašiam aukštyje švyti ir siaurės pašvaistės. Patys smulkiausi meteoroidai vadinami kosminėmis dulkėmis. Jos yra tokios mažos (vidutinis jų matmuo apie 1 μm), kad, nepriklausomai nuo jų pradinio greičio, įskriejusios į atmosferą jos nesukelia jokio regimojo efekto. Mikrometeoroidai, kurių vidutiniai matmenys siekia 100 μm, o vidutinė masė apie 0,001 g, įlėkę į atmosferą jau gali būti registruojami radarais (vadinamieji radijo meteorai) ar matomi pro teleskopą. Plika akimi matomus meteorus sukuria dar didesni meteoroidai, kurių masė siekia nuo šimtųjų dalių iki keleto gramų, o skersmuo gali siekti keletą centimetrų. Vienas šios knygos autoriaus kolega ilgai negalėjo nuslėpti nuostabos

ir sumišimo sužinojęs, kad tokie maži kosminiai kūnai gali taip ryškiai šviesti skriedami Žemės atmosferoje.

Meteorai, kurių regimasis ryškis viršija maksimalų Jupiterio ryškį (-3m), vadinami bolidais. Ryškiausių bolidų masė siekia kelis kilogramus ir daugiau, o ryškaus bolido skrydis palieka neišdildomą įspūdį (8 ir 9 pav.).

Kiek giliai meteoroidui pavyks įsiskverbti į atmosferą, priklauso ne tik nuo jo masės, bet ir nuo pradinio greičio Žemės atžvilgiu. Maksimalų meteoroido greitį galima apskaičiuoti laikant, kad jis skrieja paraboline orbita, t. y. atvira orbita, ir gali nutolti nuo Saulės be galo toli. Kad galėtų judėti tokia trajektorija, meteoroidas turi turėti tam tikrą energiją, kitaip tariant, greitį. Šis greitis arti Žemės orbitos yra 42,5 km/s. Žinant, kad Žemės orbitinis greitis yra 30,3 km/s, meteoroidui kaktomuša susidūrus su Žeme, gautume maksimalų 72,8 km/s greitį, kurio jis galėtų įskrieti į atmosferą. Minimalų meteoroido greitį galima rasti laikant, kad jis skrieja panašia orbita bei greičiu, kaip ir Žemė. Tai antrasis kosminis greitis, kuris lygus

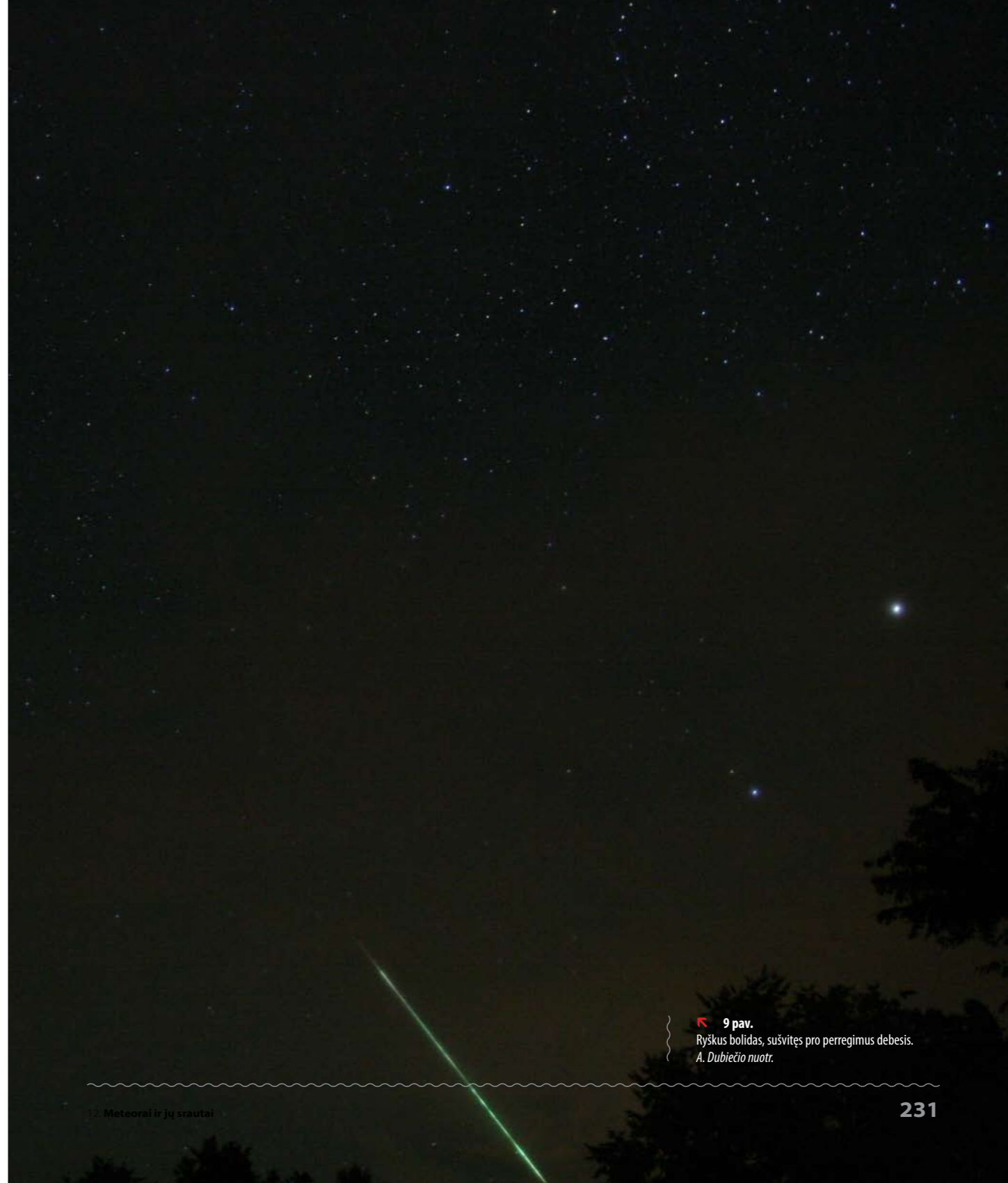


↑ **8 pav.**  
Bolidas, praskriejęs virš Andromedos ūko  
(paveiklo centre). R. Balčiūno nuotr.

11,2 km/s. Tokiu greičiu kristų begaliniu atstumu esantis kosminis kūnas, veikiamas tik Žemės traukos. Kadangi Žemė aplink Saulę skrieja rytų kryptimi, greičiausi meteorai stebimi rytinėje dangaus skliauto pusėje, o lėčiausi – vakarinėje. Kol visiškai sudega ir išgaruoja, atmosferoje meteoroidas vidutiniškai nuskrieja maždaug 20 km, o kai kurie bolidai pasiekia netgi viršutinius stratosferos sluoksnius (1 sk. 2 pav.). Tačiau jei meteoroidas yra masyvus, o jo greitis neviršija 25 km/s, liekanos gali nukristi ir ant Žemės paviršiaus. Toks objektas vadinamas meteoritu. Meteoritai nėra labai reti, per metus Europos plote nukrinta bent keletas nedidelių meteoritų. Ištyrus jų cheminę sandarą, nustatomas amžius ir kilmė. Tai leidžia giliau pažvelgti į mūsų gimtosios planetos ir visos Saulės sistemos atsiradimo istoriją bei raidą. Kai kuriuose meteorituose aptinkama net organinių junginių. Viena gyvybės Žemėje atsiradimo hipotezių (panspermijos hipotezė) kaip tik teigia, kad gyvybės užuomazgos į mūsų planetą atkeliavo su tokiais meteoritais.

