

# 11. Šiaurės pašvaistės

←  
x. A. Dubiečio nuotr.

## 11.1. Nuo mistikos iki mokslinio supratimo

Šiaurės pašvaistė (aurora borealis) yra vienas įspūdingiausių ir didingiausių naktinio dangaus reginių. Neseniai Babilono astronominiuose tekstuose aptiktas pats seniausias dokumentas, kuriame aprašytas šis paslaptingas gamtos reiškinys. Jis datuojamas 567 m. prieš Kristų ir yra rašytas ant molio lentelių [7]. Šiaurės pašvaistės minimos senovės graikų, kinų, japonų ir korėjiečių istoriniuose šaltiniuose. Daugelį amžių apie pašvaisčių kilmę buvo tik spėliojama. Pavyzdžiui, senovės graikų filosofas Aristotelis teigė, kad šiaurės pašvaisčių švytėjimą sukuria į viršų kylantys atmosferos garai, kurie užsiliepsnoja pasiekę dangaus sferą. Romėnų filosofas Seneka manė, kad raudonas šiaurės pašvaisčių švytėjimas simbolizuoja atsivėrusį dangų. Viduramžiais šis nepaaiškinamas reiškinys žmonėms keldavo baimę ir buvo laikomas karų, epidemijų, kitokių nelaimių ar dievo bausmių pranašu. Šiaurės šalyse (Skandinavijoje), kur pašvaistės buvo matomos dažnai, požiūris į jas buvo kiek kitoks. Šis reiškinys nekėlė tokios didelės baimės ir susipynė su vietinių gyventojų tautosaka bei mitologija.

Vieną pirmųjų mokslinių šiaurės pašvaistės kilmės hipotezių dar XVIII a. nepriklausomai iškėlė žymusis anglų astronomas Edmondas Halis (Edmond Halley) ir prancūzų mokslininkas Žanas de Mairanas (Jean-Jacques de Mairan). Jie manė, kad šiaurės pašvaistės yra susiję su Žemės magnetiniu lauku, o jų atsiradimą lemia Žemės magnetinio lauko kaita. Ž. de Mairanas atrado dabar jau gerai žinomą šiaurės pašvaisčių sezoniškumą ir netgi pamėgino išmatuoti pašvaisčių švytėjimo aukštį.

Magnetinę šiaurės pašvaisčių kilmės hipotezę netrukus patvirtino švedų astronomas Alfredas Celsijus (Alfred Celsius), pastebėjęs, kaip danguje švytint ryškiai pašvaistei ima blaškytis kompas rodyklė. XIX a. pabaigoje gamtos

moksluose buvo padaryta daugybė svarbių atradimų, kurie padėjo įminti šiaurės pašvaisčių mįslę. Garsus norvegų fizikas Andersas Angstremas (Anders Jonas Ångström) pirmasis pažvelgė į pašvaistės spalvas per prizmę ir atrado, kad pašvaistės švytėjimo spalvų spektrą sudaro vos kelios atskiros siauros spektrinės linijos. Netrukus pavyko identifikuoti ir šias linijas spinduliuojančius cheminius elementus.

Pirmuosius laboratorinius eksperimentus, kurie tiesiogiai įrodė magnetinę šiaurės pašvaisčių prigimtį, 1896 m. atliko norvegų fizikas Kristianas Birkelandas (Kristian Olaf Birkeland). Patalpinęs įmagnetintą rutulį į žemo slėgio išlydžio lempą, jis išvydo erdvinius elektros išlydžio darinus, kurių forma buvo labai panaši į šiaurės pašvaistės švytėjimą. Remdamasis šių tyrimų rezultatais, K. Birkelandas atskleidė, kad šiaurės pašvaistę kuria elektronai, nukreipiami Žemės magnetinio lauko link Žemės magnetinių polių ir toliaregiškai numatė, jog šių elektronų šaltinis galėtų būti Saulė. Už šiuos darbus K. Birkelandas buvo net septynis kartus nominuotas Nobelio fizikos premijai, tačiau jos taip ir negavo. Vis dėlto norvegai rado būdą, kaip įamžinti savo garsų mokslininką – K. Birkelando atvaizdas šiuo metu puikuojasi ant 200 Norvegijos kronų banknoto.

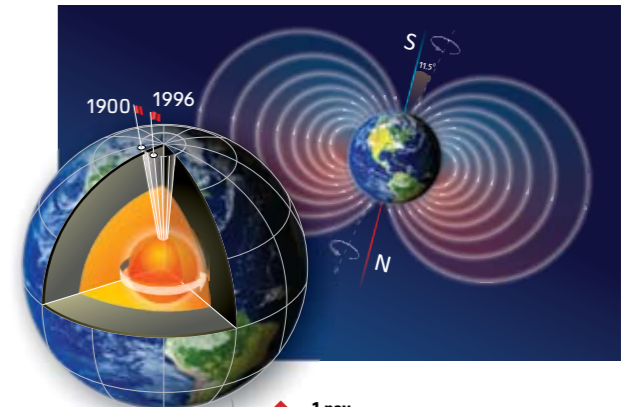
K. Birkelando darbus pratęsė jo mokinys Karlas Stormeris (Carl Størmer). Šiaurės pašvaisčių tyrinėjimams skyręs daugiau nei 30 metų, įvairiose Norvegijos vietose jis padarė daugiau nei 20 000 šiaurės pašvaisčių nuotraukų ir trianguliacijos metodu nustatė, kad vidutinis šiaurės pašvaisčių švytėjimo aukštis yra 100–120 km, o retkarčiais gali siekti net iki 500 km. Jau šiuolaikiniais kosminės fotometrijos metodais nustatyta, kad pašvaisčių švytėjimas driekiasi dar aukščiau – net iki 1 000 km virš Žemės paviršiaus. Taigi šiandien žinome, kad šiaurės pašvaistės – tai pačių aukščiausių Žemės atmosferos sluoksnių švytėjimas, kurį sąlygoja sudėtinga Žemės magnetinio lauko ir iš Saulės atskriejančių elektringųjų dalelių srauto, vadinamo Saulės

vėju, sąveika.

## 11.2 Žemės magnetinis laukas

Apie magnetus ir metalų įmagnetinimą žinojo jau senovės graikai ir kinai. Manoma, kad kompasas, kurio neturint net nebuvo galima svajoti apie didžiuosius geografinius atradimus, buvo išrastas maždaug prieš 1 000 metų Kinijoje. 2000-aisiais sukako lygiai 400 metų, kai Anglijos karalienės Elžbietos I asmeninis fizikas (tuomet buvo ir tokių!) Viljamas Džilbertas (William Gilbert) paskelbė savo žymųjį veikalą „De Magnete“, kuriame teigė, kad pats Žemės rutulys yra milžiniškas magnetas, turintis šiaurinį ir pietinį polius ir nukreipiantis kompas rodyklę. Jis net atliko eksperimentą su didžiuliu įmagnetintu rutuliu ir kompasu, akivaizdžiai pademonstruodamas, kaip kompas rodyklė keičia kryptį, kai kompasas judinamas skersai ir išilgai rutulio paviršiaus. Tačiau V. Džilbertas negalėjo paaiškinti, nei kaip atsiranda Žemės magnetinis laukas, nei kodėl tikrovėje kompas rodyklė rodo nevisiškai tiesiai į šiaurę, kitaip tariant, kodėl nesutampa Žemės magnetiniai ir geografiniai poliai. Pirmasis Žemės magnetinio lauko kilmės paaiškinimą pasiūlė jau minėtas E. Halis, teigdamas, kad Žemė viduje sudaryta iš besisukančių koncentrinų įmagnetintų sferų. Aišku, tai buvo tik spėjimas, tačiau jame glūdėjo ir kruopelė tiesos.

