

TURINYS

1. Įvadas	7
1.1. Ką tiria astronomija	8
1.2. Visatos erdvės ir laiko mastai	10
1.3. Svarbiausi astronomijos raidos etapai	13
2. Praktiniai astronomijos pagrindai	19
2.1. Žvaigždėtasis dangus	20
2.2. Danguos šviesulių regimieji ryškiai	23
2.3. Danguos sfera ir jos elementai	25
2.4. Astronominės koordinatės	28
2.5. Žvaigždžių katalogai ir žvaigždėlapiai	35
2.6. Saulės ir Mėnulio regimasis judėjimas. Užtemimai	37
2.7. Kaip matuojami astronominių objektų atstumai ir matmenys	43
2.8. Laiko matavimas	47
2.9. Regimasis planetų judėjimas	53
3. Danguos kūnų tyrimo metodai	61
3.1. Elektromagnetinė spinduliuotė	62
3.2. Spektrų analizė	67
3.3. Teleskopai ir astronomijos observatorijos	71
4. Kosminių kūnų mechanika	91
4.1. Planetų judėjimo dėsniai	92
4.2. Gravitacija ir Keplerio dėsniai	94
4.3. Greičiai ir orbitos	96
4.4. Kaip pakeisti orbitą	99
4.5. Orbitų trikdžiai	101
5. Saulės sistemos sandara ir kilmė	105
5.1. Saulės sistemos sandara	106
5.2. Saulės sistemos ypatybės	109
5.3. Saulės sistemos formavimasis	110
Priedai	115
Žvaigždėlapiai	122
Dalykinė rodyklė	130
Iliustracijų šaltiniai	132
Užduočių atsakymai	135

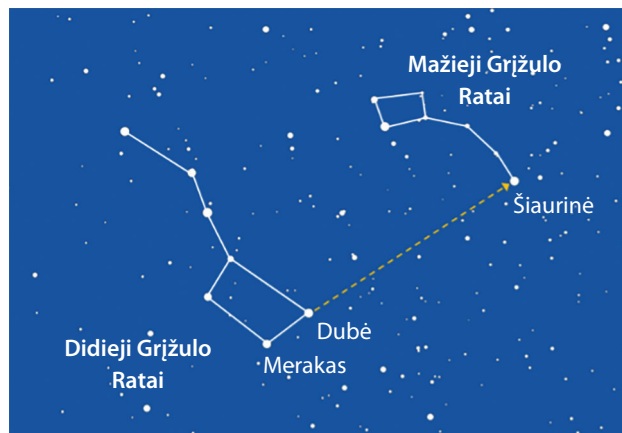


2.3. Dangaus sfera ir jos elementai

SAVOKOS: dangaus sferà, dangaus pólus, dangaus ašis, dangaus pusiáujas, zenitas, nadýras, horizontas, dangaus dienóvidinis, vidurdienio línija

Giedrą naktį ilgesnį laiką stebėdami žvaigždėtą dangų rytų, pietų ir vakarų kryptimis pamatome, kad žvaigždės (ir kiti dangaus šviesuliai) rytuose pamažu kyla aukštyr ir slenka į vakarus, pietinėje dangaus pusėje žvaigždės pakyla aukščiausiai virš horizonto ir slenka vakarų kryptimi maždaug lygiagrečiai su horizontu, o vakaruose jos pamažu leidžiasi link horizonto, kol už jo ir nusileidžia. Stebėdami dangų šiaurės kryptimi matome, kad žvaigždės tarytum sukasi ratu aplink tašką, esantį visai šalia **Šiaurinės** (Mažųjų Grįžulo Ratų α), prieš laikrodžio rodyklę. Per parą žvaigždėto dangaus skliautas apsisuka vieną kartą. Šis regimasis dangaus skliauto judėjimas vadinamas **parinių judėjimu**. Iš tiesų tai yra Žemės sukimosi aplink savo ašį atspindys. *Žvelgiant nuo Žemės šiaurės ašigalio, Žemė aplink savo ašį sukasi prieš laikrodžio rodyklę (iš vakarų į rytus). Todėl mums atrodo, kad dangaus skliautas su šviesuliais sukasi iš rytų į vakarus.* Šiaurinės padėtis horizonto atžvilgiu beveik nesikeičia, nes į ją apytiksliai nukreipta Žemės sukimosi ašis. Žvaigždžių parinį judėjimą iliustruoja 2.3.1 pav., kuriame pateikta Šiaurinės aplinkos dangaus nuotrauka, nufotografuota su ilga ekspozicija nejudančia fotokamera. Šioje nuotraukoje matomi pusapskriti-

