
GLOBALNO ZAGRIJAVANJE I KLIMATSKE PROMJENE

**stakleničko
zagrijavanje**

globalno zagrijavanje

izvori

**biogeokemijski
ciklusi**

faktori

mahanizmi

➤ Gotovo da nema osobe koja nije čula predviđanja da će “efekt staklenika” značajno djelovati na svjetsku klimu u budućnosti.

➤ Termini kao što su to “**stakleničko zagrijavanje**” i /ili “**globalno zagrijavanje**” u svakodnevnoj upotrebi jednostavno znači da se očekuje da će temperatura zraka u budućnosti porasti nekoliko stupnjeva kao rezultat povišenja koncentracije ugljikovog dioksida i drugih tzv. stakleničkih plinova u atmosferi.

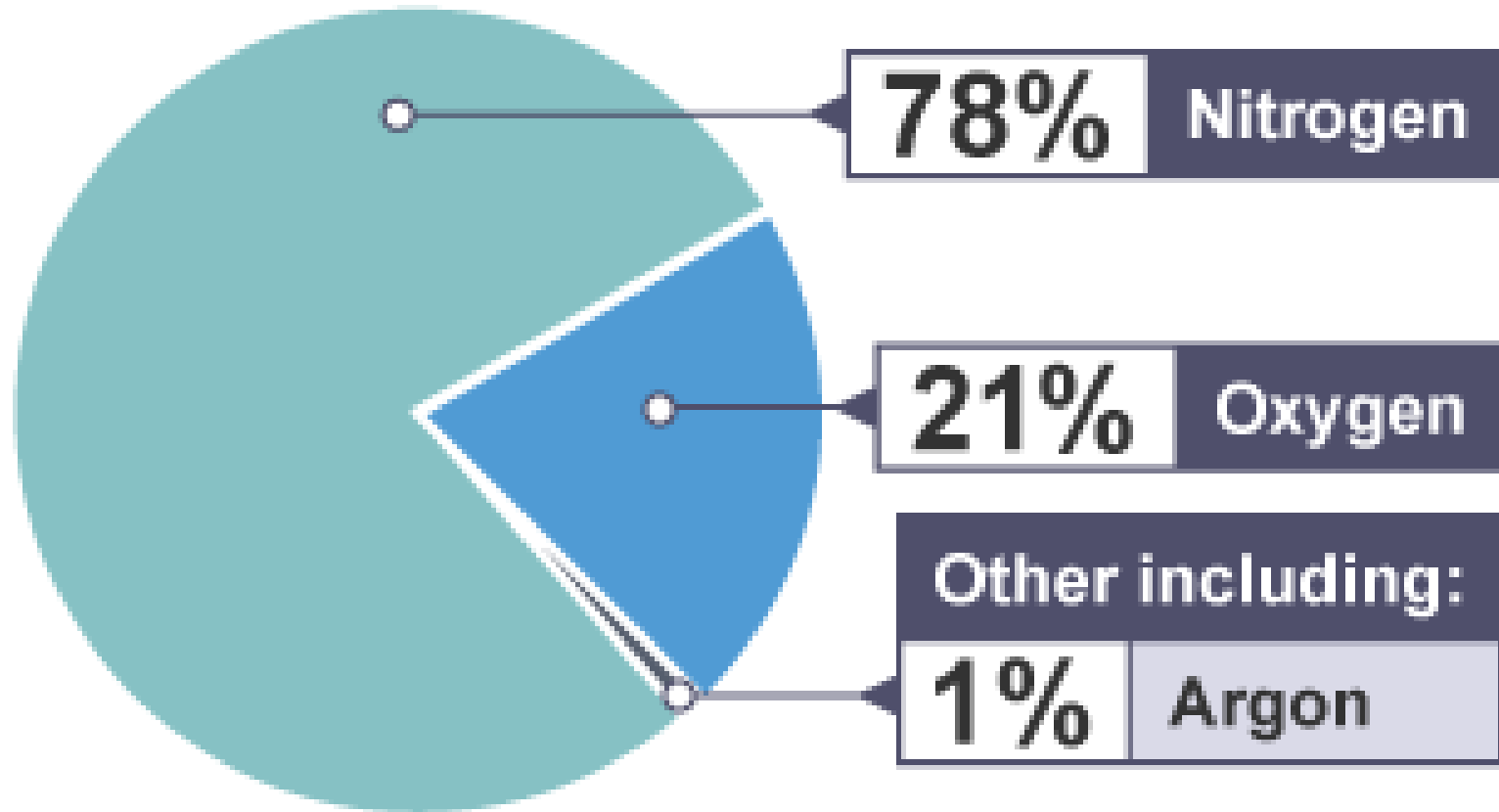
Štoviše većina atmosferskih kemičara smatra da je globalno zagrijavanje prisutno već više desetljeća pa i stoljeća i da je, negdje od 1860. zbog tog efekta temperatura zraka porasla za nekih 0,75 – 1 °C.

Stoga je važno razumjeti faktore koje dovode do povećanja temperature da bi se poduzeli potrebni koraci za sprečavanje eventualnih katastrofičnih situacija.

Potrebno je analizirati mehanizme kojima može doći do globalnog zagrijavanja ali i prirodu i izvorišta kemijskih tvari koje su odgovorne za efekte koje analiziramo.