Meteoroido sąveiką su atmosfera sąlyginai galima suskirstyti į 4 pakopas – kaitimą, abliaciją (garavimą), tamsųjį lėkį ir smūgį į paviršių. Meteoroidui įskriejus į pačius aukščiausius atmosferos sluoksnius (apie 300 km aukštyje), dėl susidūrimų su atmosferos dujų atomais ir molekulėmis jis ima kaisti. Jo paviršiaus temperatūra ima sparčiai didėti, o vidus išlieka šaltas. Atmosferai tolydžio tankėjant, susidūrimai tampa tokie dažni, kad 90–110 km aukštyje meteoroido paviršius ima lydėti, o pasiekus 2500 oC temperatūrą, meteoroido medžiaga ima sparčiai garuoti. Tad skriejančią meteoroidą apgaubia dujų debesėlis, kuris sudarytas iš jonizuotų ir sužadintų atmosferos dujų ir paties meteoroido medžiagos. Įvertinta, kad susidūrimas su viena atmosferos molekule išgarina net 80 molekulių nuo meteoroido paviršiaus. Sužadinti atomai ir molekulės spinduliuoja šviesą, o matomą šviesą, kurią ir stebime kaip meteorą, sąlygoja metalų, daugiausia geležies ir magnio, bei deguonies atomų ir azoto molekulių spinduliavimas. Šis švytėjimas užgęsta per sekundės dalis, išgaravus visai meteoroido masei. Beje, tik labai maža dalis – apie 0,2 % – kinetinės meteoroido energijos virsta šviesa. Jei meteoroido pradinis greitis didelis, susidūrimų su oro molekulėmis metu deguonies atomai gali būti sužadinami į metastabilų lygmenį. Tada matomi keletą sekundžių, o itin retais atvejais ir ilgiau gyvuojantys pėdsakai, kurių švytėjimo bangos ilgis yra 557 nm ir 635 nm – toks pat, kaip ir intensyvių spinduliuotės linijų, registruojamų šiaurės pašvaisčių švytėjimo spektre (11.4 sk.). Meteorų pėdsakai kartais įgauna keistas formas (10 pav.), bylojančias apie mezosferoje, o kartais ir stratosferoje, pučiančių vėjų kryptį bei greitį. Dar Antrojo pasaulinio karo metais tobulinant radarus pastebėta, kad meteorų paliekami jonizuotų dujų pėdsakai gerai atspindi radijo bangas. Meteorų stebėjimai naudojant radarus plačiai taikomi ir mūsų laikais.

Kaip buvo minėta, kol visiškai sudega ir išgaruoja,



↑ **9 pav.**  
Ryškus bolidas, sušvitęs pro perregimus debesis.  
A. Dubiečio nuotr.



← 10 pav.  
Ryškus bolidas (kairėje) ir jo pėdsakas  
po 10 sek. (viduryje) ir 20 sek. (dešinėje).  
S. Jurkevičiaus nuotr.

atmosferoje meteoroidas vidutiniškai nuskrieja maždaug 20 km, tačiau jei pradinė jo masė yra didelė, skrydis užtrunka ilgiau. Įskriejęs į tankius atmosferos sluoksnius toks meteoroidas dėl oro pasipriešinimo greitai lėtėja. Meteoroidui sulėtėjus iki 3 km/s, garavimas baigiasi. Toks kūnas nebespinduliuoja jokios matomos šviesos. Prasideda tamsiojo lėkio fazė – meteoroidas ima vėsti, nors jį stipriai stabdo jau gana tanki atmosfera. Greičiui sumažėjus iki kelių šimtų metrų per sekundę, prasideda laisvasis kritimas. Nelygu likusi meteoroido masė, toks kūnas nukrinta ant Žemės paviršiaus 10–100 m/s greičiu. Pabrėžtina, kad tik labai mažai daliai meteoroidų pavyksta įveikti visas šias pakopas. Paprastai visa medžiaga išgaruoja jau 80 km aukštyje (mezosferoje), ir tik retas bolidas pasiekia viršutinius stratosferos sluoksnius (40–50 km aukštį).

## 12.4 Meteorų stebėjimai

Didžiąją dalį žinių apie meteoroidus gauname būtent stebėdami meteorus, kadangi aptikti šiuos mažus beribėje kosmoso platybėje skriejančius objektus prak-

tiškai neįmanoma. Meteorų spektrai byloja apie cheminę jų sudėtį, o regimasis ryškis, vertinamas pagal žvaigždinio ryškio skalę ir nustatomas lyginant su žvaigždžių ryškiu, tiesiogiai susijęs su jų mase ir greičiu. Stebint meteorus iš dviejų geografinių punktų, galima tiksliai nustatyti ne tik jų radianto padėtį dangaus skliaute, bet ir apskaičiuoti orbitą. O tai labai svarbu identifikuojant jų ryšį su kometomis ar asteroidais. Šiuo metu pasaulyje daugiausia astronomijos mėgėjų ir meteorų astronomijos entuziastų pastangomis yra įkurti bolidų stebėjimo tinklai, automatizuotos vaizdo kamerų stebėjimo stotys, apimančios didžiąją dalį Europos, taip pat esančios JAV ir Australijoje. Atsiradus aukštos kokybės skaitmeninėms fotokameroms, į kokybiškai naują lygmenį pakilo fotografiniai meteorų stebėjimai.

Meteorų stebėjimas yra labai įdomus ir romantiškas, tačiau nemažai kantrybės ir laiko atimantis užsiėmimas. Vizualiai meteorus gali stebėti kiekvienas, tam nereikia jokios specialios įrangos ar aparatūros. Žmogaus akis yra nuostabus optinis instrumentas, užtikrinantis didelį jautrumą ir platų regėjimo lauką, o to kaip tik ir reikia stebint meteorus. Šiltai apsirengus ir patogiai įsitaisius, dangus už

kantrybę visuomet atsilygins puikiu reginiu. Vizualinius meteorų stebėjimus koordinuoja Tarptautinė meteorų organizacija (angl. *International Meteor Organization – IMO*), vienijanti daugiau nei tūkstantį po visą Žemės rutulį išsibarsčiusių meteorų stebėtojų. Stebėtojų geografijos įvairovė užtikrina, kad ištisus metus kiekvieną naktį kas nors kuriame nors Žemės kampelyje stebi meteorus. Nenutrūkstanti stebėjimai įgalina gauti unikalią informaciją ne tik apie meteorų srautų aktyvumą, bet ir užfiksuoti trumpalaikes jų aktyvumo variacijas, kurti ir tobulinti esamus meteoroidų srautų modelius, numatyti jų dinamiką Saulės sistemoje, geriau suprasti ir pačių kometų bei asteroidų evoliuciją. Visi stebėjimų duomenys apibendrinami dinaminėje duomenų bazėje, kuri laisvai prieinama visiems besidomintiems.

Būtent remiantis vizualiniais stebėjimais vertinamas meteorų srautų aktyvumas. Tuo tikslu IMO yra pasiūliusi bendrą stebėjimo metodiką. Apdorojus tokių stebėjimų duomenis, gaunami mokslinę vertę turintys rezultatai. Bendros metodologijos būtinumas pagrįstas tuo, kad kiekvienas stebėtojas dangų stebi labai skirtingomis sąlygomis (skiriasi dangaus skaidrumas, meteorų srauto radianto aukštis virš horizonto ir pan.), skiriasi ir kiekvieno stebėtojo regos ypatumai ir t. t. Tinkamai neįvertinus visų šių aplinkybių, smarkiai išauga paklaidos, o stebėjimų duomenys tampa nebe patikimi. Meteorų srauto aktyvumas vertinamas zenitiniu valandiniu skaičiumi (angl. *Zenithal hourly rate – ZHR*), kuris reiškia vieno stebėtojo registruojamą srauto meteorų skaičių per valandą, esant idealioms stebėjimo sąlygoms – kai regimasis žvaigždžių ryškis zenite yra 6,5m, srauto radiantas yra zenite (tiesiai virš galvos), o regėjimo lauko neriboja pastatai, medžiai ar dalinis debesuotumas [5]:

$$ZHR = \frac{Nr^{6.5-4m} F}{t \sin h_R}$$

Čia  $N$  žymi vieno stebėtojo pastebėtų srauto meteorų skaičių per stebėjimo laiką  $t$ ,  $h_R$  yra radianto aukštis virš horizonto, kurį galima nesunkiai apskaičiuoti remiantis dangaus trigonometrija,  $4m$  – ribinis regimasis žvaigždžių ryškis zenite, kuris nustatomas pagal matomų žvaigždžių skaičių tam tikruose dangaus sklypuose [6]. Patyrę stebėtojai ribinį žvaigždžių ryškį gali įvertinti 0,05m, o kartais ir dar didesniu tikslumu. Esant skaidriam dangui, toli nuo miesto žiburių plika akimi galima išvelgti net 6,8 ryškio žvaigždes, o mieste net ir geriausiomis sąlygomis vargiai matosi net ir 5,5 ryškio žvaigždės.  $r$  yra stebimo srauto meteorų pasiskirstymo pagal ryškį indeksas, kuris svarbus ir savitas kiekvieno srauto parametras. Meteorų ryškis nustatomas pagal žvaigždes ir vertinamas pagal žvaigždinio ryškio skalę. Tikslesniam zenitinio valandinio skaičiaus vertinimui papildomai atsižvelgiama į pataisas dėl debesuotumo ar kitų regėjimo lauko apribojimų. Aišku, idealios stebėjimo sąlygos toli gražu ne visada pasitaiko, tačiau, tinkamai įvertinus minėtus parametrus, atskirų stebėtojų rezultatai gerai sutampa.