miai yra žvaigždžių regimojo parinio judėjimo takai. Jų bendras centras yra **dangaus šiaurės pólus**, kurio kryptį rodo Žemės sukimosi ašis. Arčiausiai centro matomas pusapskritis yra Šiaurinės pėdsakas. Šiaurinė savo ryškiu neišsiskiria iš aplinkinių žvaigždžių. Tačiau ją nesunku surasti pagal Didžiųjų Grįžulo Ratų žvaigždes (2.3.2 pav.).



2.3.2 pav. Didieji ir Mažieji Grįžulo Ratai. Punktyrinė rodyklė rodo Šiaurinę. Kampinis atstumas tarp Dubės ir Šiaurinės apytiksliai lygus penkiagubam kampiniam atstumui tarp Merako ir Dubės.



2.3.1 pav. Žvaigždžių parinis judėjimas Šiaurinės (Mažųjų Grįžulo Ratų α) kryptimi. Šiaurinė – šviesiausias pusapskritis nuotraukos centre. Kampinis atstumas tarp Šiaurinės ir dangaus šiaurės poliaus 39' (2021-08-25). Nuotrauka padaryta nejudančia fotokamera, ekspozicijos trukmė 12 val.

1

2

3

4

5

1

2

3

4

5

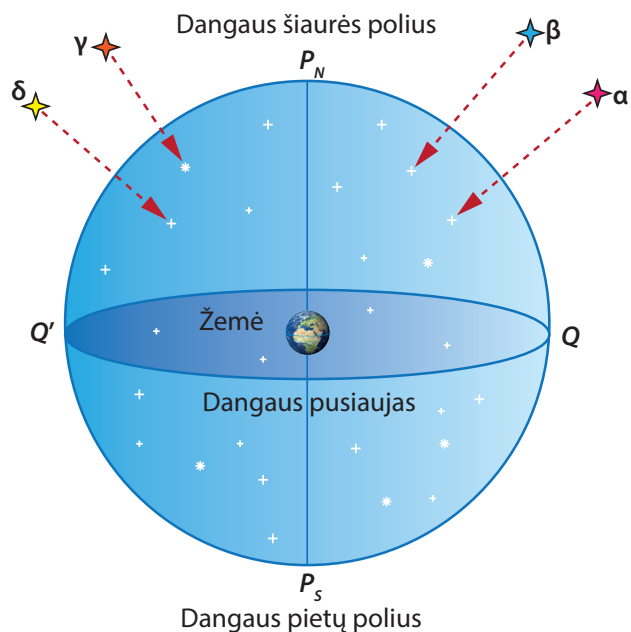
Stebint žvaigždėtą dangų mums atrodo, kad visi šviesuliai yra nutolę vienodais atstumais nuo mūsų ir švyti didžiulės sferos, kurios centre yra stebėtojas, paviršiuje. Šiais laikais mes žinome, kad žvaigždės ir kiti dangaus šviesuliai nuo Žemės yra nutolę skirtingais atstumais, o mūsų planeta nėra Visatos centre. Tačiau dangaus sferos įvaizdis yra patogi priemonė šviesulių tarpusavio padėtimis ir judėjimui matuoti.