KEMIJSKA EVOLUCIJA ZEMLJINE ATMOSFERE

- H_2O , CO_2 , N_2 i H_2 (ugljeviti/ugljični meteoriti)
- CH_4 , H_2 , N_2 i CO (hondriti, reduktivnija atmosfera)
- Nema slobodnog kisika



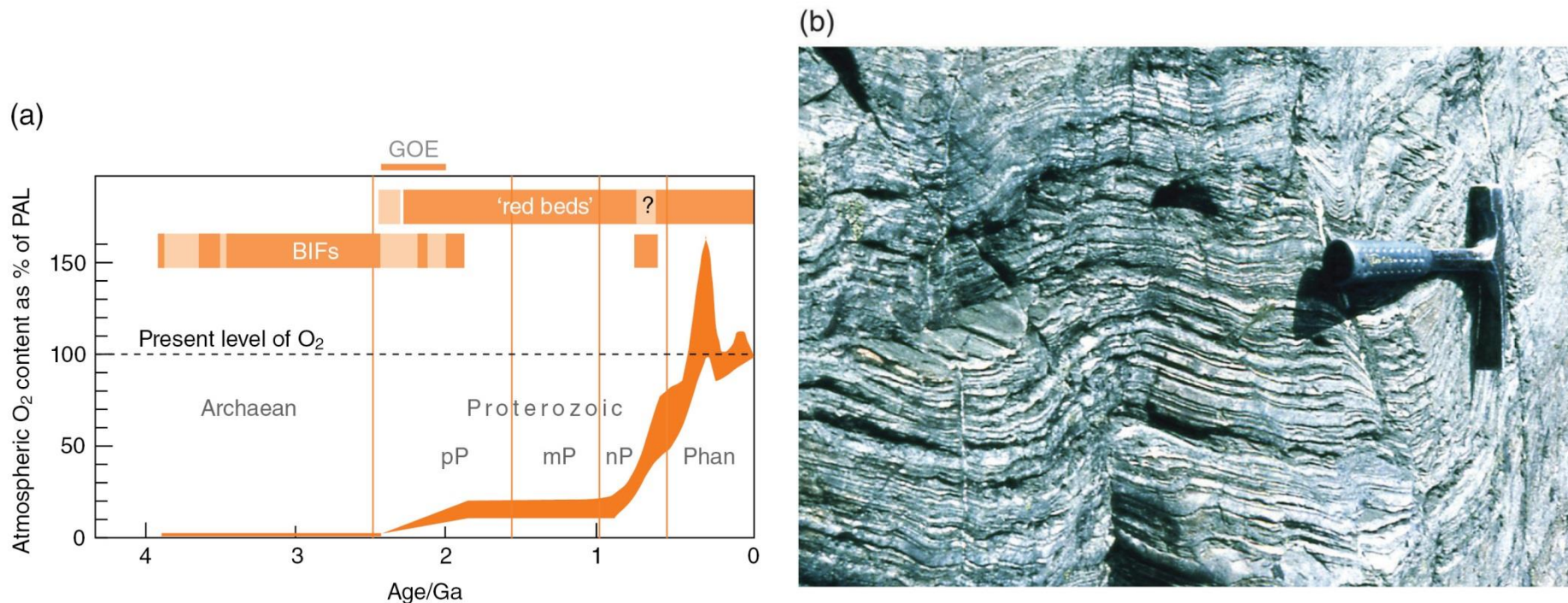


Figure 11.8 (a) Cartoon illustrating, from left to right, the stepwise evolution of atmospheric oxygen content from the Archaean to the present as envisaged by Holland (2006), expressed as volume % of the present atmospheric level (PAL); the thickness of the band reflects estimated uncertainty. The subdivisions of the Proterozoic eon are abbreviated as pP (Palaeoproterozoic), mP (Mesoproterozoic), nP (Neoproterozoic). Phan = Phanerozoic. 'GOE' shows the duration of the Great Oxidation Event referred to in Chapter 10 (Figure 10.13). The horizontal orange bars indicate the periods over which iron sedimentation was dominated respectively by banded iron formation (BIF) and by red beds; the darker BIF bars represent the main episodes of BIF deposition identified by Isley and Abbott (1999). The brief resumption of BIF deposition in the Neoproterozoic correlates with three 'Snowball Earth' episodes. (b) Field picture of early Archaean banded iron formation, Isua, West Greenland. (Sources: Own based (a) on Holland 2007; Reproduced with permission of GEUS).

