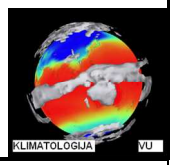
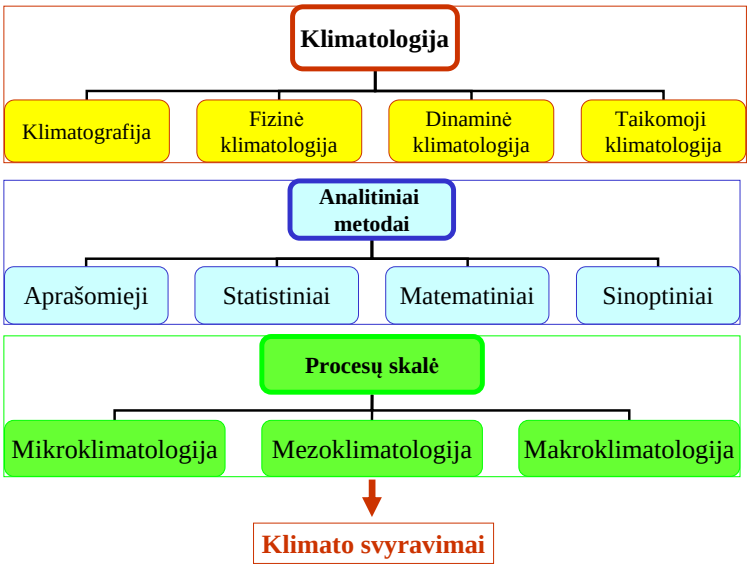
KLIMATOLOGIJA

(*gr. klima – polinkis + logos – mokslas)* - mokslas apie Žemės klimatą, jo tipus, formavimosi veiksnius ir kaitą.

Klimatologijos objektas – astronominių ir geografinių sąlygų įtakoje vykstantys atmosferos procesai, šilumos, energijos ir masės apykaita tarp atmosferos , vandenyno ir žemės paviršiaus.

Procesų laiko skalė – nuo dienos iki mln. metų, erdvinė skalė – nuo lokalaus (vietinio) iki globalaus klimato.

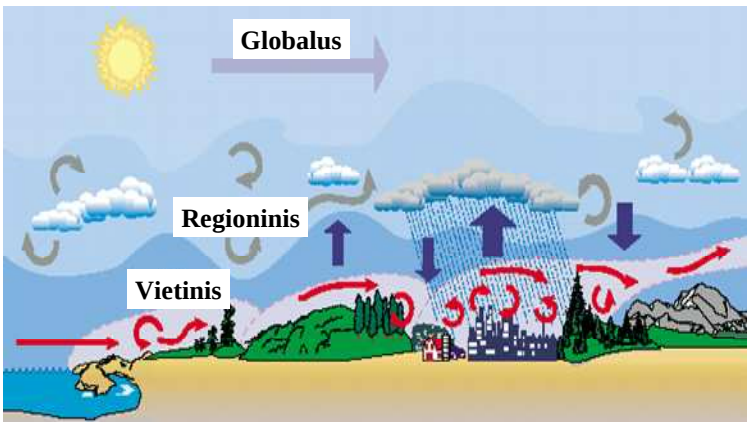




Klimatologijos mokslas išsivystė geografijos ir meteorologijos mokslų sandūroje.

Skaidrėje: Klimatologijos mokslo diferenciacija pagal tyrimų objektą, metodus ir procesų skalę

Klimato procesų erdvinė skalė



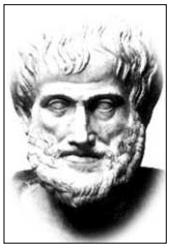
Klimatologijos uždaviniai ir struktūra

- Klimato procesų ir dėsningumų tyrimas empyriniais, fizikiniais ir matematiniais metodais (statistinė Δ, teorinė Δ, fizinė Δ, sinoptinė Δ, aeroklimatologija, palydovinė Δ).
- Klimato istorijos ir kaitos priežasčių tyrimas, klimato svyravimų fizinis matematinis modeliavimas (paleoklimatologija, dinaminė Δ).
- Klimatų klasifikavimas ir rajonavimas, klimato žemėlapių sudarymas (klimatografija, regioninė Δ, mezoklimatologija).
- Mikroklimatinių dėsningumų nustatymas atmosferos paribio sluoksnyje (mikroklimatologija).
- Klimato ryšių su gamtos procesais, klimato poveikio žmogaus organizmui ir ūkinei veiklai tyrimas (taikomoji klimatologija ir jos kryptys: bioklimatologija, medicininė Δ, antropoklimatologija, agroklimatologija, statybų Δ, transporto Δ, rekreacinė Δ, karinė Δ ir t.t.).
- Įvairių ūkio sektorių aprūpinimas klimatine informacija (strateginių ūkio plėtros planų sudarymui, ilgalaikių orų prognozių kūrimui ir pan.).

Klimatologija turi daugelio šimtmečių istoriją. Apie Žemės klimato įvairovę rašė **senovės graikai** (Pitagoro ir Elėjos filosofijos mokyklos 6 a. pr. Kr.). Pirmieji išsamūs traktatai apie klimatą parašyti Hipokrato (400 m. pr. Kr. *"Orai, vandenys ir šalys"*) ir Aristotelio (350 m. pr. Kr. *"Meteorologica"*). Aristotelis išskyrė penkias pasaulio klimato juostas (tuo remiamasi ir šiandien), pagrindė oro ir dirvos įšilimo bei vandens apytakos dėsnius Žemėje, pirmasis paaiškino garavimo, kondensacijos bei kritulių susidarymo procesus.

Klimatologijos istorija
(Antikos klasikinis periodas)

- Pitagoro ir Elėjos filosof. mokykla (6 a. pr. Kr.)
- Hipokratas (400 m. pr. Kr.)
- Aristotelis (350 m. pr. Kr.)
- Aristarchas (320-250 m. pr. Kr.)
- Eratostenas (295-195 m. pr. Kr.)
- Hiparchas (190-150 m. Pr. Kr.)
- Klaudijas Ptolemajas (90-168 m.)



Aristotelis

Senovės graikų mokslininkai Aristotelis, Aristarchas (320–250 m. pr. Kr.), Eratostenas (295–195 m. pr. Kr.), Hiparchas (190–150 m. pr. Kr.) sukūrė **heliocentrinės sistemos** teoriją, apskaičiavo Žemės dydį, formą, orbitos parametrus, atstumus tarp Žemės ir Saulės, tarp Žemės ir mėnulio, nustatė lemiamą saulės aukščio virš horizonto reikšmę klimato savybėms. Vėliau Klaudijus Ptolemajas (90–168 m.) remiantis dienos ilgiu apibūdino klimato juostas, tačiau jis buvo geocentrinės teorijos šalininkas.

Atmosferos mokslai Islamo kraštuose IX-XIV a.

- Antikos kūriniai verčiami ir papildomi.
- Ibn Chaukalis (Hawgal) (IX a.)
- Avicena (Ibn Sina) (X a.)
- al Biruni (X a.)
- al Idrisi (XII a.)



Avicena ant lenkiško pašto ženklo



al Biruni



al Idrisi pasaulio žemėlapis, 1154 m.

Po Antikos klasikinio periodo, Europoje įsigalėjus senovės žydų krikščioniškoms mistinėms dogmoms, atmosferos ir klimato mokslai toliau vystėsi **islamo kraštuose.** Čia Antikos veikalai buvo išversti ir papildyti darbais apie įvairių šalių klimato savybes, klimato, aplinkos ir žmogaus sąveiką (Ibn Howgal IX a., al Biruni X a., al Idrisi XII a. ir kt.).

Klimatologija XV-XVIII a.