Dangaūs sferà yra įsivaizduojama neapibrėžto spindulio sfera, kurios centras yra stebėtojo taške ir kurios paviršiuje projektuojamos visų dangaus šviesulių regimosios padėtytys.

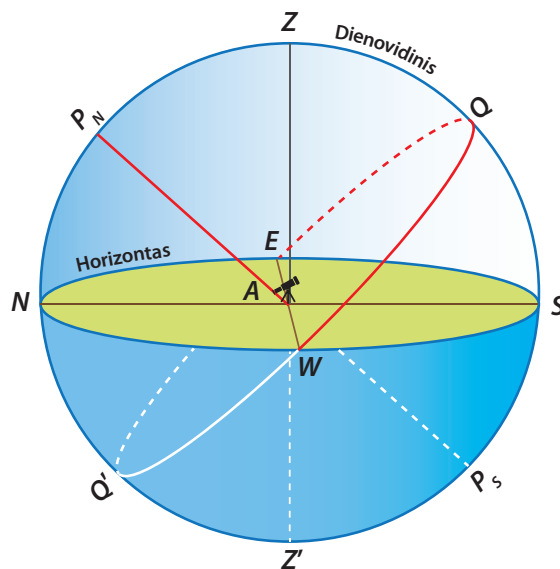
Dangaus sferos centru gali būti laikoma stebėtojo vieta tam tikrame Žemės paviršiaus taške, Žemės arba Saulės centras ir kt. Toliau šiame skyriuje nagrinėsime dangaus sferą, kurios centras yra stebėtojo akis tam tikrame Žemės paviršiaus taške. Atstumai dangaus sferoje matuojami kampiniais vienetais (laipsniais ir laipsnio dalimis – minutėmis ir sekundėmis). Atstumas tarp kurių nors žvaigždžių α ir β yra kampas, kuris matuojamas tarp krypčių „stebėtojas–žvaigždė α “ ir „stebėtojas–žvaigždė β “. Pavyzdžiui, atstumas tarp Didžiųjų Grįžulo Ratų žvaigždžių Merako ir Dubės yra $5^{\circ}22'$ (žr. 2.3.2 pav.). Tai reiškia, kad šis kampas buvo išmatuotas tarp krypčių „stebėtojas–Merakas“ ir „stebėtojas–Dubė“. Dangaus šviesulių regimieji matmenys dangaus sferoje taip pat įvertinami kampiniais vienetais. Pavyzdžiui, Saulės ir Mėnulio regimieji kampiniai skersmenys apytiksliai lygūs $0,5^{\circ}$. Šie duomenys gali būti panaudoti norint apytiksliai įvertinti kampinius atstumus tarp kitų šviesulių, matomų danguje.

Šviesulių padėtytys dangaus sferoje matuojamos ir skaičiuojamos tam tikrų sutartinių dangaus sferos plokštumų ir taškų atžvilgiu. Pagrindiniai dangaus sferos elementai pavaizduoti 2.3.3 ir 2.3.4 pav.

Žemės sukimosi ašies tęsinys kerta dangaus sferą dviejuose taškuose, P_N ir P_S . Taškas P_N esantis Žemės šiaurės ašigalio pusėje, vadinamas **dangaūs šiaurės pólumi**, o taškas P_S esantis pietų ašigalio pusėje, vadinamas **dangaūs pietų pólumi**. Tiesė, jungianti dangaus šiaurės ir pietų polius, vadinama **dangaūs ašimi**. Kadangi Žemės matmenys yra nepaprastai maži, palyginti su atstumais iki žvaigždžių, tai bet kuriam stebėtojui, esančiam Žemėje, dangaus ašis bus lygiagreti su Žemės sukimosi ašimi. Mūsų laikais dangaus šiaurės polius yra arčiau nei per 1° nuo Mažųjų Grįžulo Ratų α žvaigždės, kuri