## 12.5 Meteorų srautai

Pagrindinis kriterijus identifikuojant meteorų srautą yra jo aktyvumas ir orbitos elementų žinojimas, t. y. patikimai nustatytas ryšys su kilmės kūnu – kometa ar asteroidu. Kita sąlyga – srauto aktyvumas maksimumo metu turi siekti bent kelis meteorus per valandą. Srautų, tenkinančių minėtą sąlygą, sąrašas nėra ilgas – šiuo metu jų žinoma apie 40 [7]. Pagal aktyvumą visus meteorų srautus galima suskirstyti į didžiuosius, mažuosius ir periodinius. Pastebimiausi yra didieji meteorų srautai, kurių aktyvumas maksimumo metu vertinant zenitiniu valandiniu skaičiumi siekia daugiau nei 50 meteorų per valandą ir kasmet yra

Srautas	Tr.	Veikimo laikas	Maks. Data	$\alpha$	$\delta$	V, km/s	ZHR	Kosminis kūnas
Kvadrantidai	QUA	01.01–01.05	01.03	+49o	Kvadrantidai	41	120	2003EH1
Lyridai	LYR	04.16–04.25	04.22	+34o	Lyridai	49	18	C/1861 G1 Thatcher
$\eta$ -Akvaridai	ETA	04.19–05.28	05.05	-01o	$\eta$ -Akvaridai	66	60	1P/Halley
*Bootidai	JBO	06.26–07.02	06.27	+48o	*Bootidai	18	–	7P/Pons-Winnecke
$\delta$ -Akvaridai	SDA	07.12–08.19	07.27	-16o	$\delta$ -Akvaridai	41	20	96P/Machholz 1
Perseidai	PER	07.17–08.24	08.12	+58o	Perseidai	59	100	109P/Swift-Tuttle
Aurigidai	AUR	08.25–09.08	09.01	+42o	Aurigidai	66	7	C/1911 N1 Kiess
*Drakonidai	GIA	10.06–10.10	10/08	+54o	*Drakonidai	20	–	21P/Giacobini-Zinner
Orionidai	ORI	10.02–11.07	10/21	+16o	Orionidai	66	25	1P/Halley
Tauridai	TAU	10.01–11.25	11/05	+18o	Tauridai	27	10	2P/Encke
*Leonidai	LEO	11.14–11.21	11/17	+22o	*Leonidai	71	15	55P/Tempel-Tuttle
Geminidai	GEM	12.07–12.17	12/14	+33o	Geminidai	35	100	3200 Phaeton
Ursidai	URS	12.17–12.26	12/22	+76o	Ursidai	33	10	8P/Tuttle

↑ **1 lentelė.**  
Pagrindiniai meteorų srautai, jų parametrai ir jų kilmės kosminiai kūnai (tr. – tarptautinis srauto trumpinys, radianto koordinatės:  $\alpha$  – rektascensija,  $\delta$  – deklinacija, V – įskriejimo greitis į atmosferą. Žvaigždute pažymėti periodiniai srautai)

daugumą pastovus. Mažųjų meteorų srautų aktyvumas maksimumo metu paprastai neviršija 5–10 meteorų per valandą, tad norint atpažinti tokiems srautams priklausančius meteorus, jau reikalinga tam tikra stebėjimų patirtis. Žinoma, patys išpūdingiausi yra periodiniai meteorų srautai, kurių kasmetis aktyvumas dažniausiai yra menkas, tačiau šimtus ar net tūkstančius kartų sustiprėja, kai juos pagimdžiusios kometos praskrieja perihelij, o Žemė susiduria su tankia meteoroidų srauto sritimi [8]. Tokiais atvejais dažnai stebimi meteorų lietūs. Meteorų lietus – tai išskirtinis reto grožio reiškinys, kai galima matyti 1 ar daugiau meteorų per sekundę.

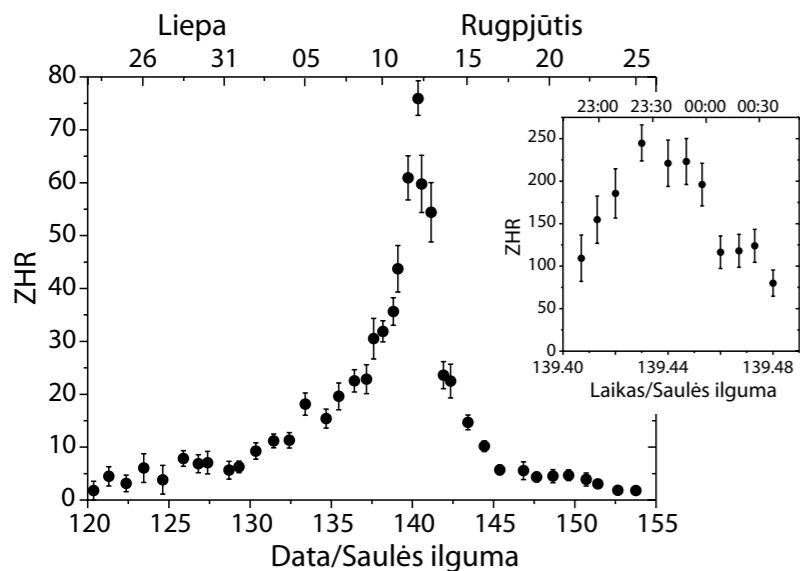
Pagrindinių meteorų srautų, kuriuos galima stebėti Lietuvoje, sąrašas pateiktas **1 lentelėje**. Radiantų padėtys nu-

rodytos srauto maksimumui, tačiau reikia turėti omenyje, kad radiantas dangaus skliaute per parą vidutiniškai pasislenka 1o į rytus pagal rektascensiją ir 0.1–0.2o į šiaurę ar pietus pagal deklinaciją.

Didieji meteorų srautai pasižymi daugumą pastoviu aktyvumu. Daugiausia tai seni srautai, kuriuose meteoroidai gana tolygiai pasiskirstę išilgai srauto orbitos. Meteorų srauto aktyvumas ir matomumo trukmė priklauso ne tik nuo jo amžiaus, bet ir nuo to, kiek tankią srauto dalį kerta Žemės orbita ir kiek plačiai meteoroidai pasklidę kosminėje erdvėje. Svarbu ir tai, kokių kampu srauto orbita pasvirusi į ekliptikos plokštumą – paprastai nedidelis pokrypio kampas sąlygoja ilgesnį srauto matomumo laikotarpį. Jei srauto orbita sąlyginai nutolusi nuo didžiųjų Saulės sistemos planetų ir jos periodas yra ilgas, toks srautas nepatiria didesnio gravitacinio poveikio ir gali būti stebimas tūkstantmečius. Tokie yra perseidų, eta akvaridų ir orionidų srautai, kurie buvo žinomi jau gilioje senovėje.



↑ **11 pav.**  
Ryškios perseidų meteorų strėlės – rugpjūčio naktų puošmena. T. Janušonio nuotr.



