



2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“

Projekto sutarties numeris: ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261

Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalaurų rengimui**

FIZ 413 APLINKOS FIZIKA

Laboratorinis darbas

**GLOBALINIO KLIMATO MODELIAVIMAS SISTEMOJE ŽEMĖ –
ATMOSFERA**

1. Darbo tikslas:

Ištirti žemės globalinio klimato priklausomybę nuo planetos fizikinių spinduliavimo parametrų.

2. Darbo užduotys:

Atlikti reikia 2.1, 2.2 užduotis ir vieną iš 2.(3-6) užduočių.

2.1. Susipažinti su dviejų dalių žemės paviršius-atmosfera modeliu bei fizikiniais parametrais, kurie apsprendžia planetos šiluminį balansą.

2.2a). Apskaičiuoti Žemės vidutinę temperatūrą $T_{vž}$ ir atmosferos vidutinę temperatūrą normaliomis sąlygomis T_{va} ;

2.2b) nubraižyti $T_{vž}$ priklausomybę nuo atmosferos atspindžio koeficiento ilgabangei spinduliuotei a_a ;

2.3 nubraižyti T_{vz} ir T_{va} priklausomybes nuo atmosferos atspindžio koeficiento ilgabangei spinduliutei a_a ir Žemės albedo a_s **Baltosios Žemės** modelyje.

2.4 nubraižyti T_{vz} ir T_{va} priklausomybes nuo atmosferos atspindžio koeficiento ilgabangei spinduliutei a_a ir atmosferos pralaidumo t_a ir t_a **branduolinės žiemos** modelyje.

2.5 nubraižyti T_{vz} ir T_{va} priklausomybes nuo atmosferos atspindžio koeficiento ilgabangei spinduliutei a_a ir Žemės albedo a_s **Saulės kolektoriaus** modelyje.

2.6 nubraižyti T_{vz} ir T_{va} priklausomybes nuo atmosferos atspindžio koeficiento ilgabangei spinduliutei a_a ir Žemės albedo a_s **Šaltosios Saulės** modelyje.

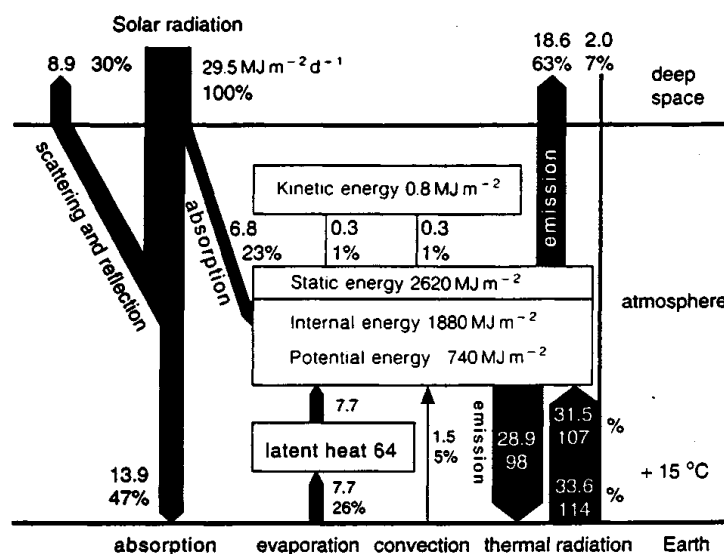
3. Bendroji teorija

Žemės šiluminio balanso lygtys.

Atmosferos ir klimato mokslai šiluminio balanso nagrinėjimui yra sukūrę daugybę modelių. Vienas tokių modelių pavaizduotas 1 paveiksle. Daugelis šiame paveiksle pateiktų dydžių yra apytiksliai, todėl juos vertėtų vertinti tik kokybiškai.

Iš saulės atėjusią spinduliuotę dalinai absorbuoja atmosfera, dalis energijos atspindima atgal į kosminę erdvę. Likusi dalis pasiekę planetos paviršius, kur taip pat sugerama arba atspindima. Žemės paviršiaus albedo a_s (surface) yra 0,11. Žemės albedo lygus 0,34 – tai visos planetos atspindėtas energijos kiekis į kosmosą. Paviršinis albedo stipriai kinta priklausomai nuo augalijos kiekio ir tipo ar žmogaus ūkinės veiklos pasekmių. 1 lentelėje pateikta keletas šio koeficiento kitimo variantų. Iš šių duomenų matyti, kad sudėtinga nustatyti kokią nors vidutinę vertę visam planetos paviršiui.