Jau XIX a., mokslo ir technikos suklestėjimo laikais, žymus vokiečių fizikas ir matematikas Karlas Gausas (Carl Friedrich Gauss) ir jo kolega Vilhelmas Vėberis (Wilhelm Eduard Weber) pirmą kartą išmatavo Žemės magnetinio lauko stiprį ir įsteigė nuolat veikiančią Žemės magnetinio lauko stebėjimų tinklą. Beje, kiek vėliau jiedu išrado pirmąjį elektromagnetinį telegrafą. Jau pirmasis magnetinio lauko stebėjimo tinklo stebėjimų gautas rezultatas buvo labai svarbus – įsitikinta, kad magnetinis laukas susidaro pačiose Žemės gelmėse. Netrukus buvo atskleistas glaudus elektros ir magnetizmo ryšys, įrodyta, kad magnetinio



↑ 1 pav.  
Vidinė Žemės rutulio sandara, Žemės magnetinis laukas ir pietinio magnetinio poliaus judėjimas 1900–1996 metais. J. Griciaus pieš.

lauko šaltinis yra elektros srovė, o kai žymus anglų fizikas ir chemikas Maiklas Faradėjus (Michael Faraday) atrado elektromagnetinės indukcijos reiškinį, buvo išrastos dinamo mašinos, dabar vadinamos elektros generatoriais. Visas šias žinias pritaikius Žemės rutuliui, paaiškėjo, kad Žemės magnetinį lauką kuria jos gelmėse veikianči milžiniška dinamo mašina [2].

Apytikriai prieš 4,5 milijardo metų, formuojantis Žemės planetai, sunkesnieji cheminiai elementai geležis ir nikelis pamažu nugrimzdo gilyn link Žemės centro. Dabar 3 000 km gylyje tyvuliuoja didžiausias vandenynas – 3 400 km skersmens karšto ir skysto metalo sfera, vadinama išoriniu branduoliu, kurio temperatūra siekia apie 3000 °C. Šio vandenyno gelmėse esantys metalai ir jų lydiniai dėl milžiniško slėgio sukietėja, suformuodami maždaug 1 200 km skersmens kietą vidinį Žemės branduolį. Žemei sukantis, skystasis ir kietasis branduoliai taip pat sukasi, tačiau šiek tiek skirtingais greičiais, dėl to ima tekėti stiprios elektros srovės, kurios ir kuria Žemės magnetinį lauką. Taigi Žemė yra milžiniškas magnetinis dipolis (1 pav.). Žemės branduolio ir paties Žemės rutulio sukimosi ašys



↑ 2 pav.  
Saulės dėmės 2012 m. gegužės 9 d. R. Balčiūno nuotr.

Žemės magnetinio lauko anomalijos – sritys su padidėjusiu ar sumažėjusiu magnetinio lauko stipriu. Viena tokių sričių yra Atlanto vandenyne šalia Pietų Amerikos, o jos plotas prilygsta paties žemyno dydžiui. Visi šie ženklai byloja, jog po kurio laiko Žemės magnetiniai poliai apsisuks vietomis – apsivers: šiaurinis magnetinis polius taps pietiniu, ir atvirkščiai. Mokslininkai prognozuoja, kad tai gali įvykti jau per artimiausius 1 000 metų. Matuojant geofiziniu laiko masteliu, tai tėra akimirka. Tyrinėjant įsimagnetinančias uolienas [4] nustatyta, kad praecityje Žemės magnetinio lauko poliarumas ne kartą keitėsi<sup>25</sup>. Įvertinta, kad paskutinį kartą tai įvyko maždaug prieš 800 000 metų, tačiau kokie vyksmai Žemės gelmėse lemia tokius pasikeitimus, iki šiol tebėra paslaptis. Taip pat sunku prognozuoti ir būsimo įvykio padarinius. Neatmetama tikimybė, kad kažkuriam laikui Žemė neteks magnetinės apsaugos nuo Saulės vėjo.

### 11.3 Saulės vėjas

Saulės vėjas – tai elektringųjų dalelių srautas, kurio šaltinis yra Saulė. Saulės vėjas buvo atrastas 1960 m., paleidus pirmuosius kosminius aparatus. Galima sakyti, kad tai buvo vienas reikšmingiausių atradimų kosminės

<sup>25</sup> Įsimagnetinančių uolienu tyrimas sudaro paleomagnetizmo mokslo pagrindą. Po ugnikalnių išsiveržimų, vėstant uolienoms, jose esantis mineralas magnetitas (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) įsimagnetina, „įrašydamas“ tuo metu esančio Žemės magnetinio lauko kryptį. Magnetitas savo magnetinę „atmintį“ išlaiko milijonus metų. Bėgant laikui, jo įsimagnetinimas laipsniškai mažėja, ir pagal tai nustatomas uolienu amžius. Taip atkuriama planetos magnetinio lauko istorija.

eros aušroje. Saulės vėjas kyla aktyviose Saulės fotosferos (regimosios atmosferos) srityse, kur susidaro nepaprastai stiprūs magnetiniai laukai. Kai kurios aktyviosios sritys Saulės paviršiuje gerai matomos pro nedidelį teleskopą. Tai – Saulės dėmės (2 pav.). Pačios didžiausios Saulės dėmės gali būti matomos net plika akimi, kai Saulė teka ar leidžiasi, ar tiesiog žvelgiant į ją pro tamsintą stiklą. Taip Saulės dėmes stebėjo jau senovės kinai.

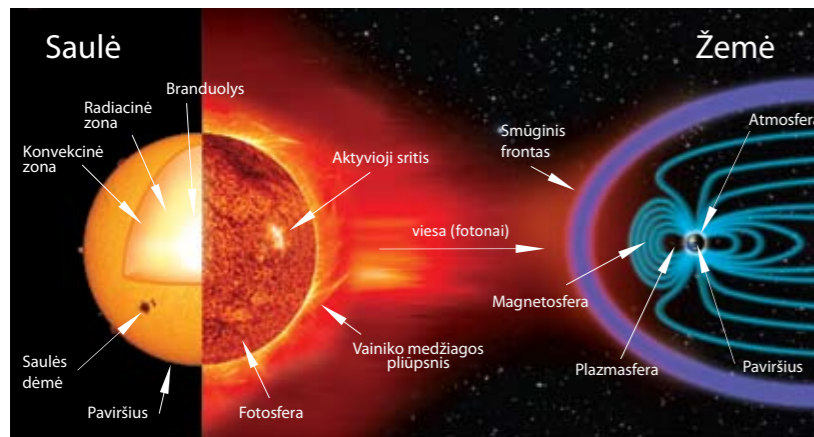
Kad Saulės dėmių skaičius yra efektyvus Saulės aktyvumo matas, XIX a. viduryje aptiko vokiečių astronomas Samuelis Švabė (Samuel Schwabe), kuris kartu atrado ir 11 metų Saulės aktyvumo kitimo ciklą. Apskritai šiandien naudojama daug ir įvairių Saulės aktyvumo matų, kurie vertinami remiantis įvairių mokslinių prietaisų rodmenimis. Tai – vienos iš vandenilio spinduliavimo ultravioletinių linijų (Laimano- $\alpha$ , bangos ilgis 121 nm) ar radijo dažnio ties 10,6 cm bangos ilgiu intensyvumai, ir įvairūs kiti, remiantis magnetinio lauko iškraipymų matavimais nustatomi geomagnetinio aktyvumo indeksai [5]. Tačiau paprasčiausias ir suprantamiausias iš jų yra Tarptautinis Saulės dėmių skaičius (*International sunspot number*), anksčiau vadintas Volfo arba Ciuricho skaičiumi, kuris nuolat pateikiamas Saulės poveikio duomenų analizės centro (*Solar Influences Data Analysis Center – SIDC*) biuleteniuose, kurie skelbiami internete <http://sidc.oma.be>. Tarptautinis Saulės dėmių skaičius R apskaičiuojamas pagal paprastą formulę  $R = k(10g+f)$ , kur k yra tam tikras parametras, nusakantis stebėjimo instrumento charakteristikas (paprastai  $k \approx 1$ ), g yra Saulės dėmių grupių, o f – visų Saulės dėmių skaičius. Šią formulę 1848 m. pasiūlė vienas Saulės aktyvumo stebėjimo pradininkų šveicarų astronomas Rudolfas Volfas (Rudolph Wolf). Saulės aktyvumui įvertinti ji naudojama iki šiol. Remiantis esamo Saulės aktyvumo ciklo Saulės dėmių skaičiaus kitimo forma ir kitais parametrais, galima gana tiksliai prognozuoti

ateinančio Saulės aktyvumo ciklo ypatumus [6].