- **Didieji geografiniai atradimai** (K. Kolumbas, Vasco da Gama, F. Magelanas, B. Diazas, J. Davisas, W. Janszoonas, Dž. Kukas, F. G. Bellingshausenas, M. Lazerevas ir kt.);
- 1543 m. - išleistas M. Koperniko darbas **"Apie dangaus sferų sukimąsi".**
- **Meteorologinių prietaisų sukūrimas** (termometras - G. Galilėjus apie 1593-1598; barometras – E. Toričelis, 1643)
- 1664 m. **Reguliarių meteorologinių stebėjimų** pradžia Paryžiuje;
- 1668 m. – Edmund Halley aprašo **pasatus**;
- 1735 m. – George Hadley veikalas apie **Žemės sukimosi poveikį atmosferos cirkuliacijai.**
- XVIII a. pabaigoje pirmieji Žemė rutulio **klimatologiniai apibendrinimai**.
- XVIII a. pradedama kurti klimato **determinizmo** teorija (nuo klimato ir jo svyravimų priklauso žmogaus charakteris, aktyvumas, žmonių bendruomenių politiniai ir socialiniai procesai, kultūrinis ir ekonominis išsivystymo lygis, istorijos raida).

Naujas postūmis klimatologijoje įvyko XV a., prasidėjus **didžiųjų geografinių atradimų epochai**. Atrastos naujos žemės, sužinota apie jų klimato sąlygas.

Nauja era astronomijoje ir klimatologijoje prasidėjo, kai 1543 m. buvo išleistas įžymiojo lenkų mokslininko **Mikalojaus Koperniko** (*M. Kopernik*) darbas "Apie dangaus sferų sukimąsi". Šiame darbe Kopernikas pagrindė **heliocentrinę** (gr. *helios* - saulė) pasaulio sistemą.

Koperniko idėjos veikiai sulaukė šalininkų ir greitai ėmė plisti. Ypač aistringas heliocentrinės pasaulio sistemos propaguotojas buvo italų filosofas Džordanas Brunas (*G. Bruno*). Jis žengė dar toliau ir skelbė, kad Visata yra begalinė, kad žvaigždės - tai tolimosios saulės su savo planetų sistemomis. 1609 m. italų fizikas ir astronomas Galilėjas Galilėjus (*G. Galilei*) pirmą kartą mokslo istorijoje astronominiams stebėjimams panaudojo teleskopą. Savo atradimus (Mėnulio kalnus, Jupiterio palydovus, Veneros fazes, Saulės dėmes) Galilėjus laikė neabejotinais Koperniko sistemos teisingumo įrodymais. Jėgos, gynusios geocentrizmą, pradėjo negailestingą kovą prieš heliocentrinės pasaulio sistemos idėją ir jos skleidėjus. Romos inkvizicija Bruną sudegino ant laužo (1600 m.), o Galilėjų privertė viešai išsižadėti savo pažiūrų. Tačiau jokie persekiojimai nebegalėjo sustabdyti mokslo pažangos (http://mokslasplius.lt/astronomija/node/552).

Instrumentinių tyrimų klimatologijoje etapas prasidėjo išradus pirmuosius meteorologinius prietaisus: termometrą (G. Galilėjus, apie 1593-1598 m.), barometrą (E. Toričelis, 1643 m.). 1664 m. Paryžiuje prasideda pirmieji reguliarūs meteorologiniai stebėjimai.

Jūrininkų informacija apie vėjus vandenynuose padėjo kurti **atmosferos cirkuliacijos teoriją.** Pirmasis pasatus 1668 m. aprašė E. Halley (D. Britanija), o 1735 m. pasirodė G. Hadley veikalas apie Žemės sukimosi įtaką atmosferos cirkuliacijai. Iki pat XVIII a. pabaigos vyravo nuomonė, jog klimato savybės priklauso tik nuo saulės aukščio virš horizonto.

1831 m. vokiečių gamtininkas A. von Homboldtas suformulavo naują **klimato apibrėžimą,** kuriame pabrėžė svarbų atmosferos ir vandenyno cirkuliacijos vaidmenį, reljefo poveikį, paklotinio paviršiaus sąveiką su atmosfera.

Pirmieji temperatūros ir slėgio klimato žemėlapiai buvo sudaryti XIX a. pirmoje pusėje (A. von Humboldtas, H. W. Dove). Kiti svarbūs klimatologijos pasiekimai XIX a.: L. Howard 1818 m. parašė veikalą *"Londono klimatas";* Gaspard de Coriolisas 1835 m. suformulavo Corioliso jėgos reiškinį; 1849 m. Rusijoje (Sankt Peterburge) įkuriamas pirmasis pasaulyje mokslinis klimatologijos centras – Vyriausioji geofizikos observatorija. Vėliau ir kitose šalyse kūrėsi nacionaliniai meteorologijos centrai, kurie rūpinosi naujų meteorologijos stočių steigimu, stebėjimų ir duomenų dorojimo metodika. Berhaus 1845 m. sudarė pirmąjį pasaulio kritulių žemėlapį, W. Ferrel 1859 m. Sukūrė bendrosios atmosferos cirkuliacijos teorijos pagrindus, 1864 m. J. Croll išvystė teoriją apie Žemės orbitinių parametrų kaitos poveikį klimato svyravimams, L. Brault (Prancūzija)1870 m. sudarė pirmąją vėjų rožę.

XVIII-XIX a. pasirodo darbų, analizuojančių **klimato determinizmo** klausimus. Šios teorijos šalininkų nuomone nuo klimato ir jo svyravimų priklauso žmogaus charakteris, aktyvumas, žmonių bendruomenių politiniai ir socialiniai procesai, kultūrinis ir ekonominis išsivystymo lygis, istorijos raida. Žymiausi klimato determinizmo teoretikai: Ch. Montesquieu (1689-1755), I. Kantas (1769-1859), A. Humboldtas (1769-1859), C. Ritter (1779-1859), J. Draper (1811-1882), H. Buckle (1821-1862), W. Davis (1850-1934), E. Demolins (1852-1932), E. Dexter (1868-1938), S. Patterson (1868-1941), H. Moore (1869-1930), E. Huntington (1876-1947), Visher St. (1888-1967), C. Mills (1891-1974), S. Markham (1897-1975) ir kt. Šiuolaikinei klimato ir visuomenės santykių sampratai būdinga tarpinė pozicija tarp klimato determinizmo ir voliuntarizmo, pripažįstanti svarbų, bet ne vienintelį klimato vaidmenį visuomenės raidai, civilizacijų suklestėjimui ir nuosmukiui.

SVARBIAUSI KLIMATOLOGIJOS PASIEKIMAI XIX a.

- 1802 m. – L. Howardas sukūrė **I-ąją debesų klasifikaciją;**
- 1817 m. – A. von Humboldtas, H. W. Dove sudarė vidutinės oro **temperatūros ir slėgio žemėlapius**;
- 1818 m. – L. Howardo veikalas ***"Londono klimatas";***
- 1827 m. – H. W. Dove aprašė **uraganų susidarymą**;
- 1835 m. – G. G. Coriolisas sukūrė teoriją apie **judėjimą besisukančioje planetoje;**
- 1841 m. – J. P. Espy aprašė **uraganų judėjimą**;
- 1845 m. – Berhausas sudarė I-ąjį pasaulio **kritulių žemėlapį**;
- 1849 m. – įkurtas pirmasis **mokslinis klimatologijos centras** – Vyriausioji Geofizikos observatorija (Sankt Peterburgas, Rusija).

tęsinys: SVARBIAUSI KLIMATOLOGIJOS PASIEKIMAI XIX a.