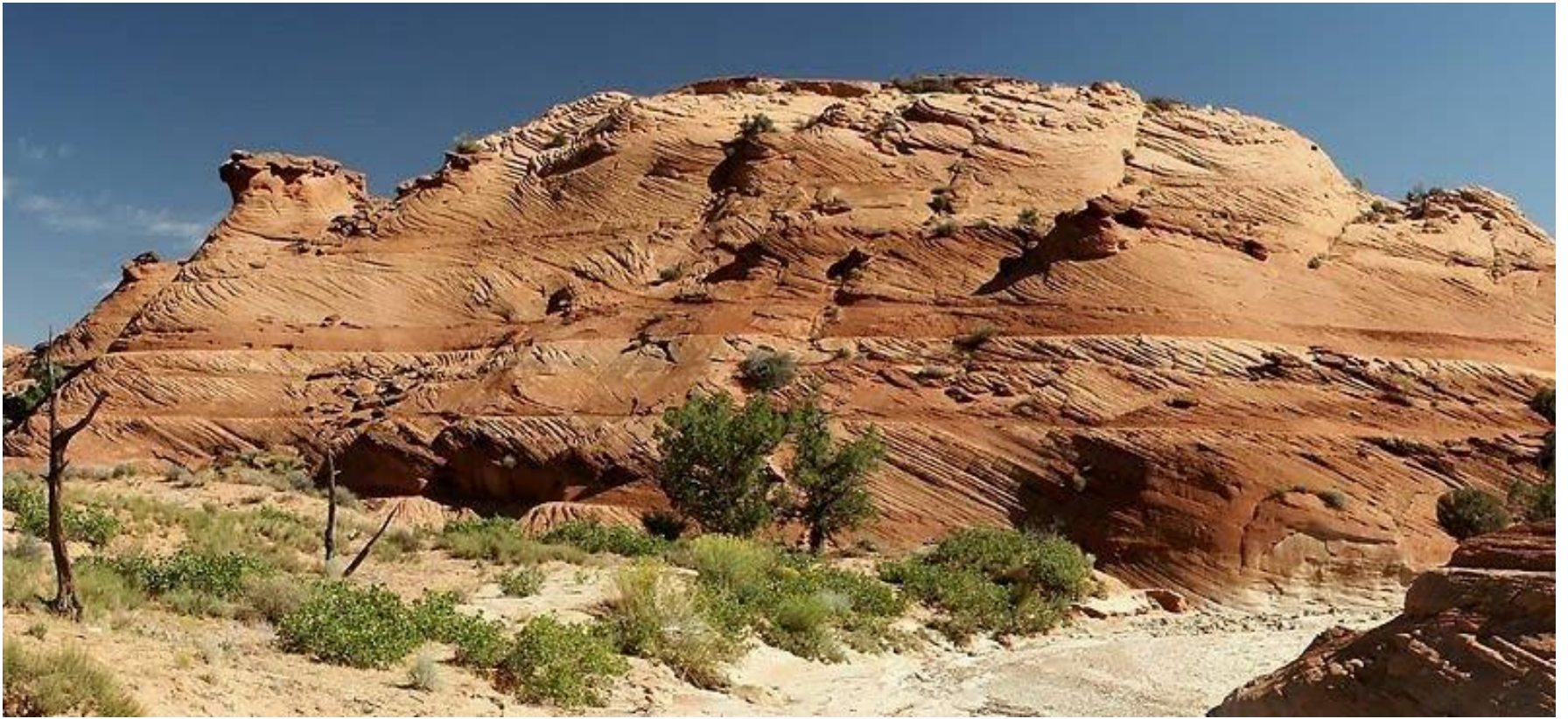


BIF formacije (banded iron Formation)



<https://ausearthed.com.au/wp-content/uploads/2020/11/Banded-Iron-Formations-Presentation-Notes.pdf>

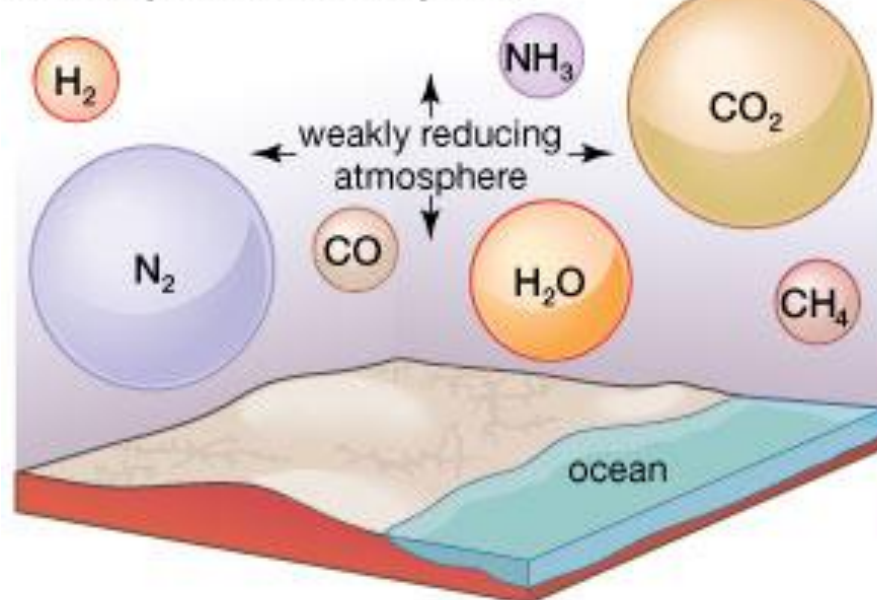
<http://www.luckysci.com/wp-content/uploads/2014/09/banded-iron-formation.gif>