Saulės dėmių paviršiaus temperatūra yra beveik 1000 °C žemesnė nei aplinkinėje fotosferoje (vidutinė fotosferos temperatūra yra apie 5800 °C), todėl Saulės dėmės mums atrodo tamsios. Būtent jose atsiranda galingos magnetinio lauko anomalijos, kurių dėka elektringosios dalelės (elektronai, protonai ir helio branduoliai, dar vadinami  $\alpha$ -dalelėmis) išsiveržia iš Saulės magnetinio lauko ir pasiekia net pačius tolimiausius Saulės sistemos kampelius. Saulės vėjas „pučia“ nuolat, o jo stiprumas priklauso nuo Saulės aktyvumo. Esant dideliame Saulės aktyvumui, Saulė per trumpą laiką į kosminę erdvę gali išspjauti milžiniškus elektringųjų dalelių kiekius. Tai – vadinamieji vainiko medžiagos pliūpsniai (angl. *coronal mass ejection – CME*), sukeltys Saulės vėjo „gūsius“. Vieno tokio pliūpsnio metu į kosminę erdvę gali būti išmetama iki milijardo tonų elektringųjų dalelių. Panašius, tačiau mažesnės energijos elektringųjų dalelių kiekius į erdvę išspjauna ir vadinamieji Saulės žybsniai (angl. *solar flare*), kurie kyla aktyviose aukštesnės temperatūros Saulės fotosferos srityse. Saulės žybsniai yra „nematomi“ regimajame spektro diapazone, tačiau jų metu registruojamas smarkiai padidėjęs ultravioletinių ir Rentgeno spindulių bei centimetrinių radijo bangų srautas.

Pastovus Saulės vėjas „pučia“ maždaug 400 km/s greičiu, tačiau jo greitis „gūsių“ metu padidėja iki 1000–1200 km/s. Tokiu greičiu skriejančios Saulės vėjo dalelės Žemę pasiekia po keleto dienų. Žemės magnetinis laukas jas nukreipia išilgai savo linijų, tolyn nuo Žemės [7] (3 pav.). Taigi magnetinis laukas atlieka tarsi neregimo skydo vaidmenį, apsaugodamas Žemę nuo tiesioginio Saulės vėjo poveikio. Tačiau ir Saulės vėjas savo ruožtu veikia Žemės magnetinį lauką. Dieninėje, į Saulę atsuktoje pusėje Žemės magnetinio lauko linijos yra suspaudžiamos, čia formuojasi didžiulis lanko formos smūginis frontas. Naktinėje





← 3 pav.  
Saulės vėjo ir Žemės magnetinio lauko sąveika.  
J. Gričiaus pieš.

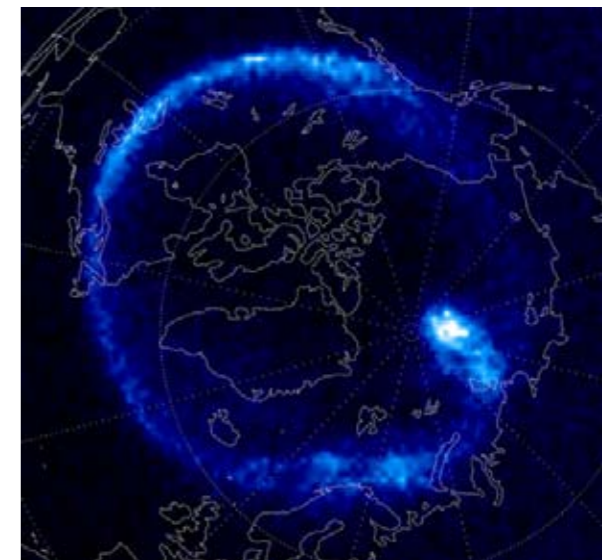
pusėje – atvirkščiai, magnetinio lauko linijos nutįsta tolyn, net iki 100 000 km atstumu nuo Žemės. Taip atsiranda vadinamasis plazmos šleifas [8]. Nedidelis lengvesnių Saulės vėjo dalelių (elektronų ir protonų) kiekis yra „pagaunamas“ ir sulaikomas plazmos šleifo šerdyje ir Van Aleno radiacinėse juostose, pavadintose jas 1958 m. atradusio amerikiečių mokslininko Džeimso van Aleno (James van Allen) vardu. Van Aleno radiacinėse juostose elektringosios dalelės juda pirmyn ir atgal uždromis spiralinėmis trajektorijomis, atsispindėdamos ties Žemės magnetiniais poliais. Kai Saulės vėjo dalelių srautas labai didelis, pagautų dalelių kiekis Van Aleno juostose labai išauga, ir Žemės magnetinis laukas ties jos paviršiumi yra smarkiai iškraipomas. Tuomet kyla vadinamosios magnetinės audros, kurios gali trukti keletą dienų. Likusios Saulės vėjo dalelės juda išilgai magnetinio lauko linijų: iš pradžių jos nutolsta nuo Žemės, tačiau tam tikra nedidelė jų dalis vėliau grąžinama atgal dėl magnetinio perjungimo (angl. *magnetic reconnection*) reiškinio, kuris vyksta ten, kur susikerta nematomos Saulės ir Žemės magnetinių laukų linijos [9]. Sugrįžtančios elektringosios dalelės yra greitinamos ir, įgijusios papildomos energijos, pasiekia aukščiausius Žemės

atmosferos sluoksnius ties magnetiniais poliais. Magnetinio perjungimo vyksmas yra labai dinamiškas ir trumpalaikis, dėl jo kyla vadinamosios magnetosferos subaudros (angl. magnetic substorms) [10]. Būtent tuomet Žemės atmosferoje išsižiebja pačios ryškiausios pašvaisės.

Sritys, kuriose įvyksta elektringųjų Saulės vėjo dalelių sąveika su atmosferos dujų atomais, yra žiedo formos. Jos vadinamos pašvaisčių ovalu, o jo centre yra magnetinis polius. Pašvaisčių ovalo skersmuo ramios Saulės metu yra apie 3 000 km, tad šiaurės pusrutulyje jis apima šiaurinius Skandinavijos ir Rusijos rajonus, Kanadą ir Aliaską (4 pav.). Pašvaisčių ovalo zonoje šiaurės pašvaisės galima stebėti vos ne kasnakt. Magnetinių audrų metu pašvaisčių ovalo skersmuo smarkiai padidėja. Tuomet šiaurės pašvaisės tampa matomos daug piečiau. Įvertinta, kad šiaurės kraštuose (šiauriau 60° šiaurės platumos) šiaurės pašvaisės vidutiniškai sušvinta iki 10 kartų per mėnesį, Lietuvos platumoje – maždaug kartą per du mėnesius, Vidurio Europos kraštuose – kartą ar du per metus, Pietų Europoje – tik kartą ar du per dešimt metų, Šiaurės Afrikoje – keliskart per šimtmetį, o ant ekvatoriaus – tik kartą per 200 metų. Be to pastebėta, kad įspūdingos šiaurės pašvaisės dažnai

atsikartoja kas 27 dienas – toks yra vidutinis Saulės apsisukimo apie savo ašį periodas. Pašvaisės matomos ir pietų pusrutulyje. Čia jos vadinamos pietų pašvaisėmis (aurora australis). Beje, pirmasis europietis, stebėjęs pietų pašvaisę 1773 m. ir aprašęs ją laivo žurnale, buvo garsus anglų kapitonas ir kartografas Džeimsas Kukas (James Cook). Keičiantis Žemės magnetinių polių padėčiai, atitinkamai keičiasi ir pašvaisčių ovalo padėtis. Kadangi pietinis magnetinis polius palengva tolsta nuo Amerikos ir artėja link Europos, tikėtina, kad jau šio amžiaus antroje pusėje šiaurės pašvaisės bus vis dažniau matomos iš vidutinių Europos platumų.