- 1859 m. – W. Ferrelis sukūrė **bendrosios atmosferos cirkuliacijos pagrindus;**
- 1864 m. – J. Crollis išplėtojo teoriją apie **Žemės orbitinių parametrų kaitos poveikį klimato svyravimui**;
- 1870 m. – L. Brault sudaro I-ąją **vėjų rožę**;
- 1874 m. – sukurta A. de Candolle'io, 1884 – A. Supano **klimato klasifikacijos.**
- 1883 m. – F. F. E. von Hann'o veikalas ***"Klimatologijos vadovas"***
- 1884 m. – A. Vojeikov'o veikalas ***"Žemės rutulio ir ypač Rusijos klimatai";***
- 1900 m. – W. Köppenas pradeda **klasifikuoti klimatus**.

Aleksandras von Humboldtas (1769-1859)

1831 m. moksliškai apibrėžė klimatą:
"Klimatas – tai specifinės atmosferos savybės, priklausančios nuo išvagoto kontrastingos temperatūros srovėmis judraus vandenyno paviršiaus, nuo vandenyno ir sausumos atspindėtos šilumos, kurios kiekis labai nevienodas dėl skirtingos orografijos ir ir paklotinio paviršiaus spalvos, bendros sąveikos"



Kuriantis meteorologijos stotims ir kaupiantis informacijai apie klimatą atsirado galimybė sudaryti pirmąsias **klimato klasifikacijas** (1874 m. A. de Candolle'io, 1884 m. A. Supano, 1900 m. W. Köppeno).

XIX a. pabaigoje beveik kartu išėjo dvi knygos: austrų meteorologo J. Hann *"Klimatologijos vadovas"* (1883) ir rusų klimatologo A. Vojeikovo *"Žemės rutulio ir ypač Rusijos klimatai"* (1884). Ypač vertingas A. Vojeikovo darbas, kuriame aprašomi pasaulio klimatai, juos lemiantys veiksniai, nustatyta vyraujančių vėjų priklausomybė nuo atmosferos slėgio pasiskirstymo, sniego dangos klimatinė reikšmė, hidrologinio režimo priklausomybė nuo klimato ("upės – klimato produktas"), nurodomos mikroklimato gerinimo galimybės.

SVARBIAUSI KLIMATOLOGIJOS PASIEKIMAI XX–XXI a.

- XX a. pradžia – **kiekybiškai įvertinta klimato priklausomybė nuo saulės radiacijos balanso, atmosferos cirkuliacijos, paklotinio paviršiaus**; sudaromi pasaulio ir atskirų šalių klimato **atlasai**;
- 1913 m. – atrastas **ozono sluoksnis**;
- 1928 m. – I-asis **radiozondas** (aeroklimatologijos pradžia);
- 1930-1950 m. – K. Rossby, A. Obuchov, O. G. Sutton aprašė **slėgio laukų ir vėjo sąveiką atmosferoje,** analizavo įvairaus masto **oro tėkmes,** sukūrė **atmosferos turbulentiškumo teoriją.**
- 1930-36 m. – W. Köppenas ir R. Geigeris parašė "**Klimatologijos vadovą"** ("*Handbuch der Klimatologie*", 5 t.);

tęsinys: SVARBIAUSI KLIMATOLOGIJOS PASIEKIMAI XX–XXI a.

- 1960 m. – I-asis **meteorologinės paskirties DŽP** TIROS I (palydovinės klimatologijos pradžia);
- 1962 m. – J. Ademas **termodinamikos lygtis pritaikė Žemės klimato sistemai**.
- 1968–69 m. – M. Budyko ir A. Sellersas sukūrė pirmuosius **energetinius klimato modelius,** nuo to laiko klimato tyrimuose taikomas fizinis matematinis modeliavimas;
- 1970–XXI a. – atmosferos ir **klimato monitoringas** (ypač žmogaus poveikio įvertinimas), trimačiai hidrodinaminiai **klimato modeliai** (globaliniai ir regioniniai), naujos **matavimų technologijos**.

XX a. **kiekybiškai įvertinama** klimato priklausomybė nuo spinduliuotės balanso, atmosferos cirkuliacijos, paklotinio paviršiaus, sudaromi pasaulio ir atskirų šalių klimato atlasai bei žinynai, kuriamos naujos klimato klasifikacijos, tobulinama meteorologinių duomenų dorojimo metodika. 1913 m. atrandamas ozono sluoksnis, 1930-1936 W. Köppenas ir R. Geigeris parašo 5 tomų veikalą, *Handbuch der Klimatologie (Klimatologijos vadovas),* 1928 m. paleidžiamas pirmasis radiozondas (aeroklimatologijos pradžia).

1960 – pirmasis meteorologinės paskirties Žemės palydovas TIROS I **(palydovinės klimatologijos pradžia)**.

1962 m. J. Ademas termodinamikos lygtis pritaiko Žemės klimato sistemai. 1968–1969 M. Budyko (SSRS) ir A. Sellersas (JAV) sukuria pirmuosius energetinius klimato modelius. Klimatologijos mokslas įžengia į naują – **fizinio matematinio modeliavimo – etapą.** Žemės klimato sistema pradedama analizuoti kaip sudėtingų fizinių ir cheminių procesų visuma, kurioje stochastiniai reiškiniai vyksta lėtesnių determinuotų procesų fone.

XX a. pabaigoje aktualiu uždaviniu tampa **klimato monitoringas** ir ypač žmogaus poveikio klimatui įvertinimas, nes nuolat didėja šiltnamio efektą stiprinančių dujų išmetimai į atmosferą, plonėja ozono sluoksnis, naikinami tropikų miškai, sparčiai plinta dykumos, tirpsta kalnų ledynai. Klimato sistemos reakcija į įvairių veiksnių (gamtinių ir antropogeninių) poveikį remiantis matematinės statistikos, termodinamikos ir hidrodinamikos dėsniais aprašoma šiuolaikiniuose **trimačiuose globalinio ir regioninio klimato modeliuose**. Jie yra kelių tipų: energijos balanso, statistiniai dinaminiai modeliai, radiaciniai konvekciniai, bendrosios atmosferos ir vandenyno cirkuliacijos ir kt. Klimato modeliais tiriami klimato sistemoje vykstančių procesų sąveikos mechanizmai, geologinės praeities klimatas, apskaičiuojama klimato būklės keitimosi kryptis ir pobūdis, klimato sistemos jautrumas įvairių veiksnių poveikiui (šiltnamio dujų, vulkanų aerozolio, Saulės aktyvumo ir t.t.).

Klimato apibrėžimas:

Pasaulinėje klimato tyrimo programoje formuluojama, jog

klimatas – statistinių savybių visuma tokios sistemos, kuri susideda iš sąveikaujančių geosferų (atmosferos, hidrosferos, kriosferos, sausumos paviršiaus ir biomasės), turinčių ilgus, bet baigtinius kitimo periodus.

Terminą **klimatas** (*gr. klima – polinkis*) pirmasis pasiūlė senovės graikų astronomas Hiparchas (190-150 m. pr. Kr.), nes tuomet klimato skirtumai buvo siejami su Saulės spindulių polinkio kampu į Žemės paviršių.

Kokios nors teritorijos (šalies, žemyno, platuminės juostos ir pan.) klimatas gali būti apibūdinamas kaip statistinių rodiklių apie orų sąlygas visuma, būdinga konkrečiam laikotarpiui (nuo kelių metų iki tūkstantmečių) ir priklausanti nuo geografinės padėties, Saulės spinduliuotės bei jos persitvarkymų veikliajame žemės paviršiaus sluoksnyje, atmosferos bei okeano cirkuliacijos ir su tuo susijusios šilumos bei drėgmės apykaitos.