„Red beds” – Utah, SAD

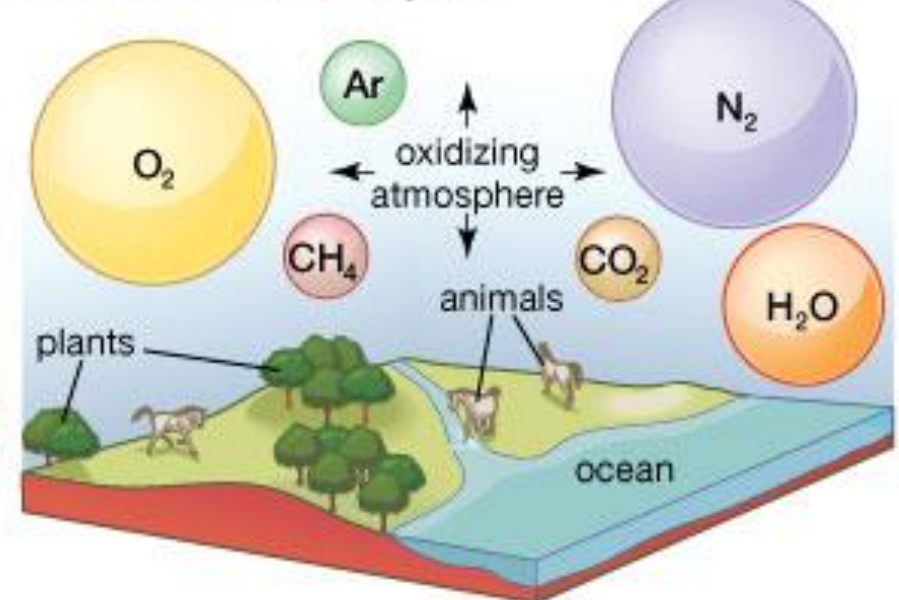
KEMIJSKA EVOLUCIJA ZEMLJINE ATMOSFERE

Earth's prebiotic atmosphere



© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

Earth's modern atmosphere



CARBON DIOXIDE



WATER

SUGAR

OXYGEN

WATER

CARBON DIOXIDE

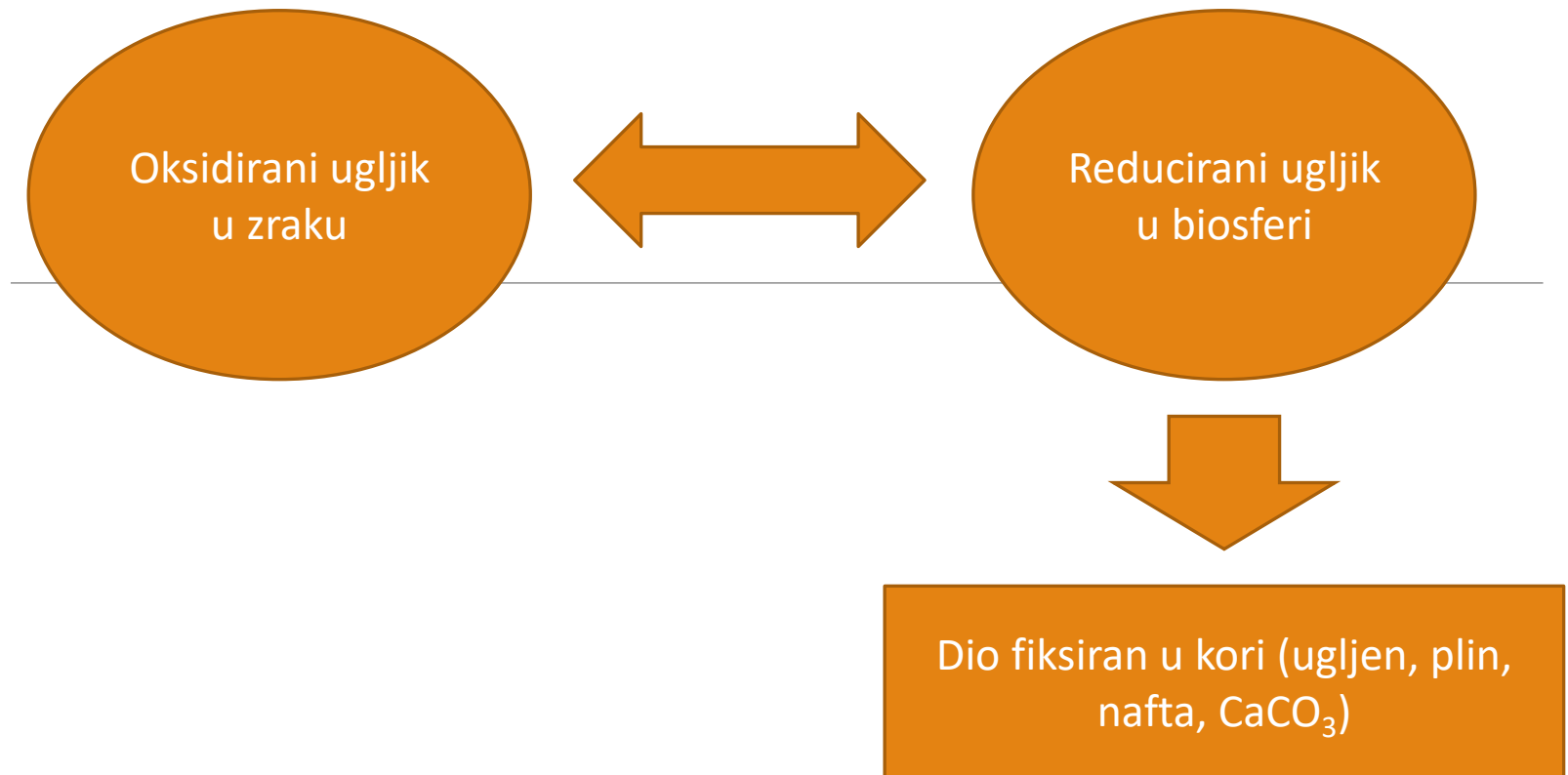


HYDROGEN SULFIDE

SUGAR

SULFUR

WATER



Zemlja vs. Venera (470°C)

CO_2 % 0,03% vs 96,5%

U ranoj atmosferi nema slobodnog kisika

Pri impaktu kojim je nastao mjesec, nestala je sekundarna (rana) atmosfera
(4522×10^6 godina) – došlo je do taljenja dijela plašta.

Dio je evaporirao – utjecalo na sastav atmosfere – i dalje nema kisika

Prelazak iz anoksične u oksičnu atmosferu povezuje se s pojavom života ($3,5 \times 10^9$ godina)

Bitna pojava vode ($3,5 \times 10^9$ godina)

Bitna idealna udaljenost od Sunca – moguće je imati vodu u tekućem obliku (Venera – sve ispari; Mars – led)