← 12 pav.  
Suvidurkinta perseidų meteorų srauto aktyvumo kreivė pagal knygos autoriaus stebėjimų 1988–2003 m. duomenis. Papildomame paveiksle – neįprastai aukšto perseidų aktyvumo kitimo kreivė 2004 m. rugpjūčio 11–12-osios naktį. Vertikalūs brūkšniai ant taškų žymi zenitinio valandinio skaičiaus įvertinimo paklaidas

Vienas žinomiausių didžiųjų meteorų srautų – perseidų srautas, kurio radiantas yra Persėjo žvaigždynė [9]. Šis srautas yra tikra tamsių rugpjūčio naktų puošmena. Tai vienas seniausių, aktyviausių ir ilgiausiai veikiančių (daugiau nei mėnesį) meteorų srautų, kurio ryškios meteorų strėlės be perstojo raizgo tamsų rugpjūčio dangų (2, 11 pav.). Viduramžiais Vakarų Europoje šis srautas buvo vadinamas Šv. Lauryno ašaromis, kadangi jo maksimumo data sutapo su šv. Lauryno diena. Esant geroms stebėjimo sąlygoms, toli nuo didžiųjų miestų šviesų, maksimumo metu – rugpjūčio 11–13-osios naktimis – galima priskaičiuoti net iki 100 perseidų srauto meteorų per valandą. Perseidų srauto meteoroidai įskrieja į Žemės atmosferą 60 km/s greičiu, tad stebimi meteorai yra labai greiti, ryškūs ir dažnai palieka švytinčius pėdsakus. Perseidų srautas kilęs iš Svitlo-Tutlio kometos, kurios apskriejimo aplink Saulę periodas yra 130 metų. Kometa paskutinį kartą praskriejo periheliją 1992 m. Tuomet beveik dešimtmetį perseidų meteorų srautas viso pasaulio stebėtojus džiugino

daugiau nei dvigubai išaugusiu aktyvumu [10]. Paskutinis perseidų meteorų lietus įvyko 2004 m. rugpjūčio 13-osios naktį ir buvo gerai matomas Lietuvoje [11], kai per valandą buvo galima priskaičiuoti iki 250 perseidų meteorų (12 pav.). Nustatyta, kad tuomet Žemės orbitą kirtę kometos medžiaga, išmesta į kosminę erdvę dar 1862 m., per priešpaskutinį jos apsilankymą perihelyje. Šiuo metu perseidų srauto aktyvumas jau grįžo į savo įprastines vėžes, o giedros ir šiltos rugpjūčio naktys kasmet kviečia pasigrožėti šiuo nuostabiu reginiu.

Šiuo metu pats intensyviausias yra geminidų meteorų srautas, kildinamas ne iš kometos, o iš asteroido Fajetono (3200 Phaeton). Dar XIX a. geminidų srautas buvo labai silpnas ir net nebuvo įtrauktas į to meto katalogus. Tačiau jau XX a. pradžioje jo aktyvumas pastebimai išaugo, o šiuo metu tai vienas gražiausių meteorų srautų, kasmet gruodžio 13–14-osios naktį pažeriantis daugiau nei 100 lėtų, skriejančių 35 km/s greičiu gelsvos spalvos meteorų per valandą.

Ilgamečiai stebėjimų duomenys byloja, kad geminidų srauto aktyvumo lygis ir maksimumo laikas laipsniškai kinta [12]. Matuojant kosminiais masteliais, šis kitimas yra labai greitas. Prognozuojama, kad dėl orbitos precesijos geminidų srautas ims silpti apie 2050 m. ir galiausiai išnyks, nes jo ir Žemės orbitos daugiau nebesusikirs. Lietuvoje šio srauto radiantas, esantis Dvynių žvaigždynė, pateka anksti vakare, todėl geminidų meteorais galima grožėtis visą ilgą žiemos naktį. Vis dėlto šio gražaus žiemos srauto stebėjimo sąlygas dažnai sugadina prasti gruodžio orai ar tiesiog labai šaltos naktys.

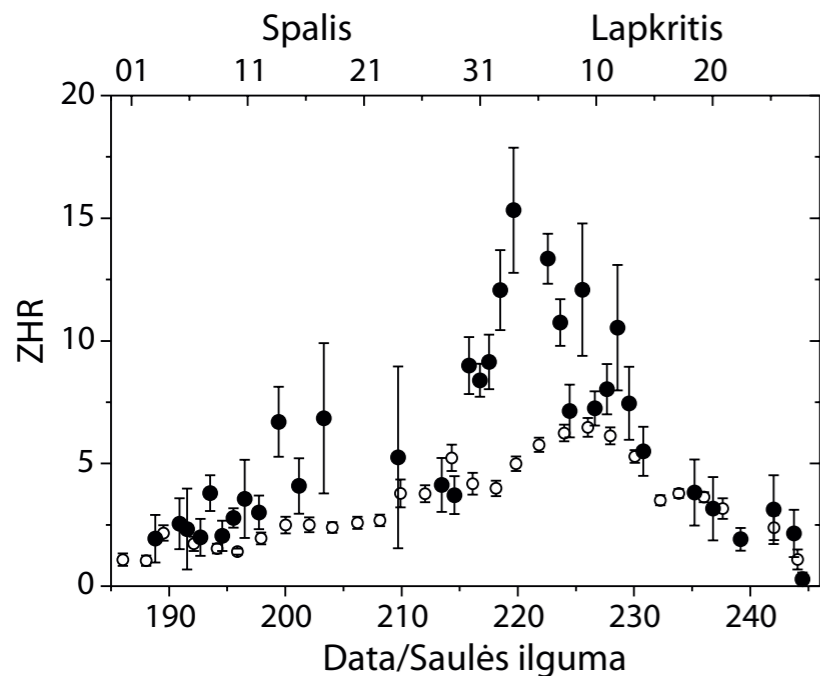
Dar vienas labai aktyvus didysis meteorų srautas yra kvadrantidai, kurio radiantas yra tarp Jaučiaganio, Drakono (Slibino), Heraklio ir Didžiųjų bei Mažųjų Grįžulo Ratų žvaigždynų. Šio srauto pavadinimas kilo iš kadaise buvusio Kvadranto žvaigždyno, kuris astronomų sutarimu buvo panaikintas, o jo žvaigždės „išdalintos“ jau minėtiems kaimyniniams žvaigždynams. Gražu, kad istorinis meteorų srauto pavadinimas išliko iki šiol. Maksimumo metu sausio 3–4-osios naktį kvadrantidų aktyvumas siekia iki 120 meteorų per valandą, tačiau pats maksimumas yra labai trumpas, trunka vos keletą valandų, o ir pats srautas aktyvus tik savaitę. Kadangi žiema Lietuvoje giedromis naktimis nelepina, dažniausiai kvadrantidų žybsnius nuo mūsų slepia storas žemų debesų sluoksnis. Kvadrantidų srautas įdomus ir tuo, kad ilgą laiką tai buvo vienintelis didysis srautas, kurio kilmė nežinoma. Dabar laikoma, kad kvadrantidų srautą suformavo nedidelis 2003 m. atrastas asteroidas 2003 EH1, kuris, kaip spėjama, gali būti kadaise egzistavusios didelės kometos nuolauža [13].

Eta-akvaridai, matomi gegužės pradžioje, ir orionidai, matomi spalio antrojoje pusėje, yra garsiosios Halio kometos (1P/Halley) sukurti srautai. Taip jau susiklostė, kad Žemės ir Halio kometos atplaišų orbitos kertasi du kartus per metus – gegužės ir spalio mėnesiais – tik Žemės

orbita kerta šiek tiek skirtingo tankio srauto dalis. Dėl susikirtimo su Žemės orbita geometrijos ypatumų eta-akvaridų srautas yra aktyvesnis, maksimumo metu jo zenitinis valandinis skaičius siekia iki 60 meteorų, o orionidų srautas – silpnesnis, jo vidutinis aktyvumas yra apie 20–30 meteorų per valandą. Abiejų srautų meteorai yra labai greiti (į atmosferą jie įskrieja 66 km/s greičiu), paliekantys net kelias sekundes, o kartais ir dar ilgiau švytinčius jonizuotų dujų pėdsakus. Dėl stipraus gravitacinio Jupiterio poveikio abiejų srautų aktyvumas sinchroniškai kinta 12 metų periodu. O Halio kometos meteoroidų srautas erdvėje yra stipriai fragmentuotas skersai savo orbitos: meteoroidai yra susigrupavę į gijas, kurios viena po kitos kerta Žemės orbitą. Dėl to eta-akvaridų ir orionidų meteorų srautams būdingas neįprastai ilgas maksimumas, trunkantis bemaž 3 naktis, kurio metu srautų aktyvumas tai sumažėja, tai vėl padidėja. Pastarąjį kartą Halio kometa praskriejo periheliją 1985 m., tačiau tuomet dauguma stebėtojų liko nusivylę, nes jokio padidėjusio nei eta-akvaridų, nei orionidų meteorų aktyvumo nebuvo neužregistruota. Tačiau dėl jau minėto Jupiterio poveikio 2006 ir 2007 m. orionidų aktyvumas buvo išaugęs iki 60–70 meteorų per valandą [14, 15], o eta-akvaridų – net iki 100. Lietuvoje orionidų srauto stebėjimo sąlygos yra labai geros. Jo radiantas, esantis ant Dvynių ir Oriono žvaigždynų ribos, pateka vėl vakarą, tad orionidų meteorai gerai matomi visą ilgą rudens naktį. Tuo tarpu eta-akvaridų srauto stebėjimo sąlygos Lietuvoje yra kur kas blogesnės – jo radiantas, esantis Vandens žvaigždynė, pateka jau pradėjus švisti, tad ryškios eta-akvaridų strėlės greitai išnyksta ryto aušros šviesoje.