Be bendrosios klimato sąvokos skiriama dar *soliarinis klimatas* (apibūdinamas Saulės insoliacijos pasiskirstymu ties viršutine atmosferos riba), *aeroklimatas* (įvairių laisvosios atmosferos sluoksnių, esančių virš trinties lygio), *makroklimatas* (didelių teritorijų klimatas, pvz., žemynų, vandenynų, platuminių juostų ar visos Žemės), *mezoklimatas* (tai klimato ypatumai, lemiami mezoreljefo, stambių augalijos masyvų, vandens telkinių, miestų), *mikroklimatas* (apjungia reiškinius, vykstančius atmosferos paribio sluoksnyje iki ~1 km aukščio, pvz., atskirų kalvų, slėnių, miestų gatvių klimatas; vidaus patalpų klimatas), *nanoklimatas* (tai klimato ypatumai, pasireiškiantys 1 m pažemio oro sluoksnyje ir susidarantys dėl nedidelių paklotinio paviršiaus nelygumų), *bioklimatas* (klimato sąlygos, turinčios įtakos gyvų organizmų egzistavimui, vystymuisi, dauginimuisi ir paplitimui), *antropoklimatas* (klimato sąlygų kompleksas, lemiantis žmonių sveikatingumą, darbingumą, poilsiavimo galimybes), *paleoklimatas* (geologinės praeities epochų klimatas).

Pasaulinė klimato tyrimų programa

(1979 m., PMO, http://www.wmo.ch/)

Ją sudaro keturi komponentai:

- **Informacinis** - klimato sistemos monitoringas; klimato svyravimų identifikavimas; pagalba besivystančioms šalims, vykdant klimato rodiklių matavimus ir kaupiant jų rezultatus.
- **Taikomasis** - informacijos apie klimatą ir jo svyravimus panaudojimas, keliant žmonių veiklos efektyvumą ir užtikrinant jos saugumą..
- **Socialinis** - globalinio atšilimo poveikio įvertinimas pagrindiniams ūkio sektoriams.
- **Mokslinis** - klimato sistemos procesų tyrimai, klimato svyravimų ir anomalijų prognozavimas (Musonų, Poliarinė, Tropikų, Stratosferos procesų, Globalių energijos ir vandens ciklų ir kt. Programos).

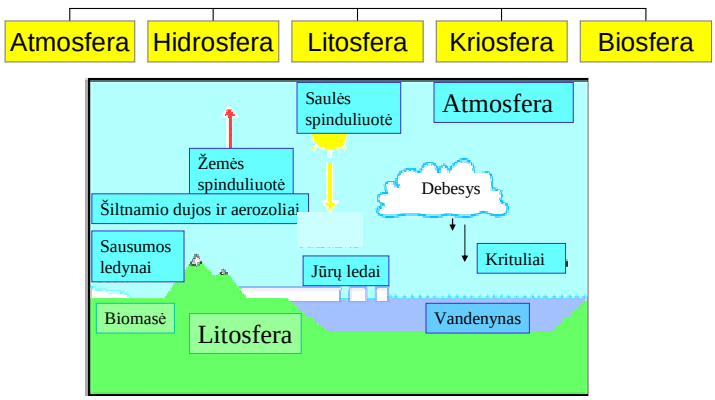
Klimatas apibūdinamas **vidutinėmis daugiametėmis** (PMO rekomenduoja ne trumpesnio kaip 30 m. laikotarpio), ekstremaliomis bei tikimybinėmis klimato elementų ir jų kompleksų reikšmėmis: Saulės spinduliuotės, energijos balanso, atmosferos slėgio, debesuotumo, oro ir dirvožemio temperatūros bei drėgnio, kritulių, sniego dangos, vėjo krypties ir greičio, atmosferos reiškinių (rūko, šalnų, lijundrų, pūgų, perkūnijų ir kt.). Analizuojama šių elementų kaita per metus, per parą, erdvinis pasiskirstymas, pasikartojimo tikimybė.

Tokie statistiniai klimato rodikliai dar vadinami **standartinėmis klimato normomis** (SKN). Klimatologiniai duomenys, apskaičiuoti šiems iš eilės einantiems 30 metų laikotarpiams: nuo 1901 m. sausio 1 d. iki 1930 m. gruodžio 31 d., nuo 1931 m. sausio 1 d. iki 1960 m. gruodžio 31 d., nuo 1961 m. sausio 1 d. iki 1990 m. gruodžio 31 d. Tais atvejais, kai vyksta sparti klimato elementų kaita (pavyzdžiui, kinta vidutinė temperatūra, kritulių kiekis), SKN atnaujinamos dažniau, kas dešimtmetį. Todėl pastaruoju metu kartais naudojamos 1980–2010 m. laikotarpio SKN, kurios tiksliau reprezentuoja dabartinę klimato būklę.

Svarbiausi pasaulio klimato tyrimo ir modeliavimo centrai:

- JAV: Nacionalinės okeanų ir atmosferos administracijos (NOAA) mokslinės laboratorijos ir centrai (Aeronomy laboratory), Climate Diagnostics Center, Climate Prediction Center, Climate Monitoring and Diagnostic Laboratory, national Climatis Data Center), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Goddard Institute for Space Studies,
- Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Didžioji Britanija),
- Max Planck Institut für Meteorologie (Vokietija),
- Meteorological Research Institute (Japonija),
- Canadinan Centre for Climate (Kanada),
- Bureau of Meteorological Research Centre, GSIRO (Australija).

Klimatosferos (klimato sistemos) vidiniai elementai



Kiekybiniai klimato sistemos elementų rodikliai

Rodiklis	At-mos-fera	Sausuma (10 m sluoksnis)	Vandenynas		Kriosfera	
			paviršinis iki 240 m	giluminis	žemynų ledas	jūrų ledas
Masė x10^{18} kg	5,3	3	79	1260	29	0,046
Masė, lyg. su atmosferos mase	1	0,55	15	238	5,4	0,009
Savitoji šiluma J/(kgxK)	1000	800	4200	4200	2100	2100
Įšilimas, gavus 5,3x10^{21} J šilumos (K)	1	2,2	0,015	0,01	0,089	2,85
Santykinis šilumos kiekis*	1	0,45	68,5	99,7	11,3	0,019

*Rodiklis, aprodantis kiek kartų skiriasi šilumos kiekis, kurio reikėtų klimato sistemos elementams, kad jų temperatūra pakiltų 1°K.

Tarptautiniai klimato tyrimo projektai ir programos, kuriuos koordinuoja PMO, JT Švietimo, mokslo ir kultūros organizacija (UNESCO), Tarptautinė mokslo taryba (ICSU):

Pasaulinė klimato programa (World Climate Programme),

Globali klimato stebėjimų sistema (The Global Climate Observing System),

Klimato kaita ir prognozavimas (Climate Variability and Predictability (CLIVAR),

Globalinis energijos ir vandens ciklo eksperimentas (Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX),

Stratosferos procesai ir jų poveikis klimatui (Stratospheric Processes and their Role in Climate (SPARC),

Klimatas ir kriosfera (Climate and Cryosphere) ir kt.

Klimatą formuojantys veiksniai

Išoriniai

1. Astronominiai:

- Saulės ir galaktikos spindėjimo intensyvumas,
- Žemės orbitos padėtis Saulės sistemoje,
- Žemės judėjimo savo orbitoje rodikliai (ekscentricitetas ir precesija),
- Žemės ašies polinkis į orbitos plokštumą,
- Žemės apsisukimo greitis aplink savo ašį;

2. geofiziniai:

- Žemės dydis ir masė,
- gravitacinis ir magnetinis Žemės laukai,
- globalinė tektonika,
- geoterminė šiluma ir vulkanizmas.

Vidiniai

- atmosferos dujinė sudėtis ir aerozolių kiekis,
- sausumos reljefas,
- paklotinio paviršiaus struktūra.