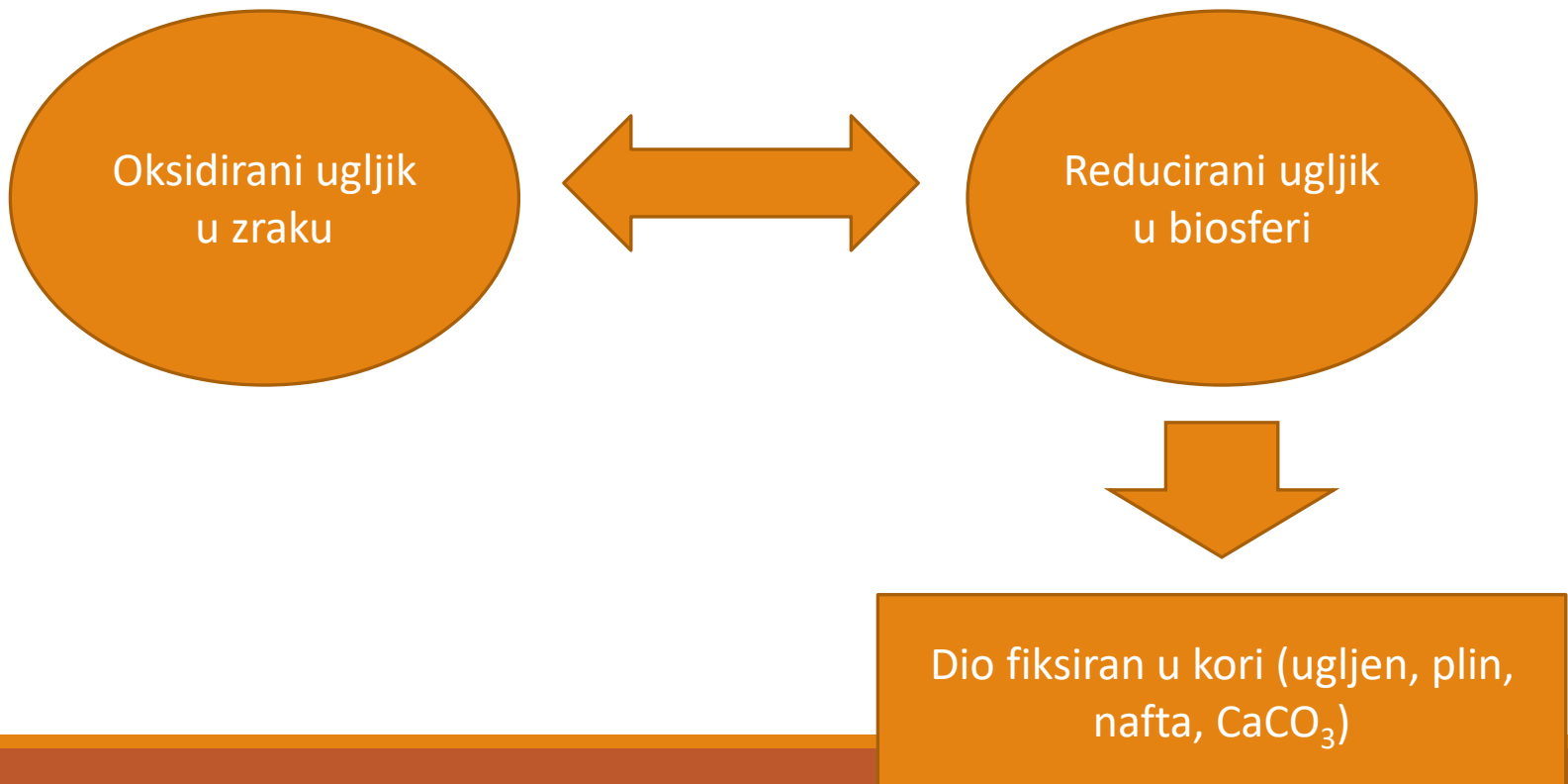
Prvi organizmi su živjeli u anoksičnom okolišu (+- cijanobakterije) – proizvode kisik kao nusproizvod fotosinteze

Nastali kisik nije odmah išao u atmosferu jer je, trošenjem, ocean bio bogat Fe^{2+} ionima (*oxygen sink*) – nastaju BIF formacije (banded iron Formation)

BIF – oksidacija u netopivi Fe^{3+} - svaki sloj predstavlja epizodu cvatnje bakterija
– porast kisika – oksidacija željeza u anoksičnom oceanu – to se provlači kroz
Arhaik

Kasnije se željezo pojavljuje kao hrđava prevlaka na zrnima u šejlovima ili
pješčenicima (red beds) – ukazuje da je do oksidacije došlo prije trošenja,
dakle na kopnu – ukazuje na kisik u atmosferi – 2,4-1,8 x10⁹ godina (GOE –
Great Oxidation Event)

Sav kisik na Zemlji rezultat je fotosintetskih organizama, trošeći pri tome CO_2 – pri tome se spušta koncentracija CO_2 atmosfere – smanjuje se temperatura