2.3.3 pav. Įsivaizduojama dangaus sfera, supanti Žemę. Čia sferos centras sutampa su Žemės centru. Iš dangaus šiaurės poliaus perspektyvos Žemė sukasi aplink savo ašį prieš laikrodžio rodyklę, o dangaus sfera – pagal laikrodžio rodyklę. Žvelgiant į žvaigždėtą dangų susidaro įspūdis, kad visi šviesuliai išsidėstę tam tikro spindulio sferos paviršiuje, nors iš tikrųjų šviesulių atstumai nuo Žemės yra labai skirtingi.



2.3.4 pav. Dangaus sferos pagrindiniai taškai ir plokštumos. Čia stebėtojo vietos taškas A yra ant Žemės paviršiaus tam tikroje šiaurės platumoje. Dangaus sferos centras yra taške A. Kiti paaiškinimai – tekste.

dėl to ir vadinama **Šiaurinė**. Dangaus pietų polius yra Oktanto žvaigždyne. Žemės pusiaujo plokštumos tęsinys su dangaus sfera kertasi apskritimu $Q'Q$, vadinamu **dangaūs pusiáuju**, kuris padalija

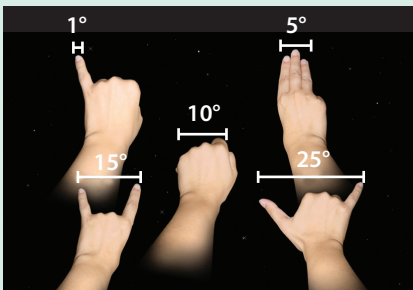
dangaus sferą į dvi hemisferas (pusferes, pusrutulių): šiaurės hemisferą, kurios viršūnė yra dangaus šiaurės polius, ir pietų hemisferą, kurios viršūnė yra dangaus pietų polius. Toliau panagrinėkime, kokius svarbius dangaus sferos taškus ir plokštumas fiksuoja stebėtojas, esantis ant Žemės paviršiaus tam tikroje šiaurės platumoje (žr. 2.3.4 pav.). Vertikali tiesė **ZAZ'**, išvesta per stebėtojo vietą **A**, kerta dangaus sferą dviejuose taškuose: virš stebėtojo esančiame taške **Z**, kuris vadinamas **zenitū**¹, ir diametraliai priešingoje pusėje po stebėtojo kojomis esančiame taške **Z'**, kuris vadinamas **nadyrū**². Plokštuma **NESW**, išvesta per stebėtojo vietą **A** statmenai vertikalei **ZZ'**, vadinama **horizonto plokštuma**. Ši plokštuma yra liestinė Žemės rutulio paviršiaus taške, kuriame yra stebėtojas **A**. Ji kertasi su dangaus sfera

apskritimu, kuris vadinamas **horizontu**. Horizonto plokštuma padalija dangaus sferą į dvi dalis: virš horizonto esančią **rėgimąją** dalį, kurioje stebėtojas **A** gali matyti visus jos taškus, ir po horizontu esančią **nerėgimąją** dalį, kurios stebėtojas **A** visai nemato. Plokštuma, išvesta per vertikaliąją liniją **ZAZ'** ir dangaus ašį **P_NAP_S**, kertasi su dangaus sfera apskritimu **P_NZQP_SQ'**, kuris vadinamas **dangaus dienovidiniu**. Šio dienovidinio plokštumos susikirtimo su horizonto plokštuma linija vadinama **vidurdienio linija**. Vidurdienio linija kerta dangaus sferą **šiaurės taškė N** ir **pietų taškė S**. Šiaurės taškas yra tas, kuris arčiau dangaus šiaurės poliaus, o pietų taškas yra priešingoje horizonto pusėje. Dangaus pusiaujas kertasi su horizontu **rytų taškė E** ir **vakarų taškė W**.