Žemės charakteristika ir orbitiniai parametrai

Nekintantys

- **Pusiaujo skersmuo 12756,28 km**
- **Ašigalinis skersmuo 12713,51 km**
- **Pusiaujo ilgis 40075,0 km**
- **Meridiano ilgis 40008,5 km**
- **Masė $5{,}974 \cdot 10^{24}$ kg**
- **Vid. tankis 5,515 g/cm^3**
- **Laisvojo kritimo pagreitis (prie Žemės paviršiaus):**

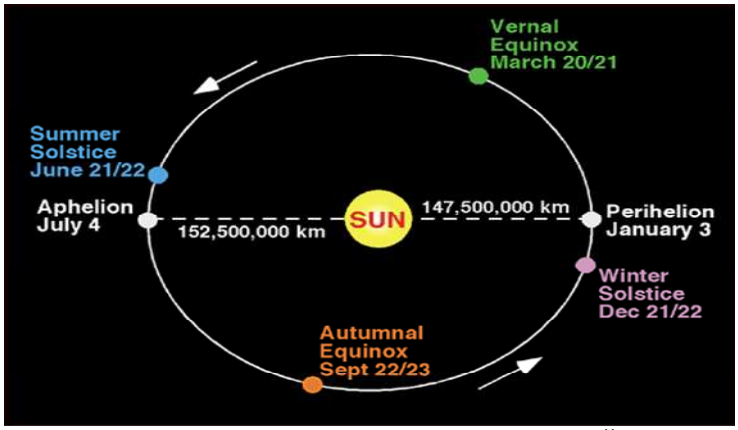
  pusiaujyje 9,780 m/s²;
  ašigaliuose 9,832 m/s²;
  vid. (ties 45° pl.) 9,806 m/s².

Kintantys

- **Apsisukimo apie ašį periodas 23,934 h (žvaigždinė para)**
- **Apskriejimo aplink Saulę periodas 365,256 d. (žvaigždiniai metai)**
- **Skriejimo greitis 29,8 km/s**
- **Pusiaujo plokštumos polinkis į ekliptikos plokštumą 23,442°**
- **Nuotolis nuo Saulės:**

  afelyje152,098 mln. km,
  perihelyje 147,098 mln. km,
  vidutinis 149,598 mln. km.
- **Orbitos ekscentricitetas 0,0167.**

Žemės judėjimas aplink Saulę

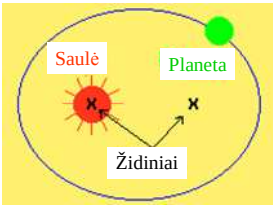


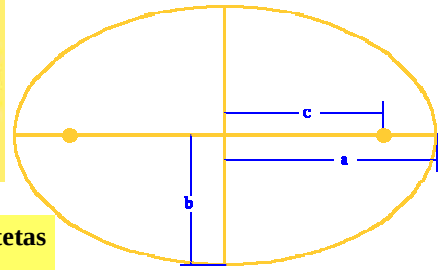
Lygiadienių, saulėgrįžų, perihelio ir afelio vieta bei datos Žemės orbitoje

Žemė, kaip ir kitos Saulės sistemos planetos, savo metinį kelią aplink Saulę skrieja elipsės formos orbita. Dydis, apibūdinantis Žemės ar kitos planetos orbitos elipsiškumą, vadinamas *ekscentricitetu* (*e*). Jis lygus atstumo tarp elipsės centro ir jos židinio santykiui su didžiuoju elipsės pusašiu (apskritiminės orbitos e = 0).

Dėl orbitos ekscentriciteto Žemė skriedama aplink Saulę būna nuo jos nevienodu atstumu. Žemės nuotolis iki Saulės kinta nuo 152 098 232 km liepos 4–6 d. (Žemės orbitos afelyje) iki 147 098 290 km sausio 2–5 d. (orbitos perihelyje).

Žemės orbitos ekscentricitetas *(e)*





Planeta	Ekscentricitetas
Merkurijus	0,206
Venera	0,007
Žemė	**0,017**
Marsas	0,093

$$e = c/a$$

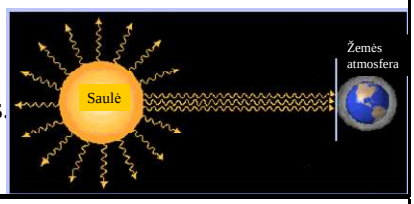
Soliarinis Žemės klimatas:

tai Saulės spinduliuotės kiekiai (insoliacija), pasiekiantys viršutinę atmosferos ribą per parą, mėnesį arba metus.

Soliarinis klimatas priklauso nuo astronominių faktorių:

- Žemės nuotolio nuo Saulės
- Saulės kampinio aukščio (zenitinio kampo),
- Saulės deklinacijos,
- dienos trukmės,

ir nuo geografinės platumos.



Saulės energijos prietaka į Žemę

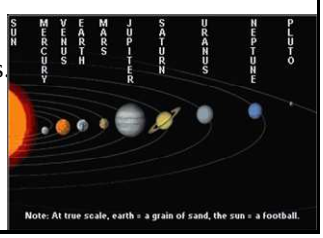
Ją lemia du veiksniai: Saulės šviesis ir atstumas iki Saulės

Saulės konstanta I_0 = *1370 W/m²* .
Tai Saulės spinduliuotės srautas per sekundę į plotą, statmeną Saulės spinduliams, esant vidutiniam Žemės nuotoliui nuo Saulės.
Dėl Saulės aktyvumo kaitos, kinta Saulės šviesis – kartu ir I_0 +/–2%.

Esant bet kokiam atstumui iki Saulės *(r)*, energijos srautas *I** bus lygus:

$$I^* = I_0 \frac{r_0^2}{r^2} \quad (1)$$

kur r_0 - vid. atstumas tarp Saulės ir Žemės.
Todėl, pavyzdžiui, Marso,
kuris yra dukart toliau nuo Saulės,
Saulės konstanta:
Im = 1370 W/m²:4 = 342 W/m².



Saulė – tai milžiniškas termobranduolinis reaktorius. Joje kas sekundę 565 milijonai tonų vandenilio paverčiami 560 milijonų tonų helio. Masės skirtumas, t.y. 5 milijonai tonų vandenilio, kiekvieną sekundę (!) išspinduliuojama elektromagnetinių bangų ir neutrinų pavidalu. Tai reiškia, kad penkis milijonus tonų šviesos kiekvieną sekundę Saulė siunčia į visas puses. Žemei tenka tik viena dvimilijardinė visos Saulės energijos dalis – tiek pasiekia išorinius Žemės atmosferos sluoksnius.

Viršutinių atmosferos sluoksnių vienam kvadratiniam, metrui Saulė siunčia apie 1370 vatų energijos. Tai vadinamoji **Saulės konstanta**. Anksčiau manyta, jog tai yra pastovus dydis ir Saulės siunčiama energija pastovi. Tačiau jau prieš kelis dešimtmečius nustatyta, kad Saulės konstanta keičiasi: jos didžiausios reikšmės būna didelio Saulės aktyvumo periodais.

Žinant Saulės konstantos reikšmę, nesunku apskaičiuoti, kiek energijos Saulė siunčia į visas puses. Gausime išties astronominį dydį — $3{,}9 \cdot 10^{23}$ kW/s.