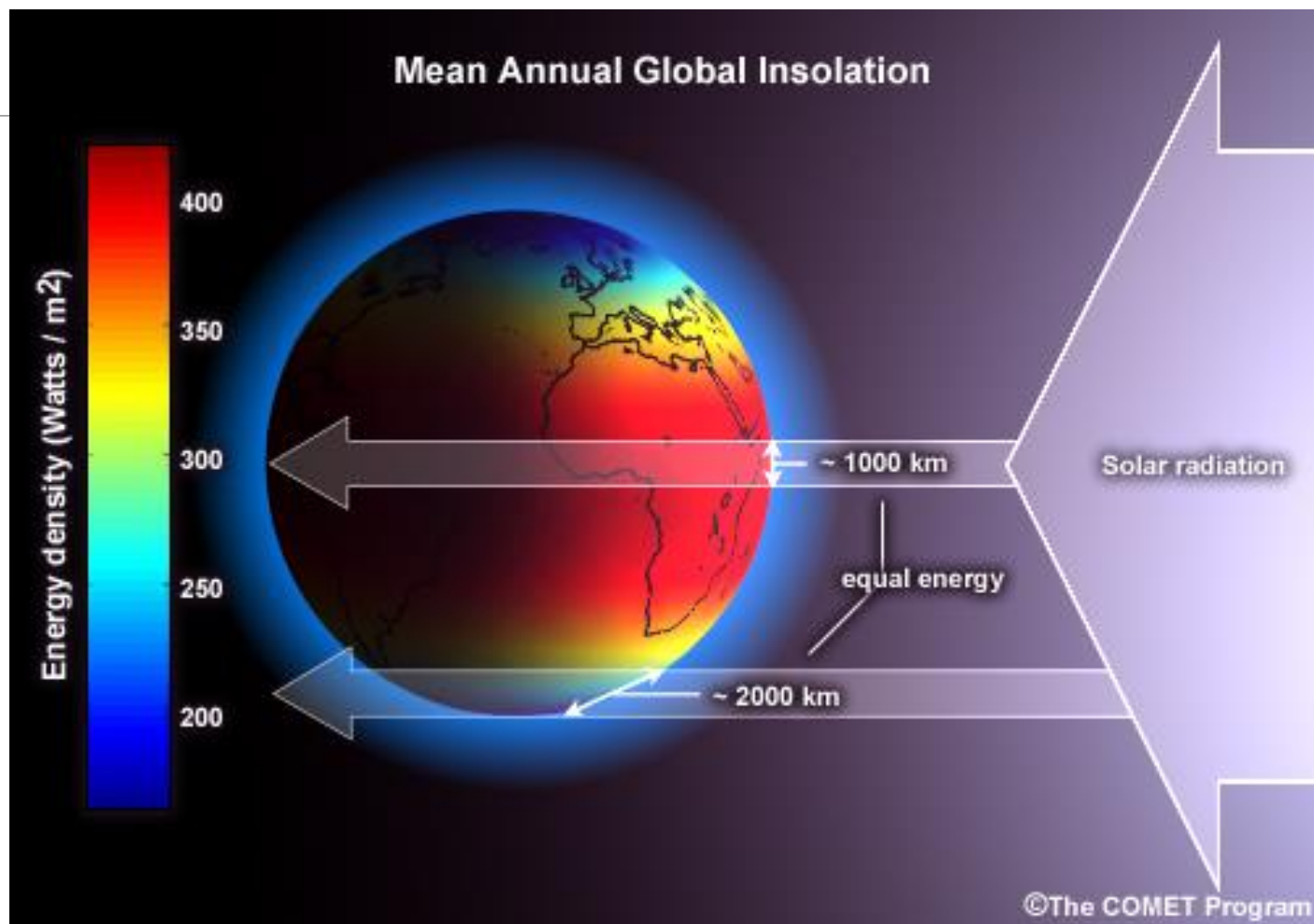
Zemljin energetska balans

Apsorbirana sunčeva svjetlost pokreće mnoge procese >

fotosinteza, evaporacija, topljenje snijega, grijanje Zemlje kao cjelovitog sustava...

Toplinski mehanizmi Zemlje → nepregrijavanje

Područje oko ekvatora se zagrijava više nego polovi



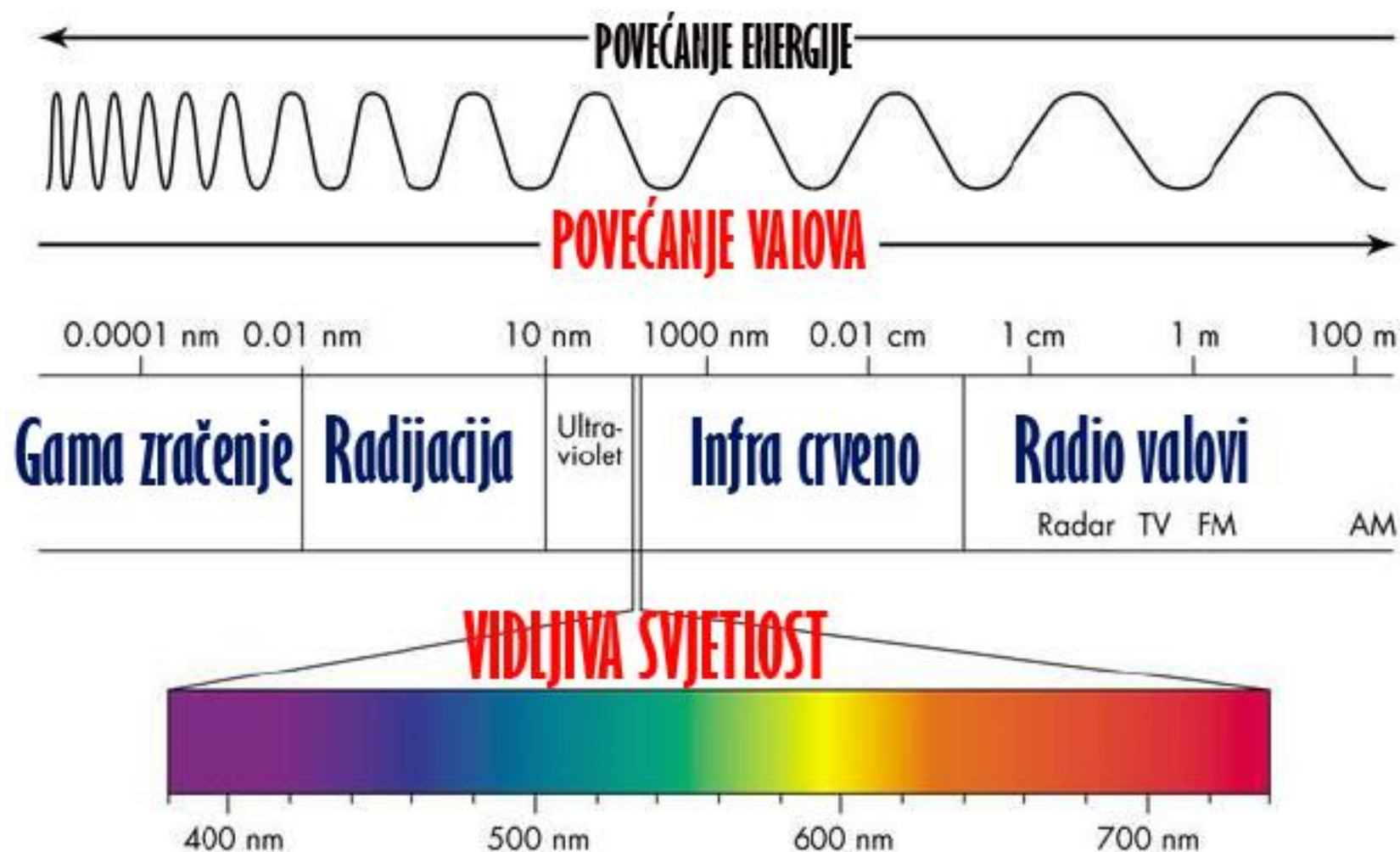
Procesi u atmosferi i oceanima izjednačavaju temperaturne razlike > evaporacija površinskih voda, kiša, vjetar, oceanska cirkulacija i konvekcija > ovi procesi se mogu promatrati kao toplinski mehanizam Zemlje > on također sudjeluje u “vraćanju” dijela topline natrag u Svemir

Bez tog mehanizma Zemlja bi se pregrijala uslijed stalog primitka E

Sva tijela, na bilo kojoj temperaturi, stalno emitiraju energiju u obliku elektromagnetskih valova - to je tzv. termičko (toplinsko) zračenje.

