

Kaip Žemės atmosfera mus šildo?

Darius Valiulis



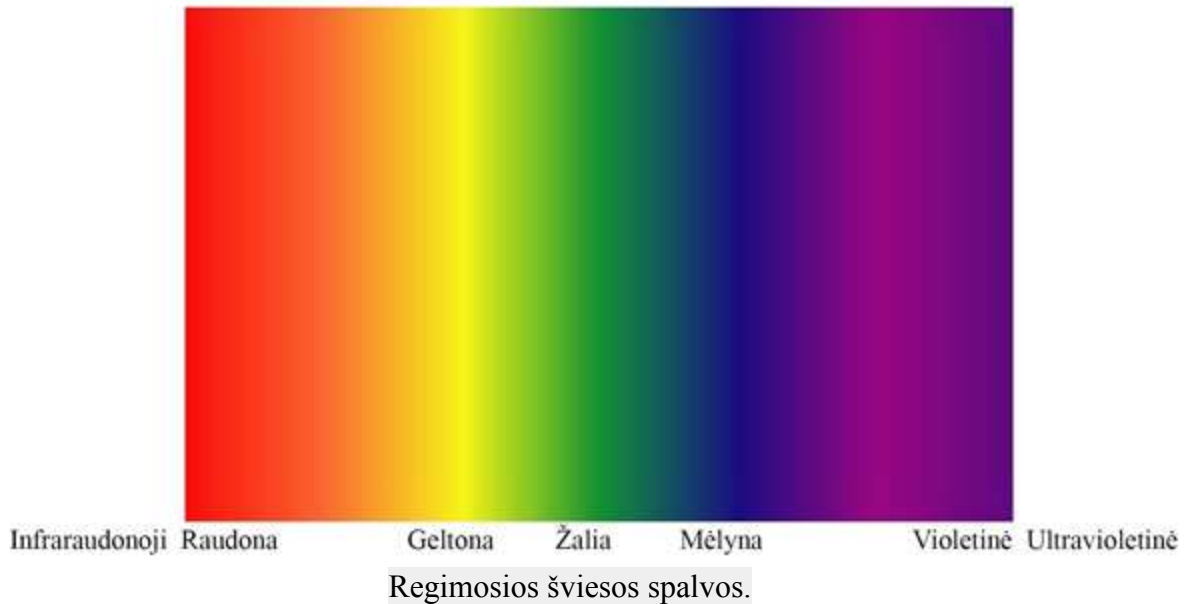
Laurnos Kriščiūnaitės nuotrauka 2009 m.

Turbūt daugelis saulėtą vasaros dieną esame buvę šiltnamyje ir savo kailiu pajutę, kad oras ten daug šiltesnis negu išorėje. Tas, kuriam teko įsmukti į šiltnamį sutemus, mėnesienoje, be abejo, pajuto jaukią šilumą ir prarado norą bristi atgal į šaltą rasą. Tačiau paklaustas, iš kur ta šiluma, turbūt ne kiekvienas galėtų iš karto atsakyti. O jei dar sužinotų, kad įvykiai senelio šiltnamyje labai panašūs į tuos, dėl kurių visoje planetoje tirpsta kalnų ir ašigalių ledynai, kyla vandenyno lygis, daugėja viesulų, sausros ir potvyniai darosi vis stipresni, turbūt tik pasijuoktų. Ir nenuostabu, nes šie reiškiniai ne taip paprastai paaiškinami. Norėdami juos suprasti, pradėkime viską nagrinėti iš eilės.

Turbūt visi sutiks, kad Saulės šviesa yra pagrindinė oro šiltnamyje įšilimo kaltininkė. Paklaustas, kokios spalvos yra vidurdienio Saulė, bet kas nemirktelėjęs atsakytų: geltona. Bet jei to paties paklaustume kosmonauto, jis taip pat nė nemirktelėjęs atsakytų: mėlyna. Toks teiginių skirtumas atsiranda dėl atmosferoje esančių molekulių ir labai mažų dulkių (aerozolių) gebėjimo keisti šviesos sklaidimo kryptį. Kai šviesos spindulys pasiekia atmosferą, jis pradeda elgtis taip, lyg būtų sudarytas iš daugybės mažų įvairios spalvos dalelių, kurios atsitrenkusios į molekules arba dulkeles, pakeičia judėjimo kryptį.

Šviesos dalelės energija ir spalva. Šviesa elgiasi labai keistai: kartais kaip greitas biliardo kamuoliukas, o kartais kaip ežero paviršiumi sklindančios bangos. Nuo „ratilų“ tankumo, t. y. nuo bangos ilgio λ priklauso šviesos spalva: jei „ratilai“ reti – matysime raudoną spalvą, o „ratilams“ tankėjant spalva keisis – geltonuos, taps žalia, vėliau mėlyna ir galiausiai violetinė. Jei bangos ilgis bus dar trumpesnis, akis tokios šviesos nematys. Taip pat akis nematys ir šviesos, kurios bangos ilgis bus didesnis negu raudonos. Pirmuoju atveju šviesa vadinama ultravioletine, antruoju – infraraudonąja.