Paprastas būdas kampiniam atstumui išmatuoti



Kampinius atstumus apytiksliai galima išmatuoti ir be jokių prietaisų. 2.3.5 pav. matyti, kad pirštų deriniais, ištiesus ranką, gali būti patogiu matuoti kampus. Pavyzdžiui, mažasis pirštas dengia apie 1° atstumą, kumštis – 10° ir t. t. Pabandykite šiuo metodu išmatuoti kampinius atstumus tarp Didžiųjų Grįžulo Ratų žvaigždžių (2.3.6 pav.): Dubė–Merakas – 5°, Dubė–Megrecas – 10°, Dubė–Aliotas – 15°.



2.3.5 pav.



2.3.6 pav. Didieji Grįžulo Ratai

Klausimai ir užduotys



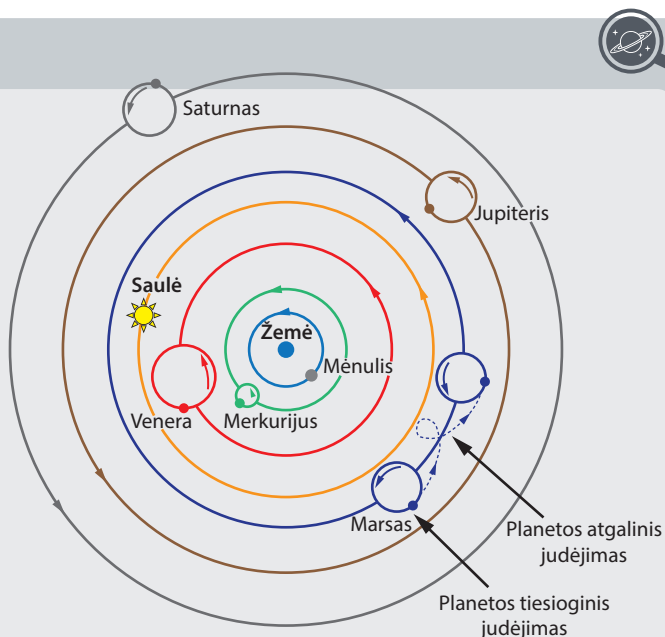
1. Kas yra dangaus sfera?
2. Kokia dangaus pusiaujo ir Žemės pusiaujo sąsaja?
3. Kaip tiksliai nustatyti zenito kryptį?
4. Panagrinėkite parinį dangaus šviesulių judėjimą naudodamiesi programėle. Programėlėje nustatykite vidutinę geografinę platumą. Atsakykite į klausimus: kaip juda žvaigždės žvelgiant šiaurės (pietų) kryptimi? Ar visos žvaigždės pateka ir nusileidžia?
5. Kaip surasti dangaus poliaus padėtį danguje?
6. Esant giedram dangui pritaikykite skiltyje „Paprastas būdas kampiniam atstumui išmatuoti“ pateiktas žinias – išmatuokite kampinį atstumą tarp Mėnulio ir šviesios žvaigždės (planetos), Mėnulio (planetos) aukštį virš horizonto.

¹ Zenitas [pranc. *zénith* < arab. *samt ar-ra's* – kryptis virš galvos]

² Nadyras [arab. *nažir* – esantis priešais]

Klaudijas Ptolemajas (100–170)