Šiaurės pašvaisčių dažnis ir intensyvumas tiesiogiai priklauso nuo Saulės aktyvumo, kuris kinta apytikriai 11 metų periodu. Akivaizdu, kad ryškiausios ir dažniausiai matomos šiaurės pašvaisės išsižiebja Saulės aktyvumo ciklo maksimumų metu. Beje, yra nustatytas ryšys tarp Saulės aktyvumo ir Žemės klimato [11]. Pastebėta, kad Saulės aktyvumo minimumo metais vidutinė temperatūra ties Žemės paviršiumi sumažėja. Paprastai šis temperatūros pokytis yra labai mažas, tačiau tampa ženklus, jei minimumas užsitęsia. Vienok 11 metų Saulės aktyvumo ciklas atspindi tik labai trumpalaikius Saulės gėlmėse vykstančius procesus, o Saulės aktyvumo lygis ne visuomet buvo toks, koks yra dabar. Pavyzdžiui, 1645–1715 m. laikotarpis, kuris vadinamas Maunderio minimumu, Saulės dėmės buvo beveik išnykę, o šiaurės pašvaisės tuomet buvo ypač retas reiškinys [12]. Maunderio minimumo laikotarpis dažnai vadinamas mažuoju ledynmečiu, nes vidutinė metinė oro temperatūra buvo net keletu laipsnių žemesnė už vidutinę daugiametę. Tuo metu visą Europą kaustė ilgos ir atšiaurios žiemos. Panašiai nutiko ir XVIII ir XIX a. sankirtoje (1793–1816 m.), kai Saulės aktyvumas taip pat buvo neįtikėtina žemas [13]. Prognozuojama, kad jau netolimoje ateityje panašus Saulės aktyvumo minimumas ir vėl gali



↑ 4 pav.  
Pašvaisčių ovalas ramios Saulės periodu

pasikartoti, tačiau kokie vyksmai Saulėje lemia tokį smarkų aktyvumo sumažėjimą, iki šiol nėra tiksliai žinoma. Pagrįstai manoma, kad, be 11 metų ciklo, egzistuoja ir kiti daug ilgesni Saulės aktyvumo kaitos ciklai, kurių trukmė siekia šimtus ar tūkstančius metų. Ilgųjų ciklų kaita lemia ledynmečius, o istoriniai šiaurės pašvaisčių stebėjimai suteikia neįkainojamos informacijos apie Saulės aktyvumo kaitą ir Žemės klimatą praeityje [14].

## 11.4 Pašvaisčių spalvos

Įskriejusios į Žemės atmosferos viršutinius sluoksnius, Saulės vėjo dalelės daug kartų susiduria su atmosferos dujų atomais ir molekulėmis, ir perduodamos jiems savo energiją, juos sužadina. Perteklinę energiją atomai ir molekulės išspinduliuoja šviesos kvantų (fotonų) pavidalu,



➔ **5 pav.**  
Šiaurės pašvaistės spalvos. Viena gražiausių pastarojo  
meto šiaurės pašvaisčių Lietuvos padangėje, sušvitusi  
2011 m. rugpjūčio 6-osios naktį. R. Balčiūno nuotr.



➔ **6 pav.**  
Šiaurės pašvaistė, užfiksuota 2013 m. kovo 17-osios  
naktį. Apatiniame kairiajame paveikslėlyje kampe  
rodykle pažymėta tuo metu plika akimi matoma  
Panstars kometa (C/2011 L4 Pan-STARRS),  
kurios padidintas vaizdas pateiktas paveikslėlyje intarpe.  
R. Balčiūno nuotr.

kuriuos akis mato kaip pašvaistės švytėjimą. Pašvaistės švyti dideliame aukštyje – 100–500 km, ten, kur atmosfera labai reta (jos tankis 109–1011 kartų mažesnis nei ties Žemės paviršiumi), dėl to sužadinti atomai ir molekulės papildomos energijos gali „atsikratyti“ tik spinduliuodami šviesą, o ne susidurdami tarpusavyje. Beje, kad pašvaistė būtų matoma plika akimi, vienu metu išspinduliuojamų fotonų kiekis turi būti milžiniškas – apie 100 milijonų.

Kiekvienas atomas ar molekulė turi savitą energijos lygmenų struktūrą ir spinduliuoja tik tam tikrų bangos ilgių šviesą, tad pašvaistės spalvos yra aukščiausių atmosferos sluoksnių sudedamųjų dalių „pirštų atspaudai“, pagal kuriuos galima atpažinti, kokie cheminiai elementai ar junginiai švyti. Vertėtų pastebėti, kad aukščiausių atmo-

feros sluoksnių cheminė sudėtis ir pačių cheminių elementų proporcijos skiriasi nuo mums įprastų, ties Žemės paviršiumi sudarančių orą, kuriuo kvėpuojame. Aukštyje, kuriame išiziebia šiaurės pašvaistės, intensyvi ultravioletinė Saulės spinduliuotė suardo daugelį molekulių (šis reiškinys vadinamas fotodisociacija), tad pagrindinės paties aukščiausio Žemės atmosferos sluoksnio, vadinamo termosfera arba jonosfera, sudėtinės dalys yra atominis deguonis ir jonizuotos (netekusios vieno elektrono) azoto



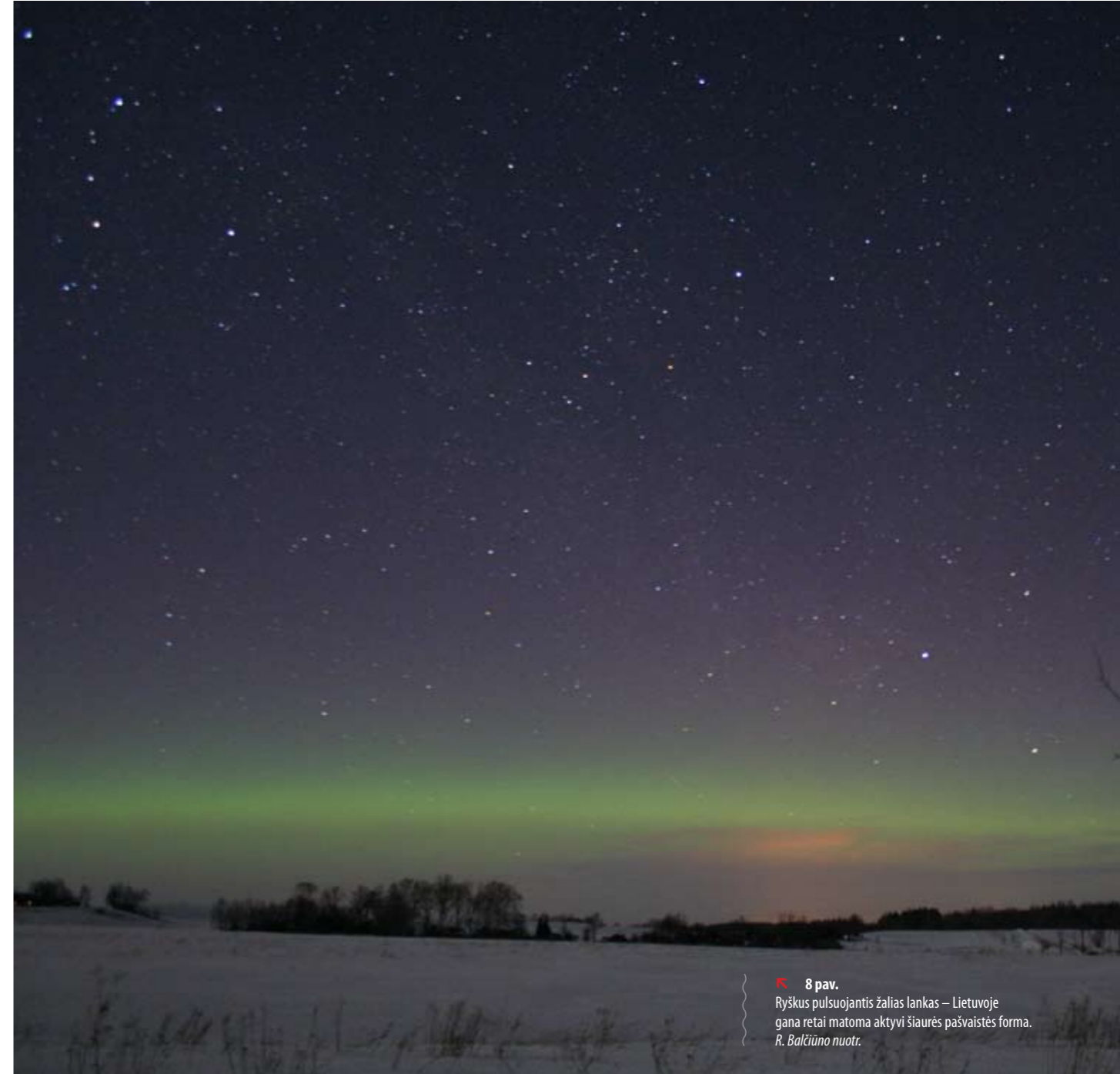
↑ **7 pav.**  
Beformis žalias ir raudonas šiaurinės dangaus pusės švytėjimas – rami šiaurės pašvaisčių forma.  
R. Balčiūno nuotr.