Na temperaturi T intenzitet elektromagnetskog zračenja koje emitira tijelo ovisi o valnoj dužini λ (vidljivi dio spektra, IC, ...).

Apsolutno (idealno) crno tijelo je absorber energije elektromagnetskih valova koju istovremeno i re-emitira nazad u prostor oko sebe.



Toplina Zemljine površine i atmosfera održava se energijom od Sunca.

Valna dužina λ_{pik} , u mikrometrima, koje emitira zračenjem tzv. “crno tijelo” određeno je temperaturom u stupnjevima Kelvina(T) prema jednadžbi:

$$\lambda_{\text{pik}} = 2897/T$$

(Crno tijelo u fizici je tijelo koje 100% apsorbira energiju i 100% je zrači)

Kako je na površini Sunca temperatura T oko 5800 K, tada jednadžba daje $\lambda_{\text{pik}} = 0,50 \mu\text{m}$, što je u vidljivom području spektra.

10^6	KILO	K	10^{-6}	MIKRO	MI
10^6	mega	M	10^{-6}	mikro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	piko	p

Stefan - Boltzmannov zakon

Ukupna energija zračenja koju apsolutno crno tijelo emitira u jednoj sekundi, ili ukupna snaga zračenja

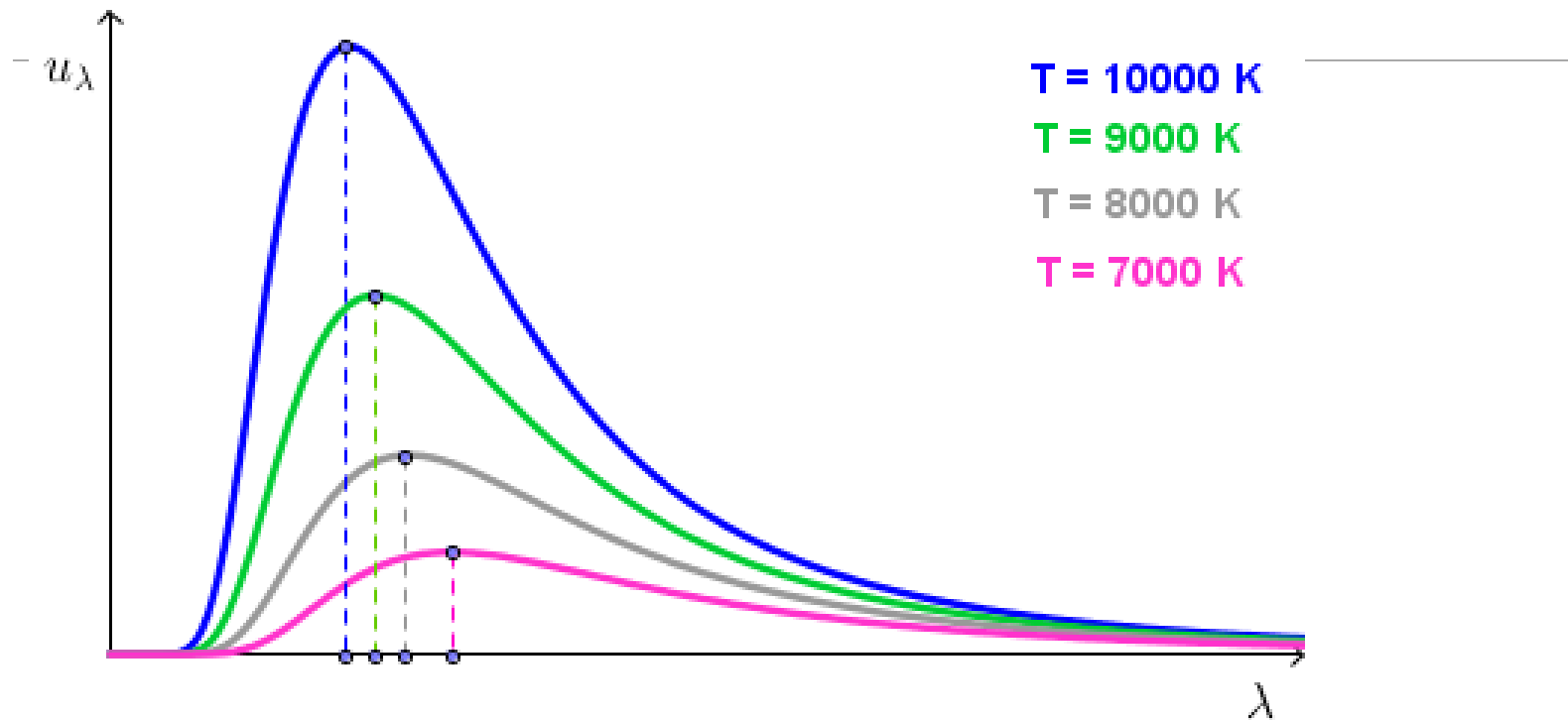
$$E = \sigma S T^4$$

Pri čemu je je **S** površina crnoga tijela; **T** apsolutna temperatura; **σ** konstanta određena mjerenjem (Stefan-Boltzmannova konstanta) $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