Šis dydis lygus 5 milijonų tonų masei. Vadinasi, per metus Saulė netenka $1{,}5 \cdot 10^{14}$ tonų. Tai labai daug. Tačiau ne Saulės mastu. Juk visa jos masė lygi $2 \cdot 10^{27}$ tonų. Vadinasi, taip spinduliuodama ji sumažėtų dvigubai tik per 6000 milijardų metų (http://www.fizika.lm.lt/content/view/821/1074/)

Saulės energijos prietaka į Žemę

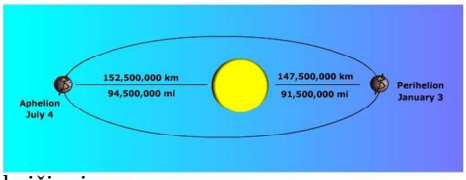
Atstumas iki Saulės, kai Žemė

perihelyje:

$r_p = r_0(1 - e)$, (2)

kai **afelyje:**

$r_a = r_0(1 + e)$. (3)



(2) ir (3) įstatom į (1) ir apskaičiuojame

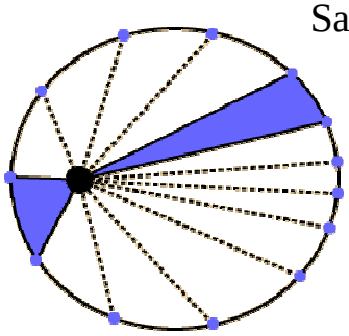
Saulės energijos kiekį, tenkantį ploto vienetui,

perihelyje: $I_p^* = I_0 \frac{1}{(1-e)^2} = I_0(1-e)^{-2}$ (4) = 1420 *W/m²*

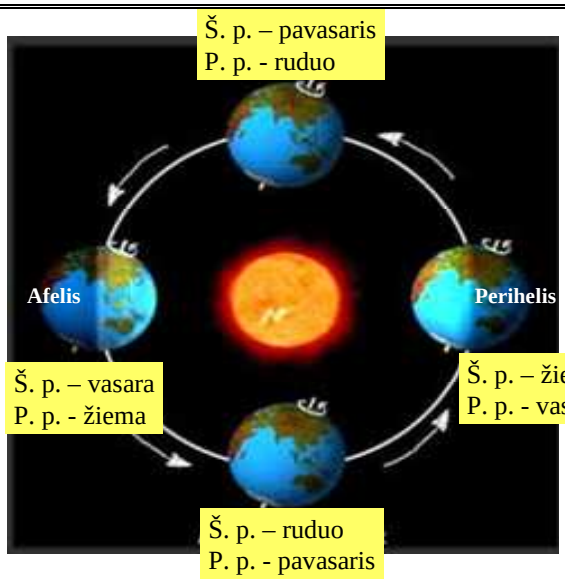
afelyje: $I_a^* = I_0 \frac{1}{(1+e)^2} = I_0(1+e)^{-2}$ (5) = 1328 *W/m²*

J. Keplerio antrasis dėsnis:

Žemės skriejimo aplink Saulę greitis atvirkščiai proporcingas atstumui iki Saulės



Linijos dalina orbitą į atkarpas, kurias Žemė nuskrieja per tą patį laiką.



Iliuminacijos linijos ir metų laikų kaita per metus

Visą kelią aplink Saulę Žemė įveikia per 365,256 dienos. Tai **žvaigždiniai metai.** Žemės skriejimo orbitoje vidutinis greitis 29,78 km/s (107,2 km/val.).

Planetos linijinis greitis orbitoje yra kintamas: greičiausiai planeta juda perihelyje (30,05 km/s), kai yra arčiausiai Saulės, o lėčiausiai – afelyje (29,55 km/s). Tai nustatė dar prieš keturis šimtus metų vokiečių astronomas ir matematikas, Koperniko mokymo šalininkas, **Johanas Kepleris** (*J. Kepler, 1571–1630*). Todėl šiauriniame Žemės pusrutulyje žiemos pusmetis trunka 179 paras, o vasaros pusmetis ilgiau – 186 paras.

J. Kepleris ne tiktai rėmė heliocentrinę pasaulio sistemą, bet ryžosi ją patikslinti. Kepleris galų gale atsisakė per tūkstantmečius įsigalėjusios minties, kad dangaus kūnai gali judėti tik apskritimais ir tolygiai.

Kepleris nustatė tris empirinius (paremtus tiktai stebėjimais) **planetų judėjimo dėsnius**.

Pirmasis dėsnis. Kiekviena planeta skrieja aplink Saulę elipse, kurios viename židinyje (visų planetų jis bendras) yra Saulė.

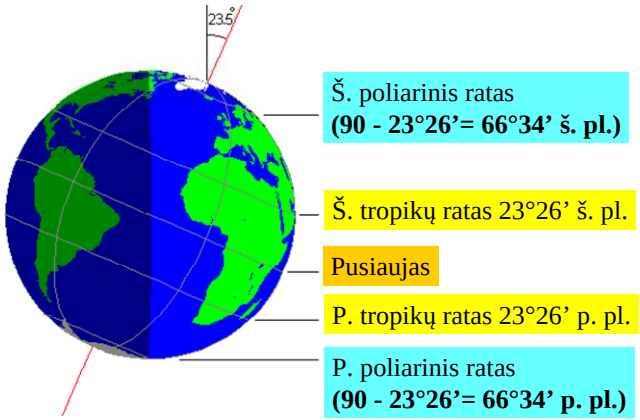
Antrasis (plotų) dėsnis. Planetos spindulys vektorius per lygius laiko tarpus nubrėžia lygius plotus, todėl Žemės skriejimo aplink Saulę greitis atvirkščiai proporcingas atstumui iki Saulės.

Trečiasis dėsnis. Planetų apskriejimo aplink Saulę žvaigždinių periodų kvadratai proporcingi jų orbitų didžiųjų pusašių kubams (Keplerio dėsniai, http://mokslasplius.lt/astronomija/node/597).

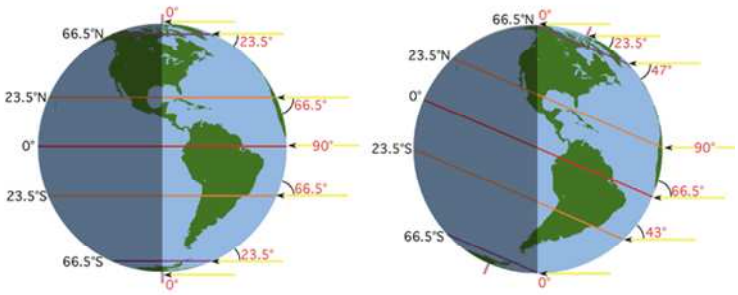
Metų laikų susidarymo priežastys – Žemės metinis judėjimas orbita ir Žemės ašies pasvirimas į orbitos plokštumą 23°26′ kampu. Dėl šio pasvirimo, kurį Žemės ašis išlaiko sukdamasi visą parą ir ištisus metus, į tą pačią Žemės vietą Saulės spinduliai krenta tai smailesniu, tai statesniu kampu, atitinkamai kinta gaunamos energijos kiekiai, todėl susidaro metų laikai ir sezoninė daugelio gamtos reiškinių kaita.

Sezoninis reiškinių ritmiškumas ryškiausias vidutinėse ir poliarinėse platumose, nes čia labiausia skiriasi vasaros ir žiemos sezonais gaunami Saulės energijos kiekiai, o kartu ir temperatūra. Aplink pusiaują Saulės energijos ir temperatūros sezoniškumas visai neryškus. Prie sezoninės reiškinių kaitos atitinkamai yra prisitaikęs augalų, gyvūnų, o taip pat ir žmonių gyvenimas.

Žemės ašies polinkio kampas 23°26’ (~23,5°)



Saulės kampinis aukštis h_0 lygiadienių ir vasaros saulėgrįžos metu

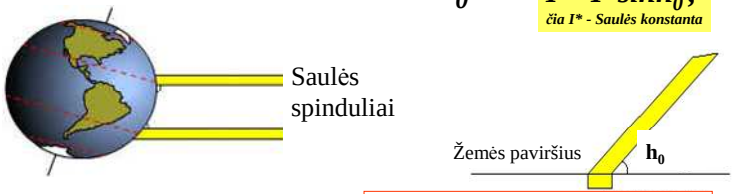


Raudoni skaičiai dešinėje – maksimalus $\mathbf{h_0}$ vidurdienį,
juodi skaičiai kairėje – ekvatoriaus, poliarinių ir tropikų ratų platumos

Insoliacijos į horizontalų paviršių (*I*) priklausomybė nuo Saulės kampinio aukščio h_0

$$I = I^* \sin h_0,$$

čia I - Saulės konstanta*



h_0 yra Saulės deklinacijos, geogr. platumos ir paros laiko funkcija.