Kairėje 1 paveikslo pateikta energijos cirkuliacija ilgųjų bangų srityje: atmosferos emisija į virš ir link planetos paviršiaus, žemės paviršiaus spinduliavimas, kurio didesnę dalį absorbuoja atmosfera, bei energijos pernešimą tarp paviršiaus ir atmosferos, kuriuos sukelia garavimas ir konvekcija. Apytikriai cirkuliuojančios energijos dydžiai yra pateikiami. Įdomu pastebėti, kad tik 0,03 dalis į žemę krintančios saulės energijos virsta kinetine

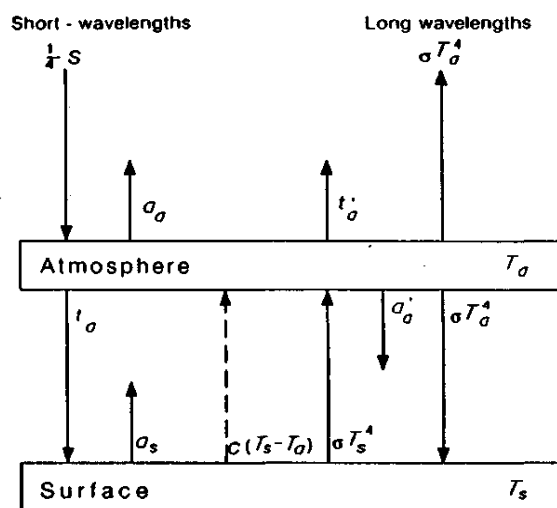


1 pav. Globalinis saulės spinduliuotės energijos (100 %) balansas tarp žemės paviršiaus ir atmosferos. Energijos nurodytos ir absoliutiniais vienetais (per 1 dieną), ir saulės energijos dalimis (%).

1 lentelė. Įvairių paviršių albedo regimai šviesai

Paviršiai	~%	Debesys	%	Planetos	%
Vanduo	5	Cumulus	70-	Žemė	34
Sniegas	85	Stratus	90	Mėnulis	6
Smėlis	30	Altostratus	60-	Marsas	16
Pieva	15	Cirrostratus	85	Venera	76
Lapuočiai	15		40-	Jupiteris	73
Spygliuočiai	10		60		
Javai	10		40-		
Dirva	10		50		
Drėgna žemė	20				

Norint suprasti kiekybiškai energijos cirkuliacijos ypatumus, 1 paveikslo schemą reik dar prastinti. 2 paveiksle pateikta supaprastinta schema kartu su procesus aprašančiais koeficientais: atmosferinis albedo a_a , paviršinis albedo a_s , atmosferos pralaidumo koeficientas t . Ilgų bangų diapazone žemės albedo paprastai laikomas lygus nuliui – šiame bangų ilgių diapazone Žemė spinduliuoja kaip juodas kūnas.



2 pav. Energijos balansu pagrįstas nulinis šiltnamio modelis nesudėtingam kompiuteriniam modeliavimui. Kairėje pusėje trumpųjų bangų srityje pateikta krintanti saulės spinduliuotė, kurios absoliutinė vertė $S/4$; žemės išspinduliuojama IR spinduliuotė pateikta dešinėje. Simboliai a ir t reiškia atitinkamai atspindėtos arba praleistos spinduliuotės dalis.

Atmosferos pralaidumas IR diapazonui pažymėtas t'_a . Kadangi atmosferos emisija aukštyje ir žemyn yra skirtinga, tai patogiau įvesti dar vieną koeficientą a'_a , kuris reiškia link žemės paviršiaus atsispindėjusios spinduliuotės atmosferinį albedo. Energijos mainai tarp atmosferos ir planetos išreikšti tiesine priklausomybe nuo temperatūros skirtumo. Juodojo kūno spinduliuotė aprašyti panaudotas Stefano-Bolcmano dėsnis σT^4 . Saulės konstanta S dalinama iš keturių, nes spinduliuotė patenka į diską, kurio paviršius πR^2 , o pasiskirsto ta energija paviršiuje $4\pi R^2$.

2 lentelė. Nulinio energijos balanso modelio parametrai.