molekulės. Beje, maždaug 400 km aukštyje atominio deguonies yra 10 kartų daugiau nei azoto, o molekulinio deguonies, kuriuo kvėpuojame, tokiam aukštyje jau išvis nėra (1.1 sk.).

Pašvaisčių švytėjimo spektre išsiskiria trys pagrindinės spalvos, atitinkančios keturias siauras spektrines linijas: žalia (bangos ilgis 558 nm), tamsiai raudona (630 ir 636 nm) ir rečiau atsirandanti violetinė (428 nm, **5** ir **6 pav.**). Žalią ir raudoną šviesą spinduliuoja į ilgai gyvuojančius, vadinamuosius metastabilius, lygmenis sužadinti deguonies atomai. Deguonies atomas, kol išspinduliuoja žalios šviesos kvantą, sužadintos būsenos išbūna apie 0,7 s, o sužadintas atominio deguonies lygmuo, spinduliuojantis raudoną šviesą, gyvuoja net apie 2 minutes. Dėl skirtingos sužadintų atominio deguonies lygmenų gyvavimo trukmės žalias ir raudonas pašvaisčių švytėjimas dangaus skliaute dažnai įgauna skirtingas formas. Violetinę spalvą spinduliuoja jonizuotos ir sužadintos azoto molekulės, kurios yra labai stabilios ir atsparios jonizuojančiai Saulės

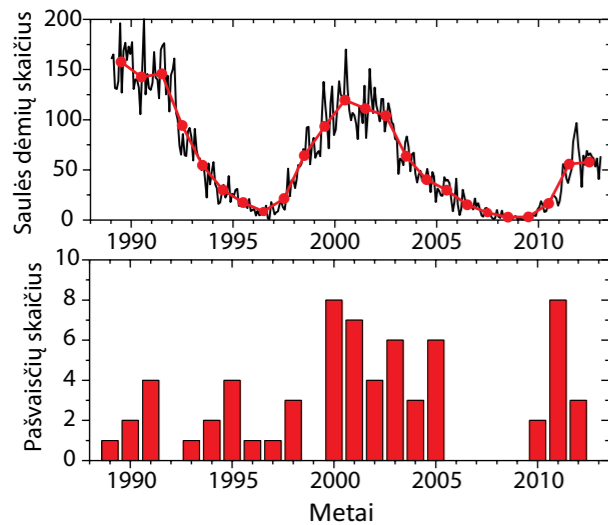
spinduliuotei. Žalia spalva švyti maždaug 100 km aukštyje, o raudonas ir violetinis švytėjimas driekiasi net iki 500 km ar net aukščiau, todėl matomas iš toliau. Dėl šios priežasties vidutinėse platumose esančiam stebėtojui žalios spalvos švytėjimas visuomet atrodo arčiau horizonto nei raudonos ar violetinės. Dažnai raudonas ir violetinis švytėjimas persikloja, tuomet pašvaisčių tampa purpurinė. Šiaurės pašvaisčių švytėjime spektriniais prietaisais registruojama dar keletas silpnesnių spektrinių linijų, kurios pakliūva į regimos šviesos diapazoną – geltona natrio atomų, žydra vandenilio molekulių, žalia ir gelsva dukart jonizuoto azoto atomų. Šiaurės pašvaisčių spektre taip pat yra akiai nematomos infraraudonosios (bangos ilgis >650 nm) bei ultravioletinės (bangos ilgis <400 nm) šviesos, kurias spinduliuoja sužadintos nejonizuotos ir jonizuotos azoto bei sužadintos vandenilio molekulės [15].

Šiaurės pašvaisčių klasifikuojamos pagal jas sukeliančių elektringųjų dalelių tipus ir energijas, taip pat remiantis geofiziniais pašvaisčių kilmės ypatumais. Skiriama ne mažiau kaip 14 skirtingų šiaurės pašvaisčių tipų [16]. Regimosios šiaurės pašvaisčių formos smarkiai priklauso nuo į atmosferą įlekiančių elektringųjų dalelių energijos ir tankio, taip pat lokalių Žemės magnetinio lauko iškraipymų bei trikdžių. Jos skirstomos į ramias ir aktyvias. Ramios pašvaisčių formos – tai beformis švytėjimas, matomas kaip blausi vienalytė šviesa, kurios intensyvumas laikui bėgant beveik nekinta (**7 pav.**). Aktyvios formos žymiai įspūdingesnės. Tai – šviesos stulpai, pulsuojantys spinduliai ar lankai (**8 pav.**), virstantys plevenančiomis ir vinguriuojančiomis juostomis (**5 pav.**), kurios vadinamos skraistėmis ir vėliavomis. Rečiau mūsų platumose įsižiebina vainikas – tarsi iš vieno taško danguje išeinantys spinduliai. Neretai ant žemės esančiam stebėtojui pašvaisčių spalvos ir formos persikloja, taip sukurdamos fantastinį pulsuojančių įvairiaspalvį reginį.



← **8 pav.**  
Ryškūs pulsuojantis žalias lankas – Lietuvoje gana retai matoma aktyvi šiaurės pašvaisčių forma.  
R. Balčiūno nuotr.





↑ 9 pav.  
Saulės aktyvumo (Tarptautinio Saulės dėmių skaičiaus) ir Lietuvoje stebėtų šiaurės pašvaisčių skaičiaus kitimas 1989–2012 metais. R. Balčiūno, K. Černio ir A. Dubiečio stebėjimų duomenys

## 11.5 Šiaurės pašvaistės Lietuvos padangėje

Nors šiaurės pašvaistės garsėja kaip įstabus šiaurės kraštų reiškinys, kartais jas galima matyti ir Lietuvos padangėje. Aišku, Lietuvoje matomos šiaurės pašvaistės savo grožiu ir ryškumu retai kada prilygsta toms, kuriomis grožisi šiaurės kraštų gyventojai. Dažniausiai Lietuvoje galima pamatyti kraujo raudonumo dangų šiaurinėje pusėje, o žalias švytėjimas matomas neaukštai virš šiaurinio horizonto. Kai pašvaistės intensyvumas yra silpnas, žmogaus akis sunkiai beskiria spalvas. Dėl to žalia pašvaistės spalva dažniausiai matoma tik kaip balzganas švytėjimas, o violetinė spalva išryškėja tik ilgos ekspozicijos nuotraukose. Esant geroms stebėjimo sąlygoms – skaidriam orui, toli nuo miesto žiburių, nesunku pastebėti net menkiausias

naktinio dangaus spalvų ir šviesumo pokyčius šiaurinėje dangaus pusėje ir aptikti net ir silpną pašvaistės švytėjimą. Kitaip yra mieste, kur vadinamoji šviesos tarša (1.6 sk.) tokia didelė, kad išsklaidytos miesto šviesos nustelbia net ir gana ryškių šiaurės pašvaisčių švytėjimą. Mūsų krašte matomų šiaurės pašvaisčių švytėjimo trukmė yra labai įvairi – nuo keliolikos minučių iki keleto valandų.