SIN 80 = 0.98 or 98%
SIN 70 = 0.94 or 94%
SIN 60 = 0.87 or 87%
SIN 50 = 0.77 or 77%
SIN 40 = 0.64 or 64%
SIN 30 = 0.50 or 50%
SIN 20 = 0.34 or 34%
SIN 10 = 0.17 or 17%
SIN 0 = 0.00 or 0%

Šešis mėnesius (nuo pavasario lygiadienio kovo 21 d. iki rudens lygiadienio rugsėjo 23 d.) Šiaurės pusrutulis būna atgręžtas į Saulę, todėl švitinamas ilgiau ir spinduliai į jį krenta statesniu kampu nei Pietų pusrutulyje. Mes, Šiaurės pusrutulio gyventojai, tą laikotarpį vadiname astronominiu vasaros pusmečiu. Kitus šešis mėnesius analogiškose sąlygose atsiduria Pietų pusrutulis, o Šiaurės pusrutulis būna atsuktas į priešingą Saulei pusę. Tada jis gauna mažiau Saulės energijos nei Pietų pusrutulis ir nuo rugsėjo 23 d. iki kovo 21 d. tęsiasi astronominis žiemos pusmetis.

Insoliacija (*lot. insolatio – buvimas saulėje*) – bendroji Saulės spinduliuotė, pasiekianti Žemės atmosferą ir Žemės paviršių Insoliacijos stiprumas matuojamas Saulės energijos kiekiu, kurį per tam tikrą laiką gauna paviršiaus ploto vienetas (išreiškiama W/m^2 arba J/m^2). Priklauso nuo geogr. platumos, Saulės spindulių kritimo kampo (todėl insoliacija kinta per parą ir per metus), vietos aukščio virš jūros lygio, atmosferos skaidrumo ir debesuotumo.

Insoliacija *I* ties viršutine atmosferos riba:

$$I = \frac{I_0}{R^2}(\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\psi) \qquad (6)$$

čia $R^2 = r^2/r_0^2$, φ – platuma, δ – deklinacija,
ψ – paros laiko f-ja (valandinis kampas).

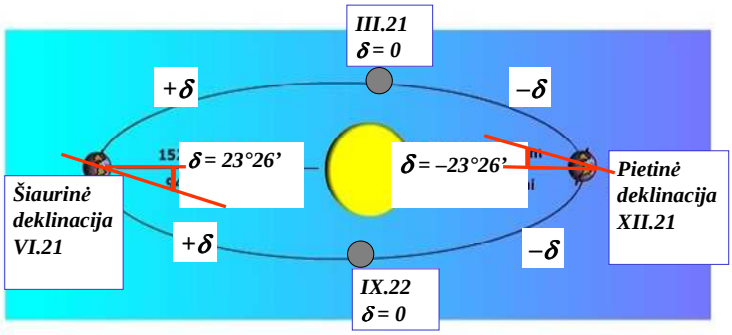
Deklinacija – kampas tarp krypties į Saulę ir ekvatoriaus plokštumos. Deklinacija parodo, kurioje platumoje vidurdienį Saulė yra zenite:

$$\delta = 23{,}5 \sin(N), \qquad (7)$$

čia N – dienų skaičius iki artimiausio lygiadienio (nuo kovo iki rugsėjo N teigiamas, nuo rugsėjo iki kovo N neigiamas)

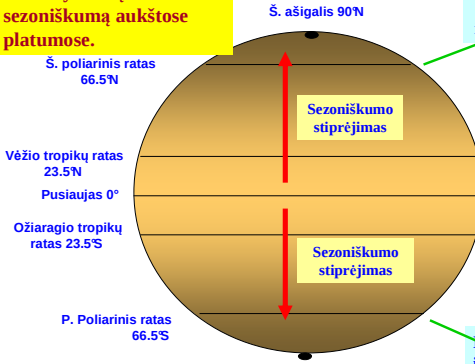
Valandinis kampas skaičiuojamas į vakarus nuo kokio nors meridiano plokštumos iki plokštumos, einančios per Saulę.

Saulės deklinacija (δ)



Dienos trukmė

Dienos ir nakties trukmės sezoniniai svyravimai didėja nuo pusiaujo link aukštų platumų. Tai lemia ryškesnį klimato sezoniškumą aukštose platumose.



6 mėn. (III-IX) diena,
6 mėn. (IX-III) naktis

Ilgiausia diena 24 val. (birželio 21 d.),
ilgiausia naktis - 24 val. (gruodžio 21 d.)

Zenite Saulė būna 1 kartą per metus (birželio 21 d.).
Dienos trukmė visada >10 val.

Zenite Saulė būna 2 kartus per m. (kovo 21 ir rugsėjo 22 d.).
Apskritus metus dienos trukmė pastovi – 12 val.

Zenite Saulė būna 1 kartą per m. (gruodžio 21 d.).
Dienos trukmė visada >10 val.

Ilgiausia diena - 24 val. (gruodžio 21 d.)
ilgiausia naktis - 24 val. (birželio 21 d.),

6 mėn. (IX-III) diena,
6 mėn. (III-IX) naktis)

Energijos ir Saulės spinduliuotės matavimo vienetai:

Džauliai (J):
1J = 1 Ws = 1 kgm^2s^{-2}
1 cal = 4,1868 J
1 kcal cm^{-2}= 41,868 MJ m^{-2}
1 kWh = 3,6x 10^6 J = 3,6 MJ
1 erg = 10^{-7} J

Vatai (W):
1 W = 1 Js^{-1} = 1 kgm^2s^{-3}
1 Aj (arklio jėga) = 735,49875 W
1 $kcalh^{-1}$ = 1,163 W
1 Wm^{-2} = 1 $J^{-2}s^{-1}$ = 1 kgs^{-3}
1 cal $cm^{-2}min^{-1}$ = 697,8 Wm^{-2}

Saulės deklinacija – kampas tarp krypties į Saulę ir ekvatoriaus plokštumos, kinta nuo +23°26′ (Š) iki –23°26′ (P).

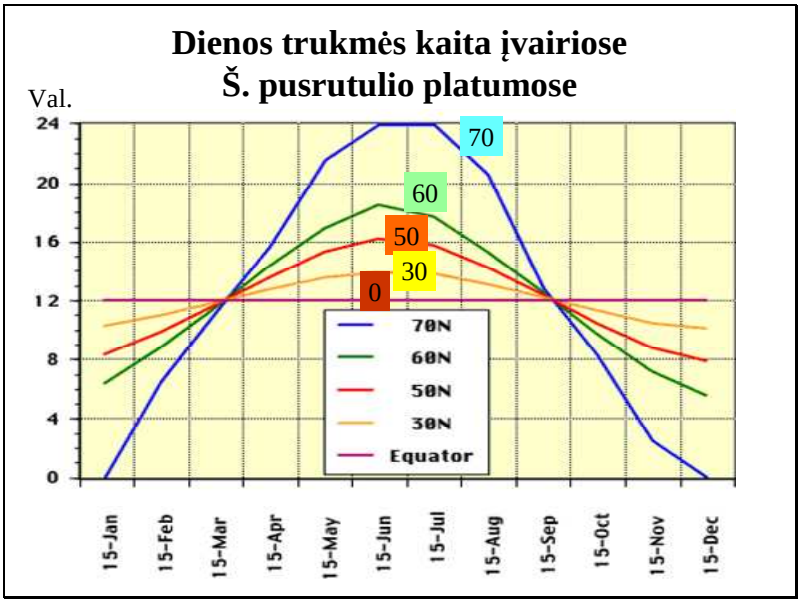
Diena – šviesioji paros dalis nuo Saulės viršutinio krašto patekėjimo iki laidos. Pusiaujyje trunka ~12 h; tolstant nuo pusiaujo, vasarą diena ilgėja, žiemą trumpėja.