Trumposios bangos	Ilgosios bangos
-------------------	-----------------

(regimasis)	(IR)
$a_s = 0.11$	
$t_a = 0.53$	$t'_a = 0.06$
$a_a = 0.30$	$a'_a = 0.31$
$c = 2.5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$	

Šiluminės pusiausvyros sąlygomis žemės paviršiui balanso lygtis yra tokia:

$$(-t_a)(1 - a_s) S/4 + c(T_s - T_a) + \sigma T_s^4(1 - a'_s) - \sigma T_a^4 = 0 \quad (1)$$

Pirmasis lygties narys apsprendžia absorbciją, antrasis bespindulinę sąveiką tarp žemės paviršiaus ir atmosferos, trečiasis įskaito išspinduliuotą energiją atmetus atgal atsispindėjusią dalį, o ketvirtasis rodo atmosferos šiluminį spinduliavimą. Prarasta energija pasirinkta > 0 .

Atmosfera lygtis panaši:

$$-(1 - a_a - t_a + a_s t_a) S/4 - c(T_s - T_a) - \sigma T_s^4(1 - t'_a - a'_a) + 2\sigma T_a^4 = 0 \quad (2)$$

Pirmasis narys žymi saulės energijos absorbciją, antrasis bespindulinę sąveiką, trečiasis žemės spinduliavimo sugertį atmosferoje ir paskutinis atmosferos emisiją. Parametrai a_s ir t_s yra tik derinyje $t_s(1 - a_s)$. Norint susieti 1 paveiksle pateiktas vertes, svarbiausių koeficientų vertės turi būti tokios kaip pateikta 2 lentelėje.

3. Tyrimo metodika

Reikalingas temperatūras apskaičiuoti analitiškai apskaičiuoti sudėtinga dėl to, kad jos neišsireiškia iš balanso lygčių. Dėl to reikia naudoti skaitinius metodus. Vienas paprasčiausių būdų – pasinaudoti automatizuotais lygčių sprendimo būdais, pavyzdžiui, paketu Mathematica.

Žemės balanso lygtyje yra iš esmės tik du nežinomieji: ieškomoji Žemės paklotinio paviršiaus temperatūra T_s ir atmosferos temperatūra T_a . Šios temperatūros yra tarpusavyje susiję, jų sąryšį galima gauti sudėjus abi balanso lygtis. Gaunam tokią išraišką:

$$T_a = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} \left(\frac{S}{4}(1 - a_a) - \sigma T_s^4 t'_a \right)} \quad (3)$$

Įstatę gautą rezultatą į Žemės balanso lygtį gautume ieškomą rezultatą. Formulėse pateiktų dydžių prasmė tokia: $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$, Saulės konstanta $S = 1353 \text{ Wm}^{-2}$. Šiluminę sąveiką tarp Žemės paviršiaus ir atmosferos aprašo narys $c \times (T_s - T_a)$. Sąveika proporcinga temperatūrų skirtumui, šis dydis priklauso nuo kinetinės energijos mainų, t.y. oro masių trinties į paviršių, kuri ypač pasireiškia sąveikaujant su okeanų paviršiumi. Kita sąveikos dedamoji yra vandens ciklas: ties planetos paviršiumi vanduo garuoja ir kyla aukštyn. Garavimui sunaudota šiluma išlaisvinama aukštai atmosferoje, nes kildami aukštyn vandens garai aušta ir kondensuojasi. Konstantos c vertę galima nustatyti empirikai; ji lygi apie $c = 2,7 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Kitų parametų vertės taip pat nustatytos empirikai ir yra pateikiamos literatūroje. Atliekant tyrimą reikia remtis tokiomis galimomis koeficientų vertėmis::

a_a – atmosferos atspindžio koeficientas saulės spinduliutei, t.y. atmosferos albedo, jo kitimo ribos 0 – 0,66;

t_a – atmosferos pralaidumo koeficientas saulės spinduliutei, 0 – 0,81;

a_s – Žemės paviršiaus atspindžio koeficientas (albedo), 0 – 0,93;

a_a' – atmosferos atspindžio koeficientas ilgabangei (t.y. Žemės IR spinduliutei), 0 – 1;

a_t' – atmosferos pralaidumo koeficientas ilgabangei (t.y. Žemės IR spinduliutei), 0 – 0,68.