Nors Saulės aktyvumo maksimumo metu šiaurės pašvaistes Lietuvos geomagnetinėje platumoje galima matyti vidutiniškai kartą per du mėnesius, šį skaičių gerokai pakoreguoja Lietuvos astroklimato ypatumai (giedrų naktų skaičius ir jų kokybė metų bėgyje) [17], tad pastebėti šiaurės pašvaistę pavyksta ne taip jau dažnai. Ryškios ir išpūdingos šiaurės pašvaistės mūsų šalyje yra ištis labai retas reiškinys. Jos dažniausiai susijusios su labai stipriomis magnetinėmis audromis. Nepaisant „nepatogios“ Lietuvos geomagnetinės platumos, nuo 1989 m. šiaurės pašvaistės Lietuvos padangėje užregistruotos daugiau nei 50 kartų. Šie stebėjimų duomenys, aišku, nėra labai išsamūs, tačiau jie gerai iliustruoja šiaurės pašvaisčių ir Saulės aktyvumo ryšį bei pagrindines pašvaisčių matomumo mūsų platumoje tendencijas (9 pav.).

Pastarieji Saulės aktyvumo maksimumai 1991 ir 2001 m. padovanojo keletą ištis įsimintinų reginių ir Lietuvos padangėi. Išpūdinga pašvaistė stebėta 1991 m. lapkričio 1-osios vakare, kai kraujo raudonumo liežuviai buvo nutįsę iki pat zenito, o visa šiaurinė dangaus pusė alsavo ryškiomis spalvomis. Panašus reginys pasikartėjo po savaitės, lapkričio 9-osios naktį. Šių dviejų pašvaisčių priežastis taip ir liko iki galo neaiški, mat nebuvo užregistruotas nei galingas Saulės žybsnis, nei vainiko medžiagos pliūpsnis, nors pati Saulė tuomet buvo gana aktyvi.

Kito Saulės aktyvumo maksimumo laikotarpiu, 2000–2001 m., šiaurės pašvaistės Lietuvos padangėje sušvito net 15 kartų. 2000 m. liepos 15-osios naktį sužibo



↑ 10 pav.  
„Helovino“ audros sukelta šiaurės pašvaistė Lietuvos padangėje. R. Balčiūno nuotrauka, daryta 2003 m. spalio 30-osios vakare Ignalinos r., netoli Vidiškių miestelio

reto grožio šiaurės pašvaistė, kurios pulsuojantys spinduliai driekėsi per visą dangų. Tąkart stebėta Lietuvos padangėje itin retai matoma pašvaistės forma – vainikas, kurio centras buvo beveik tiesiai virš galvos, Lyros žvaigždynė. Šio ypatingo reginio neužgožė nei šviesi ir trumpa vasaros naktis, nei Mėnulio pilnaties šviesa. Šią pašvaistę sukėlė nepaprastai stiprus ir tiesiai į Žemę nukreiptas Saulės vainiko medžiagos pliūpsnis, įvykęs liepos 14 d. Pliūpsnio išmestų Saulės vėjo dalelių greitis buvo beveik rekordinis ir siekė net 1800 km/s, o pliūpsnio data sutapo su Prancūzijos nacionaline švente – Bastilijos diena. „Bastilijos dienos“ pašvaistė buvo gerai matoma visoje Europoje.

2001 m. spalio mėn. šiaurės pašvaistės, nors ir ne tokios ryškios, Lietuvoje buvo matomos net tris naktis iš

eilės (spalio 20–22 d.). Jos išsiskyrė savita labai ryškių ir dinamiškų raudonų spindulių struktūra, o šiaurės pašvaisčių matomumo zona siekė Pietų Vokietiją, Prancūziją ir net šiaurinę Viduržemio jūros pakrantę bei Ispaniją. Bene išpūdingiausia pastarojo meto šiaurės pašvaistė Lietuvos padangėje išiziebė 2003 m. spalio 30-osios vakare (10 pav.) ir buvo matoma visą naktį. Šios pašvaistės priežastis buvo galingas Saulės žybsnis ir po jo sekę dar keliolika silpnesnių žybsnių, kurie sukėlė didžiulę magnetinę audrą. Kadangi šios magnetinės audros data sutapo su Helovino švente, ji



↑ **11 pav.**  
Ryški naujojo, 24-ojo, Saulės aktyvumo ciklo šiaurės pašvaistė, sušvitusi Lietuvos padangėje 2011 m. rugsėjo 26-osios naktį. Viršutiniame kairiajame kampe matomi Didieji Grįžulo Ratai. R. Balčiūno nuotr.

naujojo Saulės aktyvumo ciklo šiaurės pašvaistės. Pirmoji naujojo ciklo (jau 24-ojo iš eilės, skaičiuojant nuo 1755 m., kai pradėti nuolatiniai Saulės aktyvumo stebėjimai) sušvito 2010 m. rugpjūčio 4-osios naktį. 2011 m. apie pastebimai suaktyvėjusią Saulę pranešė net 8 kartus Lietuvos padangėje sušvitusios ir kaskart vis ryškesnės šiaurės pašvaistės (**11, 5 pav.**).

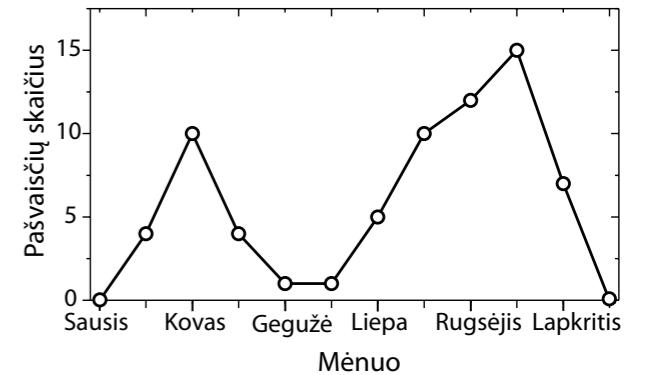
Kartu kyla natūralus klausimas, kuris metų laikas yra palankiausias metas šiaurės pašvaisčių stebėjimams Lietuvoje? Kad ir kokia būtų nenuspėjama Saulė, pasirodo, toks metas iš tiesų yra. Jau seniai pastebėta, kad vidutinėse platumose šiaurės pašvaistės dažniausiai švyti pavasarį (kovo mėn.) ir rudenį (spalio mėn.), o tai susiję su Žemės magnetinio dipolio orientacija Saulės ekvatoriaus ir Saulės

vėjo krypties atžvilgiu [19]. Kadangi Žemės sukimosi ašis pasvirusi į ekliptikos plokštumą  $23^\circ$ , Saulės sukimosi ašis –  $7^\circ$ , o Žemės magnetinis dipolis pasviręs  $11^\circ$  sukimosi ašies atžvilgiu, per pavasario ir rudens lygiadienius Žemės ašis būna orientuota taip, kad Žemės magnetinio lauko išskrypimai dėl Saulės vėjo būna sąlyginai didžiausi. **12 paveiksle** pavaizduotas Lietuvoje pastebėtų šiaurės pašvaisčių skaičiaus pasiskirstymas metų bėgyje, iš kurio gerai matyti, kad iš tiesų šiaurės pašvaistės Lietuvos padangėje dažniausiai sušvinta kovo ir rugsėjo–spalio mėnesiais.