Klaudijas Ptolemajas (Κλαύδιος Πτολεμαῖος, *Klaudios Ptolemaios*) gyveno ir dirbo Aleksándrijoje, Egiptė. Svarbiausias jo veikalas „Astronomijos sandara“, plačiau žinomas pavadinimu „Almagestas“, paskelbtas apie 150 m. Šiame veikale aprašytas geocentrinio pasaulio modelis, kurio schema pavaizduota 2.9.4 pav. Centre yra nejudanti Žemė. Šviesuliai orbitose išdėstyti atsižvelgiant į jų regimąjį judėjimo greitį dangaus sferoje: artimiausi juda greičiausiai, o tolimiausi – lėčiausiai. Toliau už Saturno orbitos yra nejudančių žvaigždžių sfera (neparodyta). Šviesulių tekėjimas ir laida aiškinami dangaus sferos sukimusi aplink Žemę iš rytų į vakarus. Be to, Saulė ir Mėnulis juda aplink Žemę iš vakarų į rytus didžiaisiais apskritimais (defereнтаis) (tiesioginis judėjimas). Planetos juda mažaisiais apskritimais (epiciklais), o jų centras – didžiojo apskritimo. Planetų judėjimas epiciklais buvo sumanytas tam, kad būtų modeliuojamas atgalinis planetų judėjimas. Derinant didžiųjų ir mažųjų apskritimų parametrus ir planetų judėjimo greičius, buvo galima sumodeliuoti planetos regimąjį judėjimą dangaus sferoje, atitinkantį stebėjimų duomenis, ir apskaičiuoti Saulės, Mėnulio ir planetų padėtis daugeliui metų į priekį. Dėl to šis modelis planetų padėtimis apskaičiuoti buvo taikomas beveik 15 amžių. Didėjant astronominių matavimų tikslumui, buvo pastebimi vis ryškesni išmatuotų ir apskaičiuotų pagal Ptolemajo modelį planetų padėčių skirtumai. Siekiant sumažinti šiuos skirtumus, viduramžiais Ptolemajo modelis buvo tobulinamas įvedant papildomus epiciklus. Dėl to ilgainiui modelis tapo itin sudėtingas ir nepatogus taikyti. Būtina pastebėti, kad Ptolemajas savo modelį laikė tik tinkamu matematiniu metodu dangaus šviesulių regimosioms padėtimis apskaičiuoti, bet niekada neteigė, kad šviesuliai realybėje juda tokiomis sudėtingomis trajektorijomis.



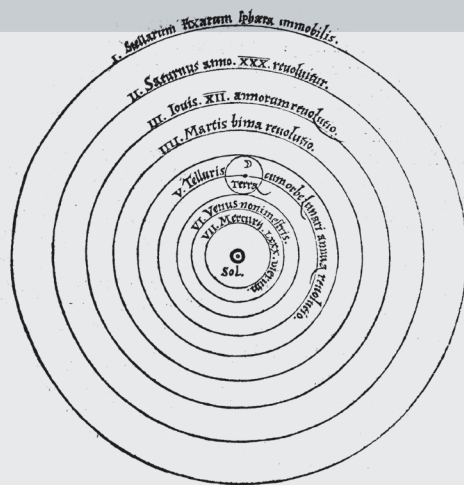
2.9.4 pav. Ptolemajo geocentrinės pasaulio sistemos modelis

Mikalojus Kopernikas (1473–1543)



Lenkų astronomas Mikalojus Kopernikas (lenk. *Mikołaj Kopernik*, lot. *Nicolaus Copernicus*) heliocentrinio pasaulio modelio idėjas suformulavo apie 1505–1510 m. Visą heliocentrinio pasaulio teoriją jis aprašė svarbiausiam savo veikale „Apie dangaus sferų sukimą“, kuris buvo išspausdintas 1543 m., t. y. jo mirties metais.

2.9.5 pav. pavaizduota šiame veikale pateiktos heliocentrinės sistemos schema. Jo teorija natūraliai ir paprastai paaiškino Saulės ir planetų judėjimą. Remiantis šia teorija, buvo galima apskaičiuoti teisingus santykinius planetų atstumus nuo Saulės ir jų orbitinius (žvaigždinius) periodus. Šių dydžių neįmanoma apskaičiuoti remiantis geocentrinio Ptolemajo modeliu. Tačiau Koperniko teorija dar rėmėsi senomis klaidingomis prielaidomis, kad planetų orbitos turi būti apskritimai, kuriomis planetos juda tolygiai. Todėl pagal jo modelį apskaičiuojamos planetų padėtys nebuvo tikslesnės, palyginti su Ptolemajo modeliu.