Žemiau pateikiama paruošto Mathematica sąsiuvinio ištrauka, kurioje atlikti pradiniai skaičiavimai.

balanso lygtys 2__nb

1

$$c = 2.7; S = 1370; \sigma = 5.67 * 10^{-8};$$

Nustatom koeficientų vertes:

$$a_a = 0.3; t_a = 0.53; a_s = 0.11; a_a' = 0.31; t_a' = 0.06;$$

$$T_a = \sqrt[4]{\frac{1}{\sigma} \left(\frac{S}{4} (1 - a_a) - \sigma * T_s^4 * t_a' \right)}$$

Apibrėžiam funkcijas:

$$f1[T_s_] := (-t_a) * (1 - a_s) * \frac{S}{4} + c * (T_s - T_a) + \sigma * T_s^4 * (1 - a_a') - \sigma * T_a^4$$

$$f2[T_a_] :=$$

$$-(1 - a_a - t_a + a_s * t_a) * \frac{S}{4} - c * (T_s - T_a) - \sigma * T_s^4 * (1 - t_a' - a_a') + 2 * \sigma * T_a^4$$

Sprendžiam Žemės paviršiaus balanso lygtį T_s atžvilgiu

$$\text{NSolve} \left[\left\{ \begin{aligned} &(-t_a) * (1 - a_s) * \frac{S}{4} + c * (T_s - T_a) + \sigma * T_s^4 * (1 - a_a') - \sigma * T_a^4 == 0, \\ &-(1 - a_a - t_a + a_s * t_a) * \frac{S}{4} - c * (T_s - T_a) - \sigma * T_s^4 * (1 - t_a' - a_a') + 2 * \sigma * T_a^4 == 0 \end{aligned} \right\} \right]$$

Normaliomis sąlygomis gauname:

$$S = 1370; a_a = 0.3; tt_a = 0.53; a_s = 0.11; a_a' = 0.31; tt_a' = 0.06;$$
$$\text{FindRoot}\left[\left\{\left(-tt_a\right) * \left(1 - a_s\right) * \frac{S}{4} + c * \left(T_s - T_a\right) + \sigma * T_s^4 * \left(1 - a_a'\right) - \sigma * T_a^4 = 0,\right.\right.$$
$$\left.\left.- \left(1 - a_a - tt_a + a_s * tt_a\right) * \frac{S}{4} - c * \left(T_s - T_a\right) - \sigma * T_s^4 * \left(1 - tt_a' - a_a'\right) + 2 * \sigma * T_a^4 = 0\right\}, \left\{T_a, 100\right\}, \left\{T_s, 100\right\}\right]$$
$$\left\{T_a \rightarrow 248.508, T_s \rightarrow 288.313\right\}$$

2) Baltosios Žemės modelio atveju gauname:

Pateikite fizikinius

Parinkite parametrus Baltosios Žemės modeliui Kokie turi būti

$S = 1370; a_a = 0.3; tt_a = 0.53; a_s = 0.75; a_a' = 0.31; tt_a' = 0.06;$

Klimato modelių pavyzdžiai.

Žemiau pateikti svarbiausios klimato variacijos, kurios vyktų keičiantis nurodytiems dydžiams. Tačiau tai tik kokybinis modelis, nes realūs procesai yra susiję su kitais į modelių neįtrauktais procesais daugeliu ryšių, todėl rezultatų nereiktų sureikšminti.

1. *Baltosios žemės modelis.* Tarkime, kad žemės paviršius visas užklotas sniegu (sausuma) arba ledu (okeanai). Bendras albedo yra didelis, sakykime $a_s = 0,75$. Pagal pateiktą modelį galima gauti, kad paviršiaus temperatūra lygi 270 K, t.t., žemesnė nei vandens užšalimo taškas. Tai reiškia, kad baltoji žemė yra stabilus energijos balanso lygčių sprendinys. Bent jau šiuo metu tai yra nerealus atvejis ir tikriausiai nelabai įsivaizduojamas.