Aktyvumo maksimumą Saulė turėtų pasiekti 2013 m. Bent jau kol kas atrodo, kas Saulė truputį vėluoja, tačiau prognozuojama, kad naujojo ciklo metu Saulės aktyvumas bus didelis, tad tikrai verta dažniau pasidairyti po naktinį dangų ir, jei pasiseks, pasigrožėti nepakartojamu reginiu – šiaurės pašvaiste.

## 11.6 Atmosferos švytėjimas

Net ir pačią tamsiausių giedrą naktį dangus nebūna visiškai juodas. Neskaitant žvaigždžių ar Mėnulio šviesos, išsklaidytos dirbtinės šviesos ar iš toli matomų miestų pašvaisčių, pats dangus nuolat švyti silpna, dažniausiai plika akimi beveik nematoma šviesa. Tai – atmosferos švytėjimas (angl. *airglow*). Atmosferos švytėjimą, skirtingai nei šiaurės pašvaistes, galima matyti iš bet kurios Žemės rutulio vietos. Paprastai atmosferos švytėjimas užfiksuojamas ilgos ekspozicijos nuotraukose ar naudojant sudėtingesnę mokslinę aparatūrą, tačiau kai kuriais gana retais atvejais intensyvų atmosferos švytėjimą galima išvysti ir plika akimi [20], jai visiškai pripratus prie tamsos. Intensyviausias atmosferos švytėjimas matomas  $10\text{--}15^\circ$  virš šiaurinio horizonto, nors kai kada gali driektis per visą dangų. Dažnai atmosferos švytėjimas turi daugiau ar mažiau aiškiai



↑ **12 pav.**  
Šiaurės pašvaisčių skaičiaus pasiskirstymas metų bėgyje pagal stebėjimų Lietuvoje 1989–2012 metais duomenis

išreikštą bangų struktūrą (**13, 14 pav.**), kurios kilmė yra tokia pati, kaip ir sidabriškųjų debesų bangų [21]. Žvelgiant atidžiau, galima pastebėti, kaip ši bangų struktūra laikui bėgant lėtai juda ir keičiasi.

Atmosferos švytėjimas turi savitą spalvas, kurių, deja, akis tamsoje negali skirti. Pagrindinės atmosferos švytėjimo spalvos yra raudona ir žalia – lygiai tokios pat, kokios matomos ir šiaurės pašvaisčių spektre. Tai –  $90\text{--}100$  km aukštyje esančių sužadintų deguonies atomų spinduliavimas. Tačiau, skirtingai nei šiaurės pašvaisčių, kur deguonies atomus sužadina susidūrimai su didelės energijos Saulės vėjo dalelėmis, atmosferos švytėjimo atveju deguonies atomai sužadunami cheminiu būdu, vykstant įvairių junginių fotodisociacijai bei cheminėms reakcijoms, kurias sukelia intensyvi ultravioletinė Saulės spinduliuotė. Toks reiškinys vadinamas chemoluminescencija. Be jau minėtų intensyviausių atominio deguonies spinduliavimo linijų, atmosferos švytėjime savo pėdsaką palieka ir kiti cheminiai junginiai bei elementai [22]. Atmosferos švytėjimo spektre dažnai gerai matoma siaura geltona  $589$  nm bangos ilgio





↑ **13 pav.**  
Rausvas atmosferos švytėjimas ir jo bangų struktūra 2005 m. spalio 30-osios naktį. Paveikslas dešinėje matyti tuo metu praskriejęs ryškus bolidas.  
*S. Jurkevičiaus nuotr.*

(645–690 nm) raudona hidroksilo radikalo (OH) juosta, susidedanti iš daugybės smulkių, persiklojančių linijų, spinduliuojamų šio radikalo vibracinių lygmenų.

Dėl cheminės sužadavimo prigimties atmosferos švytėjimas yra intensyviausias dieną, t. y. į Saulę atgręžtoje Žemės atmosferos pusėje. Tačiau tuomet jį galima užregistruoti tik naudojant mokslinius prietaisus. Naktinis atmosferos švytėjimas yra bemaž 1 000 kartų silpnesnis. Kadangi atmosferos švytėjimas yra Saulės ultravioletinės spinduliuotės padarinys, jo, kaip ir pačios ultravioletinės spinduliuotės intensyvumas, smarkiai kinta Saulės aktyvumo ciklo metu. Intensyviausias atmosferos švytėjimas matomas kaip tik Saulės aktyvumo maksimumo metu, tuomet gali pasisekti šį subtilų reiškinį išvysti ir plika akimi.

### 11.7 Kosminiai orai

Nuolat kintantys Žemės magnetinį lauką trikdančių elektringųjų dalelių srautai formuoja vadinamuosius kosminius orus [23]. Kosminių orų šaltinis yra Saulė, kuri laikas nuo laiko išspjauna milžiniškus elektringųjų dalelių debesis, sukeliančius magnetines audras. Stiprios magnetinės audros gali gerokai sutrikdyti ar net visai nutraukti ryšių, elektros perdavimo linijų, kosminių palydovų ir kitų elektroninių sistemų darbą ir taip pridaryti daug žalos, juolab kad šiuo metu gyvename globaliame pasaulyje, kuriame viskas tiesiogiai ar netiesiogiai tarpusavyje susiję. Pastaruoju metu daugėja duomenų, kad magnetinės audros daro nemenką įtaką žmonių savijautai ir sveikatai. Ypač jautrūs staigiems ir dideliems magnetinio lauko svyravimams yra širdies ir kraujagyslių ligomis sergantys žmonės.

Viena galingiausių pastarojo meto magnetinių audrų įvyko 1989 m. kovo mėn. Keletą dienų siautėjusi magnetinė audra Kanados Kvebeko provincijoje, kuri yra



↖ **14 pav.**  
Žalsvas atmosferos švytėjimas 2012 m. rugpjūčio 24-osios naktį. *T. Janušonio nuotr.*

arčiausiai magnetinio poliaus tankiai gyvenama vietovė, pažeidė visas elektros tiekimo sistemas, kurių visiškai atstatymas užtruko mėnesius. 2003 m. stiprią magnetinę audrą sukėlė vienas galingiausių kada nors stebėtų Saulės žybsnių. Žybsnio sukelta magnetinė audra prasidėjo prieš pat Helovino šventę ir siautėjo ilgiau nei 10 dienų, o jos atgarsiai buvo gerai matomi ir Lietuvos padangėje (8 pav.). Tik laimingo atsitiktinumo dėka „Helovino“ audros elektroninėms ir ryšio sistemoms padaryti nuostoliai buvo nedideli, elektros tiekimas buvo nutrūkęs „tik“ 20 000 namų Švedijos Malmės mieste. Beje, „Helovino“ audra sukėlė stiprias pašvaistes Jupiterio atmosferoje, o padidėjusį elektringųjų dalelių srautą praėjus net metams po audros užregistravo legendinis kosminis aparatas „Voyager 1“, tuo metu buvęs 90 astronominių vienetų (1 a. v. lygus atstumui nuo Žemės iki Saulės, t. y. maždaug 150 000 000 km) atstumu nuo Saulės [24]. Beje, „Voyager 1“ iki šiol siunčia į Žemę duomenis apie kol kas netyrinėtą Saulės sistemos pakraščių aplinką. Šiuo metu „Voyager 1“ yra nutolęs maždaug 122 a. v. atstumu nuo Saulės. Tai milžiniškas atstumas: kosminio aparato radijo signalas, sklisdamas šviesos greičiu, Žemę pasiekia tik po 17 valandų. 2004 m. „Voyager 1“ detektoriai ėmė registruoti vis didėjančią galaktinės kilmės (labai didelės energijos) elektringųjų dalelių srautą. Šios elektringosios dalelės vadinamos kosminiais spinduliais ir gimsta supernovų sprogamų metu, kai savo gyvavimą baigia masyvios žvaigždės. Nuo šių labai pavojingų dalelių mus saugo Saulės magnetinis laukas, nors labai nedidelis dalelių kiekis geba pro jį prasiskverbti ir pasiekti net mūsų planetą. Tokiai dalelei įskriejus į Žemės atmosferą ir sąveikaujant su atmosferos dujomis, sukeliama vadinamosios atmosferos liūtys (angl. *air showers*) – kryptingi antrinių, jau mažesnės energijos dalelių srautai, kurie kartais pasiekia net Žemės paviršių. Manoma, kad šios antrinės dalelės gali būti ir žaibų atsiradimo priežastis (8.3 sk.). „Voyager 1“ registruojamas labai

didelės energijos kosminių dalelių skaičiaus augimas byloja apie tai, kad kosminis aparatas artėja prie Saulės magnetosferos ribos ir kartu prie Saulės sistemos ribos. Netrukus jis visiems laikams paliks Saulės sistemą, įskries į beribę tarpžvaigždinę erdvę ir taps kosminiu klajūnu.