2.9.5 pav. Koperniko heliocentrinės pasaulio sistemos modelis

Skyriaus „Dangaus kūnų tyrimo metodai“ santrauka

- ✦ Elektromagnetinė spinduliuotė perneša informaciją ir energiją Visatoje.
- ✦ Visa elektromagnetinė spinduliuotė nuo gama spindulių iki radijo bangų vienu metu yra ir elektromagnetinė banga, ir dalelė, vadinama fotonu.
- ✦ Žemės atmosfera pralaidi tik tam tikruose elektromagnetinės spinduliuotės spektro ruožuose. Nuo Žemės paviršiaus galimi stebėjimai regimojoje šviesoje su optiniais teleskopais ir radijo bangų diapazone – su radioteleskopais. Su kosmose skriejančiais teleskopais galima tyrinėti astronominius objektus visame elektromagnetinės spinduliuotės spektre.
- ✦ **Juodasis kūnas (visiškas spinduolis)** yra kūnas, kuris visiškai sugeria į jį krintančią visų bangos ilgių elektromagnetinę spinduliuotę. Juodojo kūno spinduliuotės geba priklauso tik nuo jo paviršiaus temperatūros. Juodasis kūnas yra dažnai naudojamas artinys astronominių objektų šiluminei spinduliuotei apibūdinti; juo remiantis galima įvertinti objekto paviršiaus temperatūrą ir kitus fizinius parametrus.
- ✦ Juodojo kūno visuminę (visų elektromagnetinių bangų ilgių) spinduliuotę apibūdina **Štefano ir Bolcmano dėsnis**, teigiantis, kad kūno visuminė spinduliuotės geba yra proporcinga temperatūrai ketvirtuoju laipsniu.
- ✦ Bangos ilgį, kuriame juodojo kūno spinduliuotės galia didžiausia, apibūdina **Vyno poslinkio dėsnis**, teigiantis, kad didėjant temperatūrai juodojo kūno spinduliuotės gebos maksimumas pasislenka į trumpesnių bangų pusę.
- ✦ Spinduliuojančių kūnų spektrai gali būti trijų tipų: **ištisiniai, linijiniai sugerties ir linijiniai emisijos**.
- ✦ Kiekvienas cheminis elementas turi tik jam būdingą linijinį (sugerties ir emisijos) spektrą.
- ✦ Jei stebėtojas ir šviesulys juda vienas kito atžvilgiu šviesulio regėjimo kryptimi, tai to šviesulio spektre matomas spektro linijų poslinkis, kurį apibūdina **Doplerio reiškiny**s, teigiantis, kad spektro linijos poslinkis yra proporcingas šviesulio judėjimo greičiui.
- ✦ Pagal konstrukciją optiniai teleskopai skirstomi į **lęšinius (refraktorius), veidrodinius (reflektorius) ir veidrodinius-lęšinius**.
- ✦ Pagrindiniai teleskopo parametrai yra **šviesos (spinduliuotės) surinkimo geba ir kampinė skyra**. Abu šie parametrai priklauso nuo teleskopo objektyvo (pagrindinio veidrodžio) skersmens.
- ✦ Atmosferos sukelti astronominių vaizdų iškraipymai ištaisomi taikant **adaptyviosios optikos** metodus.
- ✦ Astronominių objektų spektrai tiriami naudojant **spektrografus**.
- ✦ **Astronomijos observatorija** – mokslo institucija arba jos padalinys, turintis statinių kompleksą, kuriame įrengti teleskopai arba radioteleskopai dangaus kūnams stebėti.
- ✦ Šiuolaikiniai astronominiai tyrimai yra **visabangiai**: astronominiai objektai tiriami visuose elektromagnetinio spektro diapazonuose.

1

2

3

4

5