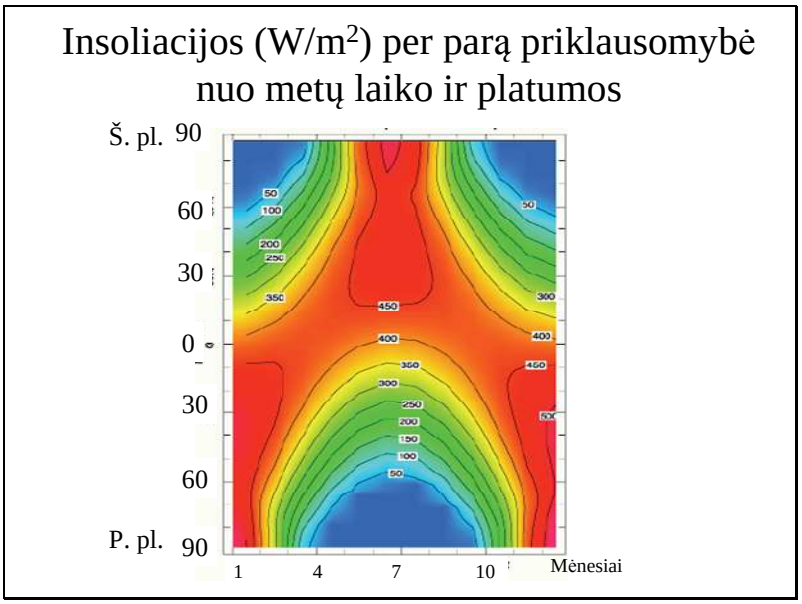
Dienos ir nakties trukmė per metus nėra vienoda dėl Žemės ašies pasvirimo ir Žemės metinio judėjimo aplink Saulę. Žemės ašis yra pasvirusi į orbitos plokštumą 23°26′ kampu. Toks pat kampas yra tarp Žemės pusiaujo ir jos orbitos plokštumų.

Š. pusrutulyje ilgiausia būna vasaros saulėgrįžos (birželio 21–22 d.), trumpiausia – žiemos saulėgrįžos (gruodžio 21–22 d.) diena. P. pusrutulyje atvirkščiai – ilgiausia gruodžio 21–22 d., trumpiausia birželio 21–22 d.

Už poliaračių šiaurinę vasarą Š. pusrutulyje, o šiaurinę žiemą P. pusrutulyje būna **poliarinė diena** (trunka >24 h); ašigalių srityse diena trunka maždaug pusę metų.

Tačiau dėl atmosferinės refrakcijos (prie horizonto refrakcijos kampas apie 51′) poliarinė diena ir poliarinė naktis prasideda ne tiksliai ties poliaračiais (geogr. platuma φ = 66°34′), bet ~95 km arčiau pusiaujo, jau nuo 65°43′ platumų (66°34′ – 51′ = 65°43′). Šiose platumose Š. pusrutulyje vasaros saulėgrįžos dieną (birželio 21 d.), o P. pusrutulyje žiemos saulėgrįžos dieną (gruodžio 21 d.) poliarinė diena trunka 24 val.





Vasarą tose vietovėse, kurių platuma $\varphi \geq 65°43'$, kurį laiką Saulė visai nenusileidžia žemiau horizonto ir tęsiasi poliarinė diena. Platumą, nuo kurios prasideda poliarinės dienos zona vasaros pusrutulyje, galima apskaičiuoti žinant deklinaciją δ:

$$\varphi = 90° - |\delta| - 51'.$$

Kuo arčiau ašigalių, tuo poliarinė diena ilgesnė. Ašigaliuose ji trunka 186 paras (dėl atmosferinės refrakcijos 7 parom ilgiau nei poliarinė naktis).

Poliarinė naktis galima tik tose vietovėse, kurių platuma $\varphi \geq 67°25'$:

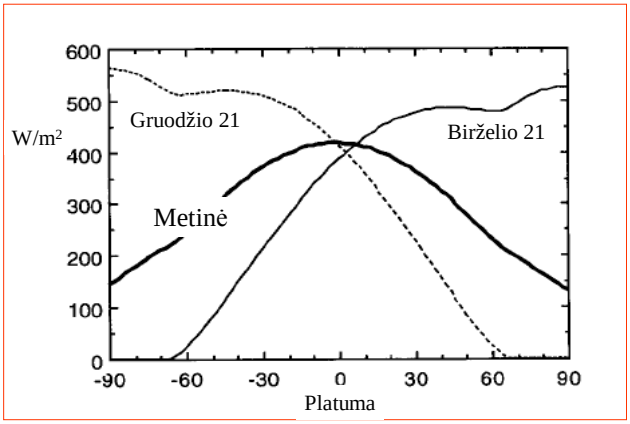
$$\varphi = 90° - 23°26' + 51' = 67°25'.$$

Taigi poliaračiuose ($\varphi = 66°34'$) dėl atmosferinės refrakcijos apskritai nebūna poliarinės nakties. Ašigaliuose poliarinė naktis trunka 179 paras.

Jeigu apatinėje kulminacijoje (vidurnaktį) Saulė nenusileidžia po horizontu giliau 6°, tai civilinės vakaro sutemos susilieja su ryto aušra ir būna *baltosios naktys.*

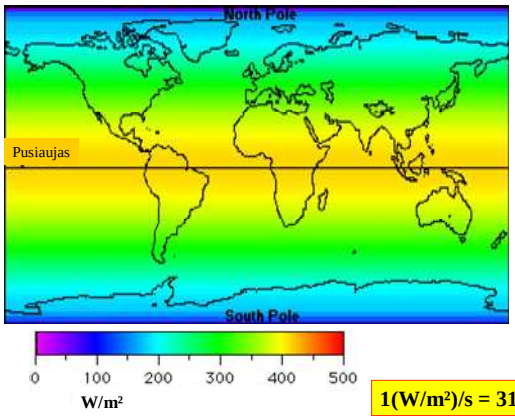
Vasaros saulėgrįžos dieną (Saulės deklinacija $\delta = 23°26'$) baltosios naktys dėl atmosferinės refrakcijos (prie horizonto refrakcijos kampas apie 51′) pasiekia net 59°43′ geografinę platumą ($\varphi = 90° - 23°26' - 6° - 51' = 59°43'$).

Insoliacija saulėgrįžų metu



Vidutinė metų insoliacija ties viršutine atmosferos riba

Vidurkis ~340, maksimumas ~430, minimumas ~140 W/m²



Insoliacijos suma per metus:
pusiaujyje 13500 MJ/m², ašigaliuose 4500 MJ/m², Lietuvoje apie 8400 MJ/m².

Žemės paviršių per metus pasiekia vidutiniškai tik 40-60% šios insoliacijos sumos.

1(W/m²)/s = 31,5 (MJ/m²)/metus

Analema

(aukščiausi saulės kulminacijos taškai per metus)



Dėl Žemės orbitos ekscentriciteto insoliacija priklauso dar ir nuo **atstumo iki Saulės**: sausį, kai Žemė yra arčiausiai Saulės (perihelyje), insoliacija stipresnė, negu liepą, Žemei esant toliausiai nuo Saulės (afelyje). Todėl susidaro insoliacijos pasiskirstymo Š. ir P. pusrutuliuose **sezoninė asimetrija:** vasaros insoliacija 6,9 % didesnė P. pusrutulyje, o žiemos insoliacija tiek pat didesnė Š. pusrutulyje. Tačiau per metus ši asimetrija išsilygina ir tos pačios abiejų pusrutulių platumos ties viršutine atmosferos riba gauna panašią metinę insoliacijos sumą: pavyzdžiui, pusiaujyje 13500 MJ/m^2, ašigaliuose 4500–4700 MJ/m^2, o Lietuvoje apie 8400 MJ/m^2.

Žemės paviršių per metus pasiekia vidutiniškai tik 40–60 % šios insoliacijos sumos.