Kai šviesa pradeda elgtis taip, tarsi būtų sudaryta iš dalelių, ji pasižymi kita, ne mažiau keista savybe – tam tikros spalvos dalelė turi tam tikrą ir tik jai būdingą energiją. Kuo spalva arčiau mėlynos (bangos ilgis mažėja), tuo dalelė turi daugiau energijos [1].



Šviesos sklaida atmosferoje. Kuo daugiau energijos turi šviesos dalelė, tuo labiau ji panaši į vis didesnę ir sunkesnę „rutulį“. O kuo didesnis „rutulys“, tuo sunkiau jam bus prasibrauti pro orą sudarančias molekules ir dulkeles į jas neatsitrenkus.

Jei įdėmiai perskaitėte šiuos paaiškinimus, turbūt nesunkiai suprasite, kodėl skiriasi kosmonauto ir žemiečio matoma Saulės spalva: pirmasis mato tiesiogiai iš Saulės atsklidusią šviesą, antrasis – Žemės atmosferos paveiktą šviesą. Iš tiesioginių Saulės spindulių daugiausia prarandama mėlynos šviesos ir mažiausiai raudonos. Todėl stebėdami nuo Žemės paviršiaus matome Saulę geltoną (o su dangaus spalva viskas vyksta atvirkščiai). Iš bet kurios dangaus vietos mus pasiekia išsklaidyta Saulės šviesa ir, aišku, daugiausia yra tos spalvos, kurios buvo išsklaidyta daugiausia – mėlynos! O kai stebime saulėtekį arba saulėlydį, matome raudoną Saulę, nes kitos spalvos šviesos spinduliai dėl ilgo šviesos kelio atmosferoje (palyginti su vidurdienio Saule) paprasčiausiai nukreipiami nuo tiesaus kelio ir mūsų nepasiekia.

Šviesos sugertis atmosferoje. Šviesos dalelė, atsitrenkusi į molekulę arba dulkelę, gali ne tik kaip biliardo kamuoliukas pakeisti kryptį, bet ir būti „pagauta“, t. y. sugerta. Toks šviesos dalelių gaudymas pasižymi dviem svarbiomis savybėmis:

- dalis šviesos dalelių vėl „paleidžiamos“ atgal, tik jau ne ta pačia kryptimi, kuria judėjo, bet po susidūrimo gali sklisti bet kuria kryptimi. Todėl po sugerties dalis šviesos dalelių toliau judės Žemės paviršiaus link, tačiau atsiras ir dalelių, judančių atgal, kosmoso link.
- dalis šviesos dalelių bus pagautos negrįžtamai. Jų energija virs molekulių judėjimo energija, t. y. sušildys atmosferą.

Juodojo kūno spinduliuotė. Iš patirties žinome, kad saulėtą dieną juodos spalvos daiktai įšyla labiau negu baltos. Tai paaiškinama nesunkiai: juodos spalvos kūnai šviesą gerai sugeria, dėl to sparčiai šyla, baltos – daugiau atspindi, dėl to šyla lėčiau. Beje, paliktas saulėje juodos spalvos automobilis pradžioje šils, o vėliau jo temperatūra nusistovės. Kodėl? Juk Saulės spinduliuotė nuolat sugerama ir šildo automobilį, o energija niekur dingti negali, taigi paviršiaus temperatūra turėtų vis didėti... Nekintanti temperatūra rodo, kad kiek energijos sugerama, tiek jos ir prarandama (t. y. kažkokiu būdu energija palieka automobilį). Kadangi nematome, kaip ji prarandama, negalime suprasti, kur ji dingsta. Šiai mįslei įminti reikia pasitelkti ne akis, bet šilumos pojūtį. Jei prie tokio paviršiaus priartinsime delną, pajusime, kad paviršius spinduliuoja šilumą – spinduliuotę, kurios bangos ilgis didesnis už raudonos spalvos šviesos, dėl to jos ir nematome. Tokia spinduliuotė vadinama infraraudonąja, arba *šilumine*. Juodas paviršius, kurio temperatūra nusistovėjusi, išspinduliuoja tiek energijos ilgabangių infraraudonųjų spindulių pavidalu, kiek sugeria krintančios spinduliuotės energijos. Tokį daiktą, kuris sugertų visą į jį krintančią spinduliuotę, vargu ar surasite, tačiau fizikai nusprendė įsivaizduoti, kad toks daiktas yra ir pavadino jį juodoju kūnu. Toks objektas yra svarbus ne dėl niūroko jo pavadinimo, bet dėl įdomių ir svarbių jo skleidžiamos spinduliuotės savybių.