Kai kurie mažieji meteorų srautai taip pat žinomi nuo gilios senovės, mat tada jie buvo kur kas aktyvesni, tačiau dėl didžiųjų planetų traukos poveikio gerokai nusilpo. Ryškiausias pavyzdys yra lyridų meteorų srautas, kurio radiantas yra Lyros žvaigždynė. Šis srautas kildinamas iš ilgo





← 13 pav.  
Tauridų meteorų srauto aktyvumo kreivės: vidutinė daugiametė (tuščiaiduriniai taškai) ir 2005 metų (pilnaviduriniai taškai), kai Žemės orbita kirtė rezonansinę srauto dalį (IMO duomenys)

periodo (apie 400 metų) Tečer (*C/Thatcher*) kometos, o jo meteorai matomi balandžio antroje pusėje.

Tolimųjų Rytų kronikos byloja apie kadaise galingą lyridų meteorų srautą, kuris savo grožiu ir intensyvumu galėjo varžytis su perseidais. Šių dienų lyridų srauto aktyvumas gerokai prablėšęs, maksimumo metu balandžio 21–22-osios naktį nesiekiantis nė 20 meteorų per valandą [16]. Tačiau 1982 m., daugelio nuostabai, lyridai netikėtai buvo pažėrę net 100 meteorų per valandą.

Pastarųjų metų tyrinėjimai atskleidė, kad senų srautų suaktyvėjimas nėra atsitiktinis reiškinys, jį sąlygoja visiškai neseniai išmesta (paskutinio perihelio praskriejimo metu) kometos medžiaga, kuri užima kompaktišką erdvės tūrį. Panašia dinamika pasižymi ir šiaip jau silpnas aurigidų meteorų srautas, kurio radiantas yra Vežėjo žvaigždyne ir kuris 2007 m. rugšėjo 1 d. pažėrė ryškių meteorų lietu.

Deja, jo grožį šiek tiek užgožė Mėnulio pilnatis [17].

Labai gražus yra delta-akvaridų meteorų srautas, kurio maksimumas stebimas liepos pabaigoje. Lietuvos padangėje Vandens žvaigždyne esantis šio srauto radiantas tik neaukštai pakyla virš pietinio horizonto, tad maksimumo metu galima pamatyti ne daugiau kaip 10 šio srauto meteorų. Tačiau palyginti menką kiekybę kompensuoja kokybė: ilgos delta-akvaridų trajektorijos yra nukreiptos iš apačios į viršų, o ryškūs meteorai palieka iš tiesų neišdildomą išpūdį. Pietų pusrutulyje delta akvaridų stebėjimo sąlygos yra idealios. Tai vienas gražiausių pietinio dangaus meteorų srautų.

Vienas įdomiausių mažųjų meteorų srautų yra tauridų srautas. Jo radiantas yra Tauro (Jaučio) žvaigždyne. Šis srautas susiformavo prieš maždaug 10 000 metų, kaip manoma, subyrėjęs milžiniškai kometai. Didžiausia tos

kometos liekana yra trumpiausia periodą iš visų žinomų turinti Enkės (*2P/Encke*) kometa. Tauridų meteoroidų srautas ypatingas tuo, kad jame tebeegzistuoja daug stambių asteroidinės ir kometinės kilmės kosminių kūnų, galinčių susidurti su Žeme. Garsusis Tunguskos meteoritas, 1908 m. sproges virš Sibiro taigos, taip pat priskiriamas tauridų srautui. Tauridų srautas turi dvi atskiras šakas, taip pat ir radiantus – šiaurės ir pietų, susiformavusias veikiant Jupiterio gravitacinėms jėgoms. Nors tauridų srauto aktyvumas maksimumo metu – lapkričio pradžioje – tesiekia 10 meteorų per valandą, retkarčiais jis beveik padvigubėja dėl srauto orbitos rezonansų su Jupiterio planeta [18] (13 pav.). Tačiau įdomiausia tai, kad tuomet srautas gausiai pažeria išpūdingo ryškio bolidų. 2005 m. užregistruota net keliolika šio srauto bolidų, šviesumu prilygstančių Mėnulio pilnčiai. Tauridų srautas yra ilgiausiai, net du mėnesius, veikiantis meteorų srautas, matomas spalio–lapkričio mėnesiais. Šio srauto stebėjimo sąlygos Lietuvoje yra bemaž idealios – jo radiantas pateka ankstų vakarą ir matomas visą naktį.

Periodiniai meteorų srautai suaktyvėja tik juos sukūrusioms kometoms priartėjus prie perihelio ir neretai padovanoja išpūdingą meteorų lietu. Pastarųjų kelių dešimtmečių laikotarpis buvo išskirtinis, pasižymėjęs kaip reta didele tokių įvykių gausa. Pats žymiausias periodinis srautas yra leonidai, turintys bene ilgiausią ir spalvingiausią istoriją, kuri trumpai minėta šio skyriaus pirmajame skyrelyje [19]. Leonidų srauto meteoroidai su Žeme susiduria kaktomuša, įskriedami į Žemės atmosferą 71 km/s greičiu. Leonidų meteorų lietus ypatingi intensyvumu.

1998 m. Tempelio-Tutlio (*55P/Tempel-Tuttle*) kometai, kurios periodas yra 33 metai, praskriejus perihelį, leonidai net 7 metus iš eilės džiugino viso pasaulio meteorų stebėtojus ar šiaip smalsuolius, lapkričio viduryje pažėrdami gausybę ryškių meteorų ir bolidų. 1999–2002 m.

lapkričio 17–19-osios naktimis buvo galima pamatyti daugiau nei 3 500 leonidų meteorų per valandą (vidutiniškai po vieną meteorą per sekundę), tačiau pabjurusi Lietuvos padangė neleido ilgai grožėtis šiuo nuostabiu reginiu. Modeliavimo rezultatai parodė, kad tuomet Žemės orbita kliudė labai įvairaus amžiaus meteoroidų šleifo dalis, kai kurie meteoroidai atitrūko nuo kometos paviršiaus prieš 700 metų, o kiti tik paskutinio kometos apsilankymo perihelyje metu, t. y. 1965 m. 2004 m. leonidų srautas nusilpo, grįždamas į savo įprastinę aktyvumo vagą. Dabar maksimalus zenitinis valandinis leonidų skaičius neviršija 15 meteorų per valandą. Prognozuojama, kad leonidų srautas vėl suaktyvės 2032 m., Tempelio-Tutlio kometai eilinį kartą praskriejant perihelį, ir vėl padovanos naujų įstabių reginių.

Kitas gerai žinomas ir įdomus periodinis srautas yra drakonidai. Jų radiantas yra Drakono (Slibino) žvaigždyne. Drakonidai siejami su trumpo periodo (6,5 metų) Džakobinio-Cinerio (*21P/Giacobini-Zinner*) kometai. Šį periodinį srautą atrado jau minėtas V. Deningas (W. Dening), kuris taip pat nustatė, kad drakonidų srautas suaktyvėja tik kas 13 metų, kai kometai praskrieja visai netoli (aišku, kosminiais masteliais) Žemės orbitos. Drakonidų srauto aktyvumas trunka labai trumpai – tik keletą naktų (spalio 8–10 d.). Tai rausvi ir labai lėti, pasivejantys Žemę meteorai, skriejantys 20 km/s greičiu. Pastarąjį kartą trumpas bet labai intensyvus drakonidų lietus pliūptelėjo 1998 m. Tuomet labiausiai pasisekė Japonijos stebėtojų, kurie priskaičiavo net iki 800 drakonidų meteorų per valandą [20]. Drakonidų srautui būdinga ir tai, kad jame yra galybė labai smulkių meteoroidų, fiksuojamų tik radarais. Kaip tik toks radijo bangomis užregistruotas drakonidų lietus įvyko 2012 m., kai tuomet plika akimi buvo pastebėta tik kelios dešimtys srauto meteorų.