Šiaurės pašvaistės yra tiesioginis kosminių orų atspindys ne tik Žemės atmosferoje. Šiaurės pašvaisčių švytėjimas užregistruotas ir kitose Saulės sistemos planetose ir net kai kuriuose jų palydovuose. Kosminiai aparatai užfiksavo itin galingas pašvaistes didžiosiose Saulės sistemos planetose – Jupiteryje, Saturne, Urane ir Neptūne [25]. Kadangi šių planetų atmosferų cheminė sudėtis smarkiai skiriasi nuo Žemės atmosferos sudėties, ten pašvaisčių švytėjimą kuria daugiausia vandenilio dujos, kurios švyti akiai nematomame ultravioletiniame ir infraraudonajame spektro diapazone. Pašvaisčių švytėjimas užregistruotas ir kai kuriuose didžiųjų planetų palydovuose – Titane, Tritone ir Ijo. Ijo pašvaistės itin įdomios, nes švyti ties pat paviršiumi. Šis Jupiterio palydovas neturi nuolatinės atmosferos, tačiau laikina atmosfera laikas nuo laiko atsiranda dėl daugybės ten veikiančių ugnikalnių. Ijo ugnikalnių aktyvumą palaiko milžiniška Jupiterio gravitacijos jėga, kuri periodiškai deformuoja šio nedidelio palydovo gelmes. Mūsų kaimynėse Žemės tipo planetose Marse ir Veneroje pašvaisčių nebūna. Manoma, kad Marsas kažkada turėjo magnetinį lauką, tačiau jis laikui bėgant nusilpo ir išnyko. Veneros magnetinis laukas yra labai silpnas, 25 000 kartų silpnesnis už Žemės, greičiausiai dėl labai lėto Veneros sukimosi aplink ašį. Nematomos pašvaistės ir Merkurijuje. Nors ši maža Saulės kepinama planetėlė turi magnetinį lauką, tačiau ji neturi atmosferos.

Šiuolaikiniame technikos amžiuje kosminių orų stebėjimai ir išankstinės prognozės įgauna vis didesnę svarbą. Stebint Saulės aktyvumą ir jos paviršiuje vykstančius procesus, apie artėjančią magnetinę audrą galima įspėti prieš

keletą dienų [26]. Dirbtiniai Žemės palydovai teikia nenutrūkstamą informacijos srautą tiek apie pačios Saulės paviršiuje vykstančius reiškinius, tiek apie Saulės spinduliuotės ir elektringųjų dalelių srautus Žemės aplinkoje. Iš palydovų fiksuojama pašvaisčių ovalo padėtis ir jo skersmuo, o pagal tai galima prognozuoti, kur ir kada bus matoma pašvaistė. Šią informaciją galima rasti internete <http://www.swpc.noaa.gov/> ir <http://spaceweather.com/>. Tuo tarpu ilgalaikės kosminių orų prognozės yra kur kas sudėtingesnės ir mažiau patikimos, kadangi gyvename neramios ir kartais nenuspėjamos žvaigždės – Saulės – pašonėje.

#### Bibliografija

1. F. R. Stephenson, D. M. Willis, T. J. Hallinan, *The earliest datable observation of the aurora borealis*, *Astronomy & Geophysics* **45**, 2004, 6.15–6.17.
2. D. P. Stern, *A millenium of geomagnetism*, *Reviews of Geophysics* **40**, 2002, 1007–1036.
3. E. Dormy, *The origin of the Earth's magnetic field: fundamental or environmental research?*, *Europhysics News* **37**(2), 2006, 22–25.
4. D. J. Dunlop, *Magnetic recording in rocks*, *Physics Today* **65**(6), 2012, 31–37.

5. J. Lean, *The Sun's variable radiation and its relevance for Earth*, *Annual Reviews in Astronomy and Astrophysics* **33**, 1997, 33–67.
6. D. H. Hathaway, R. M. Wilson, E. J. Reichmann, *The shape of the sunspot cycle*, *Solar Physics* **151**, 1994, 177–190.
7. J. Lean, *Living with a variable Sun*, *Physics Today* **58**(6), 2005, 32–38.
8. S. Chapman, *Auroral physics*, *Annual Reviews in Astronomy and Astrophysics* **8**, 1970, 61–86.
9. D. A. Bryant, *Electron acceleration in the aurora*, *Contemporary Physics* **35**, 1994, 165–179.
10. R. J. Strangeway, *How do auroras form?*, *Physics Today* **61**(7), 2008, 68–69.
11. W. Schröder, N. N. Shefov, H.-J. Treder, *Estimation of past solar activity and upper atmospheric conditions from historical and modern auroral observations*, *Annales Geophysicae* **22**, 2004, 2273–2276.
12. L. Schlamminger, *Aurora borealis during the Maunder minimum*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **247**, 1990, 67–69.
13. W. Schroeder, *Missing auroras and sunspots at the end of the 18th century*, *Astronomy & Geophysics* **44**, 2004, 3.6.
14. M. A. Shea, D. F. Smart, *The use of geophysical data in studies of the historical Solar-terrestrial environment*, *Solar Physics* **224**, 2004, 483–493.
15. F. Sigernes, Y. Ivanov, S. Chernouss, T. Trondsen, A. Roldugin, Y. Fedorenko, B. Kozelov, A. Kirillov, I. Kornilov, V. Safargaleev, S. Holmen, M. Dyrland, D. Lorentzen, L. Baddeley, *Hyperspectral all-sky imaging of auroras*, *Optics Express* **20**, 2012, 27650–27660.
16. D. A. R. Simmons, *A classification of auroral types*, *Journal of the British Astronomical Association* **108**, 1998, 247–257.
17. K. Černis, *Orų kaita astronomo akimis per 50 metų laikotarpį*, *Lietuvos dangus 2011*, 2010, 107–116.
18. N. Bone, *Aurora. Observing and recording Nature's spectacular light show*, Springer, NY, 2007.
19. L. Svalgaard, E. W. Clive, A. G. Ling, *The semiannual variation of great geomagnetic storms*, *Geophysical Research Letters* **29**, 2002, 1765–1768.
20. A. W. Peterson, *Airglow events visible to the naked eye*, *Applied Optics* **18**, 1979, 3390–3393.
21. M. J. Taylor, M. A. Hapgood, *On the origin of ripple-type wave structure in the OH nightglow emission*, *Planetary and Space Science* **38**, 1990, 1421–1430.
22. J. Kaplan, C. A. Barth, *Chemical aeronomy*, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **44**, 1958, 105–112.
23. K. Strong, J. Saba, T. Kucera, *Understanding space weather: The Sun as a variable star*, *Bulletin of the American Meteorological Society* **93**, 2012, 1327–1335.
24. D. N. Baker, S. G. Kanekal, X. Li, S. P. Monk, J. Goldstein, J. L. Burch, *An extreme distortion of the Van Allen belt arising from the Halloween solar storm in 2003*, *Nature* **432**, 2004, 878–881.
25. A. Bhardway, G. R. Gladstone, *Auroral emissions of the giant planets*, *Reviews of Geophysics* **38**, 2000, 295–353.
26. D. N. Baker, *How to cope with space weather*, *Science* **297**, 2002, 1486–1487.