- Pirma, tokio kūno skleidžiamos spinduliuotės spalva nepriklauso nuo medžiagos, iš kurios jis pagamintas, o priklauso tik nuo jo temperatūros.
- Antra, žinodami jo temperatūrą, galime apskaičiuoti, kiek energijos per sekundę skleidžia 1 m² jo paviršiaus. Ir atvirkščiai, jei dėl tam tikrų aplinkybių negalime tiesiogiai išmatuoti mus dominančio paviršiaus (pvz., Saulės) temperatūros, bet galime nustatyti paviršiaus skleidžiamą energijos kiekį, nesunkiai rasime ir jo temperatūrą. Tam, kas nebijo matematikos, viską, kas anksčiau pasakyta, galima užrašyti labai paprastai ir trumpai:

$F = \sigma \times T^4$; čia F – iš 1 m² juodojo kūno paviršiaus spinduliuojamos energijos srautas džauliais (J) per 1 sekundę (J·m⁻²·s⁻¹), T – juodojo kūno paviršiaus temperatūra kelvinais (K), Stefano ir Bolcmano (Boltzmann) konstanta $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-4}$ [1].

- Trečia, yra patogus būdas nustatyti juodojo kūno temperatūrą jo nepalietus – reikia nustatyti bangos ilgį λ_{max} , atitinkantį didžiausią spinduliuojamą energiją: $\lambda_{\text{max}} = b/T$; čia b – Vyno (Wien) poslinkio konstanta lygi 2,9 mm·K [1].

Akivaizdu, kad kuo karštesnis kūnas, tuo mažesnis λ_{max} . Kasdieniame gyvenime tai atrodo taip: kalviui į ugnį įmetus geležies gabalą pradžioje jis paraudonuoja, o dar labiau įkaitęs įgauna melsvą atspalvį.

Ir Žemės, ir Saulės paviršius spinduliuoja labai panašiai kaip juodasis kūnas. Taigi Žemės paviršiui, Žemės paviršiui kartu su atmosfera, Saulei galima taikyti juodojo kūno spinduliuotės dėsnius.

Šiltnamio reiškinys. Žemės atmosfera kartu su Žemės paviršiumi atgal į kosmosą atspindi apie 30 proc. tiesioginės Saulės spinduliuotės. Žemės paviršių dėl atmosferoje vykstančios šviesos sklaidos ir sugerties pasiekia tik apie 60 proc. Saulės energijos, kurios dalį paviršius dar atspindi. Taigi Žemė sugeria tik apie 50 proc. tiesioginės Saulės spinduliuotės, sušildančios jos paviršių, kuris pats kaip juodasis kūnas skleidžia ilgabangės infraraudonosios srities spindulius. Jei atmosfera „negaudytų“ šios spinduliuotės, t. y. būtų skaidri jai, visa Žemės spinduliuojama energija keliautų atgal į kosmosą, o Žemės paviršiaus temperatūrą lemtų tik minėti 50 proc. sugertos energijos – **būtų šalta!** Tačiau taip nėra. Žemės atmosferos dujos neskaidrios ilgabangei šiluminei spinduliuotei. Jos sugeria nemažą jos dalį, o sugėrusios spinduliuoja visomis kryptimis, tarp jų ir Žemės paviršiaus link. Todėl, be jau minėtų 50 proc. tiesioginės Saulės spinduliuotės, Žemės paviršių pasiekia papildomas energijos srautas. Didelė jo dalis paviršiuje sugeriama, dėl to didėja bendras Žemės paviršiuje sugertos energijos kiekis, o kartu (prisiminkite sąryšį) ir paviršiaus temperatūra [2]. **Paviršius šyla!**

Jei keisime atmosferos dujų sudėtį, pavyzdžiui, didinsime anglies dioksido kiekį, daugės ir atmosferos pagaunamos bei atgal paviršiaus link nukreipiamos ilgabangės spinduliuotės srautas. Jam didėjant paviršiaus temperatūra kils, kartu intensyvės tokie reiškiniai kaip ledynų tirpimas, stiprūs vėjai, sausros, liūtys ir pan. Manoma, kad papildoma šiluma atneš daugiau žalos negu naudos. O žala gali būti didelė – iškiltų grėsmė net kai kurių valstybių išlikimui. Dabar valstybės panašios į ūkininkus, prastai ūkininkaujančius kolektyviniame „šiltnamyje“, kuris vadinamas Žeme. Joms tikrai yra ko pasimokyti iš senelio, tvarkingai prižiūrinčio savo šiltnamį...

Literatūra

1. Hecht E., *Optics*, 4th edition, Boston: Addison Wesley, 2001.
2. Seinfeld J. H., Pandis S. N., *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 2nd edition, New York: Wiley-Interscience, 2006.

© Projektas *Mokinių jaunųjų tyrėjų atskleidimo ir ugdymo sistemos sukūrimas*