Šiuolaikinis meteorų srautų evoliucijos ir dinamikos prognozavimas sparčiai progresuoja. Pirmieji šiuolaikiški

skaitmeniniai modeliai, įgalinę tiksliai numatyti pastarojo dešimtmečio leonidų meteorų lietus [21] dabar taip patobulėjo, kad srauto maksimumo laiką galima prognozuoti kelių minučių tikslumu. Skaitmeninis meteorų srautų modeliavimas yra labai sudėtingas uždavinys. Jo esmė – atskirų meteoroidų, atitrūkusių nuo kosminio kūno įvairiais jo evoliucijos laikotarpiais, orbitų skaičiavimas ir atstumo nuo Žemės orbitos įvertinimas, įskaitant meteoroidų pasiskirstymą pagal masę, kuris nustatomas iš meteorų stebėjimų, nuolat kintantis gravitacinių jėgų, orbitų precesijos, Saulės slėgio poveikis ir pan. Atsiradus superkompiuterių tinklams, galima tiksliai modeliuoti daugybės statistinių meteoroidų orbitas, jų kitimo dėsningumą ir tiksliai prognozuoti ne tik meteorų srautų maksimumo laiką, bet ir jų intensyvumą. Šiuos išpūdingus pasiekimus sąlygojo glaudus meteorų astronomijos profesionalų ir mėgėjų bendradarbiavimas, kai modeliai tobulinami ir tikslinami remiantis meteorų stebėjimo entuziastų rezultatais. Tiksliai žinant kometų ir asteroidų orbitas, galima nesunkiai patikrinti, ar toks meteoroidų srautas kirs Žemės orbitą ir ar gali būti matomas su šiais kūnais susijęs meteorų srautas. Tačiau dar daug objektų neatrasta, planetų perturbacijos irgi daro poveikį – meteoroidų srautas, daugelį amžių skriejęs pro šalį, vieną gražią naktį netikėtai gali pasirodyti mūsų padangėje. Taip 2005 m. spalio 5-osios naktį buvo atrastas iki tol nestebėtas srautas – kamelopardidai [22], kurio radiantas yra Žirafos žvaigždyne. Po metų srautas vėl buvo aktyvus ir nudžiugino visa virtine ryškių bolidų. Nustačius srauto orbitą, dabar ieškomas jo kilmės kosminis kūnas.

Tačiau tik maždaug penktadalis visų registruojamų meteorų priklauso žinomiems didiesiems, mažiesiems ar periodiniams srautams. Likusi didžioji meteorų dalis nepriskiriama jokiems srautams. Jie vadinami atsitiktiniais arba sporadiniais. Kiekvieną naktį galima pastebėti apie

10 tokių meteorų per valandą. Bėgant metams, sporadinių meteorų skaičius šiek tiek kinta. Daugiausia jų matoma rugpjūčio–lapkričio (vidutiniškai 15 per valandą), mažiausiai, apie 7, – kovo–birželio mėnesiais. Radarais ir vaizdo kameromis užfiksuota, kad sporadinių meteorų radiantai nėra visiškai atsitiktinai išsibarstę dangaus skliaute, tačiau grupuojasi tam tikrose dangaus srityse [23]. Viena kompaktiškiausių sporadinių meteorų radiantų sankau-pų yra priešingame Saulei taške – antihelyje. Tai meteoroidai, kurių orbitos guli bemaž ekliptikos plokštumoje. Jie yra daugelio praeityje suirusių kometų ar kitų smulkesnių Saulės sistemos kūnų liekanos, o pats sporadinių meteorų „srautas“ kartais vadinamas ekliptikidais (angl. *antihelion source*), nes jo radiantai projektuojasi ant regimojo Saulės kelio dangaus skliaute – ekliptikos. Ekliptikidų aktyvumas yra menkas, tesiekiantis vidutiniškai vos 2–3 meteorus per valandą, tačiau pats srautas aktyvus ištisus metus. Kitos dvi radiantų sankaupos nėra tokios kompaktiškos ir užima keliasdešimties laipsnių skersmens sritis danguje, kurių centrai atitinkamai yra apekso (menamo dangaus sferos taško, kurlink skrieja Žemė) ir antiapekso (priešingo apeksui taško) kryptimis. Naktį antiapekso srities radiantai leidžiasi, o apekso – pateka ir kyla vis aukšty. Nesunku pastebėti, kad tik sutemus vyrauja lėtesni, atskriejantys iš vakarinės dangaus pusės, o paryčiui – greitesni, atskriejantys iš rytinės dangaus pusės, sporadiniai meteorai. Visai neseniai atrasta, kad registruojamas sporadinių meteorų skaičius periodiškai kinta priklausomai nuo Saulės aktyvumo [24]. Nustatyta, kad Saulės aktyvumo maksimumo metu registruojamas sporadinių meteorų skaičius yra beveik 20 % didesnis nei minimumo metu. Šį kitimą lemia ne fizinis sporadinių meteorų kiekio kitimas, o dėl Saulės aktyvumo besikeičiančios sąlygos viršutiniuose Žemės atmosferos sluoksniuose, kurios savo ruožtu daro įtaką užsižiebiančių meteorų šviesumui.



## 12.6 Zodiako šviesa

Skaidriomis pavasario ar rudens naktimis kartais galima pastebėti blyškų dangaus švytėjimą ties vakariniu ar rytiniu horizontu. Šis švytėjimas intensyviausias prie horizonto ir panašus į Paukščių Tako (14 pav.). Tai – Zodiako šviesa (angl. *zodiacal light*). Ji geriausiai matoma netoli pusiaujo, atogrąžų juostoje. Lietuvoje Zodiako šviesą geriausia stebėti rudenį, likus keletui valandų iki Saulės tekos, arba pavasarį, praėjus tiek pat laiko po Saulės laidos. Dėl to Zodiako šviesa kartais vadinama „netikra aušra“. Zodiako šviesos šaltinis yra Saulės šviesa, išsklaidyta kosminių dulkių debesies, esančio tarpplanetinėje erdvėje tarp Marso ir Jupiterio orbitų.

Zodiako šviesos kilmę dar 1683 m. pirmasis paaiškino italų astronomas Žanas Kasinis (Jean-Dominique Cassini), kurio garbei pavadintas tamsus tarpas tarp Saturno žiedų. Gausybė kosminių dulkių ir mažiausių meteoroidų, kurių vidutinis matmuo tėra apie 100 μm ir kurių orbitos susispietę ekliptikos plokštumoje, sklaido nedideliu kampu kritusių Saulės šviesą, kurią iš Žemės matome kaip neryškų, iš už horizonto iškylantį šviesos kūgį. Šie maži meteoroidai atsirado dėl daugybės stambesnių meteoroidų, nedidelių asteroidų ir kometų liekanų tarpusavio susidūrimų, po

↑ 14 pav.  
Zodiako šviesa. Ryškus šviesulys prie horizonto – Jupiteris, o šiek tiek virš jo – Sietynas – gražus padrikasis žvaigždžių spiečius Tauro žvaigždyne.  
R. Balčiūno nuotr.

kurių pastarieji kūnai pamažu virto dulkių debesimi, dar vadinamu Zodiako debesimi (angl. *zodiacal cloud*). Nors Zodiako debesis užima milžinišką erdvės tūrį, vertinama, kad bendra jį sudarančių dalelių masė tėra apie  $5 \times 10^{19}$  g. Tai atitinka tik 37 km skersmens kosminio kūno masę [25]. Zodiako debesis nesunkiai aptinkamas iš kosminių aparatų pagal intensyvią šiluminę (infraraudonąją) spinduliuotę. Kur kas rečiau (tam reikalingas idealiai skaidrus dangus) priešingoje Saulei pusėje galima pamatyti atošvaistę – ir atgaline kryptimi išsklaidytą Saulės šviesą, kurią sklaido tas pats Zodiako debesis.