2. *Branduolinės žiemos modelis.* Branduolinio karo klimatinės pasekmės jau daug metų analizuotos. Pagrindinis tokio karo scenarijus yra toks: susprogus keletui šimtų galvučių didžiuosiuose planetos miestuose kiltų dideli gaisrai, kurie atmosferą pripildytų dūmais ir dulkėmis. Šios priemaišos uždarytų kelią saulės spinduliams link žemės paviršiaus. Dulkių ir dūmų sukeltus pokyčius galima atsižvelgti pakeičiant parametrų reikšmes apie 20 %: $a_a = 0,36$, $t_a = 0,43$, $t_a' = 0,05$ ir $a_a' = 0,37$. Atlikus skaičiavimus gautume, kad paviršiaus temperatūra lygi 283 K, t.y. planetos temperatūra sumažėtų 5°C .

3. *Saulės kolektoriaus modelis.* Energetinis balansą sąlygoja daug natūralių ir dirbtinių priežasčių. Iš 3,1 lentelės matyti, kad tokie procesai kaip dykumų susidarymas, žalių lygumų plotų nykimas ar miškų kirtimas, vandenyno užimamo ploto kitimas keičia albedo. Jeigu pavyktų trečdalį sausumos padengti su augalais ar prietaisais, kurie pasižymėtų gera absorbcine geba (juodais saulės kolektoriais), tai paviršinis albedo a_s pasikeistų nuo 0,11 iki 0,10. Tai pakeistų vidutinę paviršiaus temperatūrą vos nuo 288,1 K iki 288,3 K.

4. *Šaltosios saulės modelis.* Pagal dabar nusistovėjusį žvaigždžių evoliucijos modelį Saulės konstanta ankstyvosiose stadijose buvo mažesnė negu dabar: prieš 2 milijardus metų apie 0,85 dabartinio kiekio, o prieš 4 milijardus metų 0,75 dabartinio kiekio. Taikant aprašytą modelį gautume, kad planetos paviršiaus temperatūra būtų 274,8 K ir 261,9 K atitinkamai. Kaip žinoma,

jau tuo metu egzistavo Žemėje gyvybė, kuriai reikėjo temperatūrą, didesnę už vandens šalimo tašką. Dėl to manoma, kad atmosfera ir gyvybė pati reguliuoja temperatūrą ‘šiltnamyje’: šiuo atveju šiltnaminių dujų koncentracija turėjo būti didesnė. Bėgant laikui saulės konstanta didėjo, todėl suaktyvėjo procesai, kurie surišo dalį šiltnaminių dujų. Padidėjus temperatūrai, suklestėjo augalija, įsisavino didelį kiekį CO₂ dujų, kurios nusėdo organinių junginių pavidalu žemėje. Sumažėjus CO₂ koncentracijai, atmosferos pralaidumas IR emisijai, atmosfera daugiau spinduliuotės išleidžia į kosmosą, ir planeta aušta.

5. Tyrimo eiga

1. Pasižymėti laboratorinių darbų žurnale, kokia kreivės reikia gauti tyrimų metu. Tada pasižymėkite parametrų vertes, kuriems esant suskaičiuosite T_a ir T_s .

2. Naudodami gautas temperatūrų vertes nubraižykite diagramas. Diagramoms nubraižyti geriausia naudoti Origin paketą. Diagramose pažymėkite parametrus, kurie atitinka dabartines sąlygas, ir apskaičiuotas

3. Darbo ataskaitai paruošti galima naudoti MS Word arba OpenOffice programinę įrangą. Ataskaitoje pateikite reikalingas diagramas.

4. Gautus rezultatus trumpai pakomentuokite – paaiškinti priežastis, lemiančias klimatinės sąlygas viename ar kitame modelyje.

5. Aprašykite, kokios priežastys gali lemti balanso modelio koeficientų vertes pasirinktame modelyje.

6. Kontroliniai klausimai

1. Balanso modelio lygtys. Mokėkite paaiškinti koeficientų prasmes, nurodykite dydžius, atitinkančius energijos srautus į ir iš žemės paviršiaus ir atmosferos.

2. paaiškinkite balanso modelio koeficientų vertes pasirinktame modelyje, jas susiekite su reiškiniais, vykstančiais atmosferoje.

7. Literatūra

1. A. Kanapickas. Aplinkos fizika. Paskaitų konspektas

2. E. Boeker, R. van Grodelle. Environmental physics, John Willey & Sons, 1999.

3. Origin Lab corporation, documentation center,

<http://www.originlab.com/index.aspx?s=12 &lm=66>.

4. A. Dargys, A. Acus. Fizika su kompiuteriu (Physics by computer - using Mathematica). V.: 2003, 418 p.