## 12.7 Kosminės katastrofos

Apytiksliais vertinimais, per metus į Žemės atmosferą patenka iki 40 000 t kosminės medžiagos [26]. Didžiąją šios medžiagos masės dalį sudaro kosminės dulkės ir mikrometeoroidai, tik palyginti nedidelė jos dalis tenka regimojo ryškio meteorams, o dar mažesnė – žinomiems meteorų srautams. Ir tik nykstamai maža bendros masės dalis tenka tokiems objektams kaip bolidai ar meteoritai. Kosminės dulkės yra pagrindinis kosminės medžiagos šaltinis, pavasarį ir rudenį sukuriantis subtilų naktinio dangaus švytėjimą – Zodiako šviesą, o jose gausiai aptinkami lengvojo metalo natrio junginiai tampa pagrindiniais kondensacijos centrais susidarant sidabriškiesiems debesims mezosferoje.

Įvertinta, kad per metus į Žemės atmosferą įskrieja apie 100 000 meteoroidų, kurių masė didesnė nei 10 g. Priklausomai nuo jo pradinio greičio, toks kūnas matomas kaip -3--7 ryškio bolidas. 1–2 metrų skersmens objektas įskrieja į Žemės atmosferą vidutiniškai kartą per mėnesį, o kartą per metus Žemė susiduria su 5 metrų skersmens meteoroidu [27]. Ekstrapoliuodami Žemės susidūrimo su di-

desniais – Tunguskos tipo – objektais tikimybę, gautume, kad tokie susidūrimai turėtų vykti kartą per 1 000 metų.

Kosminių katastrofų tema jau seniai kaitina mokslininkų ir visos žmonijos vaizduotę, suteikdama daug peno mokslinės fantastikos mėgėjams [28]. Didžiausia modernių laikų kosmine katastrofa laikomas 1908 m. virš Sibiro praskriejęs Tunguskos meteoritas, kurio kilmė iki šiol yra diskusijų objektas. Moderniausios hipotezės teigia, kad Tunguskos meteoritas – tai Enkės kometos skeveldra [29], sprogsi maždaug 6–8 km aukštyje virš Žemės paviršiaus. Manoma, kad objekto masė buvo keli tūkstančiai tonų, skersmuo apie 60 metrų, o sprogsimo galia prilygo 10 megatonų trotilo ekvivalentui. Pats sprogsimas nepaliko jokio žymesnio kraterio, kadangi beveik visa meteorito medžiaga išgaravo keleto kilometrų aukštyje virš Žemės paviršiaus ir pasklido atmosferoje, mėnesiams pritemdydama Saulės šviesą virš viso Žemės rutulio. Tuo pat metu virš Sibiro ir Europos buvo matomi neįprastai šviesūs sidabriškieji debesys.

O štai visai neseniai, 2013 m. vasario 15 d., virš Čeliabinsko (Rusija) sprogo dar vienas meteoritas, kurio skersmuo, manoma, buvo apie 20 metrų, o masė – apie tūkstantį tonų [30]. Meteoritas į Žemės atmosferą įskriejo 18 km/s greičiu ir sprogo keleto kilometrų aukštyje virš Žemės paviršiaus, Čeliabinsko pakraštyje. Sprogsimo būta tokio stipraus (jo galia siekė 500 kilotonų trotilo ekvivalento), kad smūginė oro banga (angl. *airburst*) buvo registruojama visame pasaulyje. Žmonių aukų išvengta, tačiau, griūvant pastatams ir dūžtant langų stiklams, buvo sužeista apie 1 000 žmonių.

Tad kyla natūralus klausimas, kiek reali yra Žemės susidūrimo su tokiu ar dar didesniu objektu tikimybė ir kaip tiksliai galima ją įvertinti. Tikslaus atsakymo, žinoma, nėra, bet jau įsibėgėjo tarptautinė programa „Spacewatch“, kurios tikslas – inventorizuoti visus potencialiai pavojingus

Žemei asteroidus ar kitus objektus (angl. *Near-Earth Objects* – *NEO*), kurių skersmuo yra didesnis nei keli šimtai metrų. Potencialiai pavojingais laikomi visi objektai, kurių perihelio atstumas  $< 1,3$  a. v., o afelio  $> 0,983$  a. v. (1 a. v. yra astronominis vienetas, lygus vidutiniam atstumui nuo Žemės iki Saulės, t. y. 150 mln. km). LINEAR (angl. *Lincoln Near-Earth Asteroid Research*) projekto duomenimis, tokių objektų gali būti apie 1 200, nors šis skaičius nėra galutinis ir gali dar didėti [31]. Pavojingiausiai iš iki šiol atrastų objektų laikomas apie 300 m skersmens asteroidas Apofis (2004 MN4 Apophis), pavadintas senovės egiptiečių blogio dievo Apepo vardu. Prognozuojama, kad 2029 m. šis asteroidas praskries viso labo 35 000 km atstumu nuo Žemės [32]. Jei jis bent kiek nukryptų nuo savo orbitos, Žemę sukrestų maždaug 1 000 megatonų (100 kartų stipresnis nei Tunguskos meteorito) smūgis, kurio pasekmes prognozuoti sunku. Tačiau tikra katastrofa Žemės civilizaciją ištiktų susidūrus su 10 km skersmens kometa ar asteroidu. Šia prasme didžiausią potencialią grėsmę kelia ilgo periodo kometos, kurių afelis yra Saulės sistemos pakraštyje, už Plutono orbitos, ir apie kurių egzistavimą iš anksto sužinoti neįmanoma. Tikėtina, kad panašus susidūrimas galėjo įvykti prieš 65 mln. metų, kai Žemėje išnyko dinosauzai. Apytiksliais vertinimais, Žemė su tokiais objektais galėtų susidurti kartą per 150 mln. metų. O kad tokie susidūrimai yra visai realūs, buvo galima įsitikinti, kai visai neseniai, 2004 m., į Jupiterį nukrito Šumeikerio-Levio kometa (D/Shoemaker-Levy 9), kuri net tokios planetos milžinės atmosferoje paliko ryškų pėdsaką, o kai kurie Jupiterio atmosferos sudėties pokyčiai tebėra stebimi net ir šiandien.

Per visą stebėjimų istoriją arčiausiai Žemės praskriejo Lekselio (D/1770 Lexell) kometa, kuri 1770 m. buvo priartėjusi iki pavojingai „mažo“, matuojant kosminiu masteliu, 0,015 a. v. (maždaug 2,2 mln. km) atstumo. Tuomet ši

kometa buvo matoma net dieną ir iki šiol laikoma pačia šviesiausia mus aplankiusia dangaus viešnia. Tačiau įdomiausia tai, kad ši kometa per kelis dešimtmečius dukart praskriejo arti Jupiterio, kuris pirmą kartą ją nukreipė Žemės link, o antrąkart švystelėjo į beribes kosmoso platybes. Tokie Lekselio kometos kosminiai virazai įspėja, kad susidūrimo pavojus yra visai realus, o svarbiausia, kad jis gali iškilti staiga ir netikėtai.

Mėnulio kraterių amžius ir dydis taip pat leidžia apytiksliai įvertinti Žemės susidūrimo su kosminiais objektais tikimybę. Neseniai nustatyta, kad per pastaruosius 100 000 metų ant Mėnulio paviršiaus atsirado bent 25 nauji tokių smūgių pėdsakai – krateriai. Žinodami, kad Žemės paviršiaus plotas yra 13,5 karto didesnis nei Mėnulio, gautume, jog vienas Tunguskos dydžio objektas turėtų susidurti su Žeme vidutiniškai kartą per 300 metų (!) – kur kas dažniau nei manyta. Visai neseniai įsitikinta, kad ir didieji meteorų srautai palieka pėdsaką Mėnulyje. Nors jis neturi atmosferos, iš Žemės pro teleskopą galima pastebėti jame žybsnius, kuriuos sukelia į Mėnulio paviršių atsitrenkę stambūs meteoroidai. Visą seriją tokių žybsnių stebėjo Ispanijos astronomai per 2000 m. leonidų meteorų lietu [33]. Panašūs žybsniai stebėti neįprastų perseidų 2004 m. ir tauridų 2005 m. meteorų srautų maksimumų metu. Stebėtojų vertinimais, optiškai jau galima užregistruoti 1 kg meteoroido sukeltą žybsnį mūsų Žemės palydovo paviršiuje. Pastaruoju metu teoriškai nustatyta, kada ir kokie meteorų srautai gali būti matomi mūsų kaimyninėse planetose – Veneroje [34] ir Marse [35], o 2005 m. Marso visureigis „Spirit“ optiškai užfiksavo pirmąjį meteoroido žybsnį Marso padangėje [36].

Žinios, gaunamos iš meteorų stebėjimų, praturtina mūsų supratimą apie kometas, asteroidus ir meteoroidų srautų evoliuciją, visos Saulės sistemos kilmę bei vystymąsi.

Meteorų tyrimai turėtų atsakyti į daugybę šiandien aktualių klausimų. Ar meteorų stebėjimų rezultatai gali iš anksto pranešti apie kosminių kūnų susidūrimą su Žeme? Kurios ilgo periodo kometos ir apie kurias galbūt dar nieko nežinome yra potencialiai pavojingos? Kokie yra tarpžvaigždinės kilmės meteorų šaltiniai ir kaip tai susiję su Saulės sistemos kilme? Kas atsitinka organinėms medžiagoms, kurių aptinkama meteoroiduose, kai šie įskrieja į Žemės ar kitų planetų atmosferas, ir ar tokios medžiagos galėjo praeityje būti gyvybės atsiradimo Žemėje šaltinis? Kaip prognozuoti meteorų keliamą pavojų palydovams, be kurių sunkiai įsivaizduojame šiuolaikinių ryšių, tikslias meteorologines prognozes ir pan.? Kokį pavojų kelia meteoroidai Mėnulyje, kur ateityje svajojama įrengti nuolat veikiančias kosmines bazines? Tikslų atsakymų į šiuos klausimus kol kas, deja, nėra, tačiau nebeįtaria, kad nuo meteorų astronomijos žinių žymia dalimi priklauso net tik kosminių skrydžių saugumas, bet ir galbūt pačios civilizacijos Žemėje išlikimas. Prisiliesti prie šių dangaus paslapčių gali kiekvienas – tereikia pakelti akis į žvaigždėtą dangų, nes kiekvieną naktį ištiesus metus virš mūsų verda nuostabus ir nepakartojamas dangaus gyvenimas.

#### Bibliografija

1. F. L. Whipple, *A comet model. II. Physical relations for comets and meteors*, *Astrophysical Journal* **133**, 1951, 464–473.
2. P. Jenniskens, *Meteor showers and their parent comets*, Cambridge University Press, 2008.
3. R. Arlt, J. Rendtel, P. Brown, V. Velkov, W. K. Hocking, J. Jones, *The 1998 outburst and history of the June Bootid meteor shower*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **308**, 1999, 887–896.
4. Z. Ceplecha, J. Borovička, W. G. Elford, D. O. ReVelle, R. L. Hawkes, V. Porubčan, M. Šimek, *Meteor phenomena and bodies*, *Space Science Reviews* **84**, 1998, 327–471.
5. P. Jenniskens, *Meteor stream activity. I. Annual showers*, *Astronomy & Astrophysics* **287**, 1994, 990–1013.
6. R. Arlt, *New limiting magnitude tables*, *Journal of the International Meteor Organization* **27**, 1999, 6–18.
7. R. Arlt, J. Rendtel, *A new working list of meteor showers*, *Journal of the International Meteor Organization* **34**, 2006, 77–84.
8. P. Jenniskens, *Meteor stream activity. II. Meteor outbursts*, *Astronomy & Astrophysics* **295**, 1995, 206–235.
9. P. Brown, J. Rendtel, *The Perseid meteoroid stream: characterization of recent activity from visual observations*, *Icarus* **124**, 1996, 414–428.
10. P. Jenniskens, H. Betlem, M. de Lignie, C. Ter Kuile, M. C. A. Van Vliet, J. Van't Leven, M. Koop, E. Morales, T. Rice, *On the unusual activity of the Perseid meteor shower (1989–96) and the dust trail of comet 109P/Swif-Tuttle*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **301**, 1998, 941–954.
11. A. Dubietis, *The 2004 Perseid outburst from Lithuania*, *Journal of the International Meteor Organization* **32**, 2004, 129–130.
12. J. Rendtel, *Evolution of the Geminids observed over 60 years*, *Earth, Moon, Planets* **95**, 2004, 27–32.
13. P. Jenniskens, *2003 EH1 is the Quadrantid shower parent comet*, *The Astronomical Journal* **127**, 2004, 3018–3022.
14. J. Rendtel, *Three days of enhanced Orionid activity in 2006 - meteoroids from a resonance region?*, *Journal of the International Meteor Organization* **35**, 2007, 41–45.
15. R. Arlt, J. Rendtel, P. Bader, *The 2007 Orionids from visual observations*, *Journal of the International Meteor Organization* **36**, 2008, 55–60.

16. A. Dubietis, R. Arlt, *Thirteen years of Lyrids from 1988 to 2000*, *Journal of the International Meteor Organization* **29**, 2001, 119–133.
17. P. Atreya, A. A. Christou, *The 2007 Aurigid meteor outburst*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **393**, 2009, 1493–1497.
18. A. Dubietis, R. Arlt, *Taurid resonant-swarm encounters from two decades of visual observations*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **374**, 2007, 890–894.
19. P. Brown, *The Leonid meteor shower: historical visual observations*, *Icarus* **138**, 1999, 287–308.
20. R. Arlt, *Summary of 1998 Draconid outburst observations*, *Journal of the International Meteor Organization* **26**, 1998, 256–259.
21. R. H. McNaught, D. J. Asher, *Leonid dust trails and meteor storms*, *Journal of the International Meteor Organization* **27**, 1999, 85–105.
22. P. Jenniskens, J. Moilanen, E. Lyytinen, I. Yrjölä, J. Brower, *The 2005 October 5 outburst of October Camelopardalids*, *Journal of the International Meteor Organization* **33**, 2005, 125–128.
23. M. D. Campbell-Brown, J. Jones, *Annual variation of sporadic radar meteor rates*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **367**, 2006, 709–716.
24. A. Dubietis, R. Arlt, *Periodic variability of visual sporadic meteor rates, Earth, Moon, Planets* **106**, 2010, 105–111.
25. D. Nesvorný, P. Jenniskens, H. F. Levison, W. F. Bottke, D. Vokrouhlický, M. Gounelle, *Cometary origin of the Zodiacal cloud and carbonaceous micrometeorites. Implications for hot debris disks*, *The Astrophysical Journal* **713**, 2010, 816–836.
26. S. G. Love, D. E. Brownlee, *A direct measurement of the terrestrial mass accretion rate of cosmic dust*, *Science* **262**, 1993, 550–553.
27. P. Brown, R. E. Spalding, D. O. ReVelle, E. Tagliaferri, S. P. Worden, *The flux of small near-Earth objects colliding with the Earth*, *Nature* **420**, 2002, 294–296.
28. E. M. Shoemaker, *Asteroid and comet bombardment of the Earth*, *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences* **11**, 1983, 461–494.
29. D. J. Asher, D. I. Steele, *On the possible relation between the Tunguska bolide and comet Encke*, *Planetary and Space Science* **46**, 1998, 205–211.
30. P. Brown, *A preliminary report on the Chelyabinsk fireball/airburst*, *Journal of the International Meteor Organization* **41**, 2013, 22.
31. J. S. Stuart, *A Near-Earth Asteroid population estimate from LINEAR survey*, *Science* **294**, 2001, 1691–1693.
32. D. J. Asher, M. Bailey, V. Emelyanenko, B. Napier, *Earth in the cosmic shooting gallery*, *The Observatory* **125**, 2005, 319–322.
33. J. L. Ortiz, P. V. Sada, L. R. Bellot Rubio, F. J. Aceituno, J. Aceituno, P. J. Gutierrez, U. Thiele, *Optical detection of meteoroidal impacts on the Moon*, *Nature* **405**, 2000, 921–923.
34. M. Beech, *Venus-intercepting meteoroid streams*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **294**, 1998, 259–264.
35. A. A. Christou, K. Beurl, *Meteoroid streams at Mars: possibilities and implications*, *Planetary and Space Science* **47**, 1999, 1475–1485.
36. F. Selsis, M. T. Lemont, J. Vaubaillon, J. F. Bell, *A martian meteor and its parent comet*, *Nature* **435**, 2005, 581.