Wienov zakon

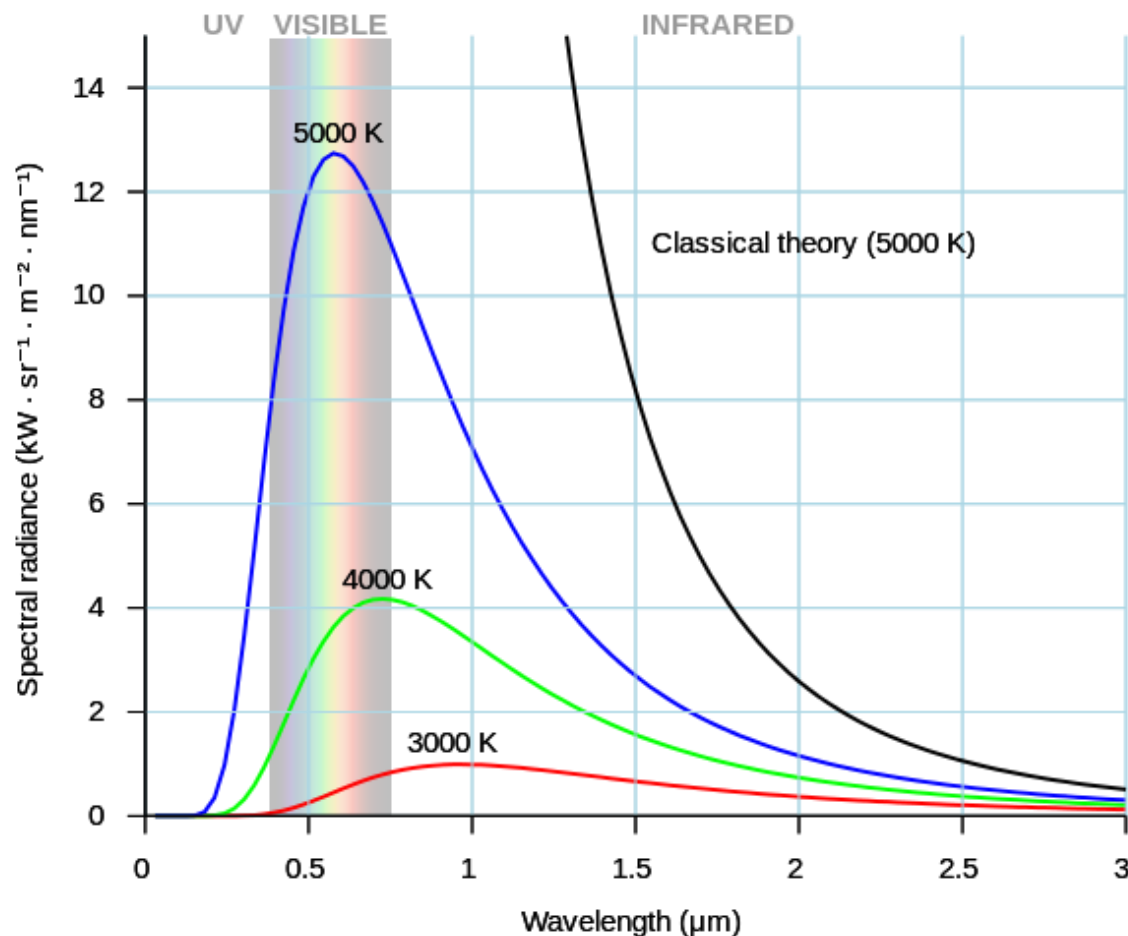
što je veća temperatura, to je veća i frekvencija kojoj odgovara maksimalna gustoća energije zračenja crnoga tijela.

Svaki spektar ima maksimum na određenoj valnoj duljini; kako temperatura raste, maksimumi se pomiču prema manjim valnim duljinama.



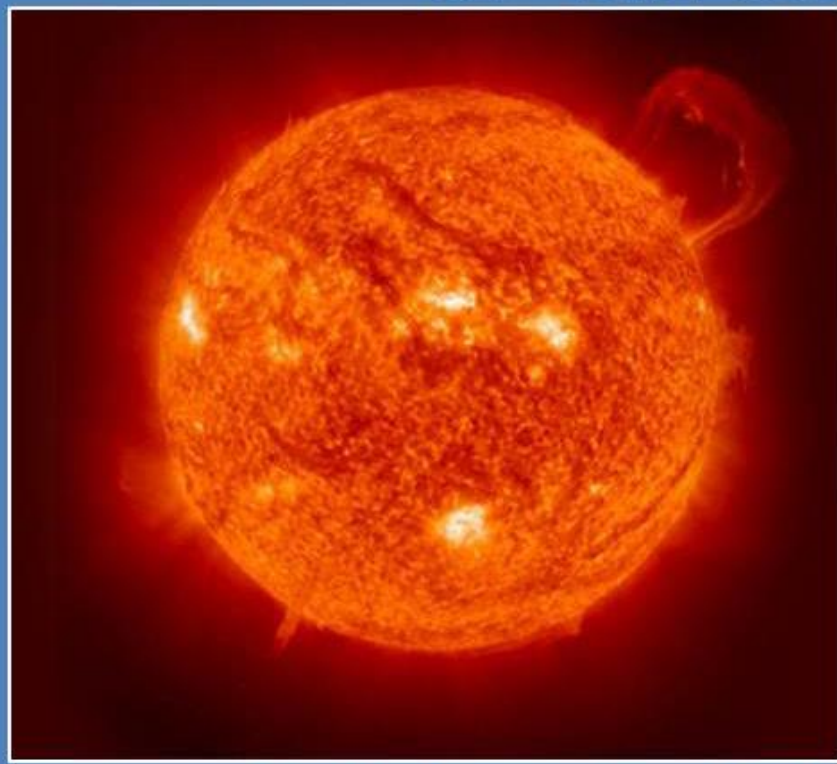
$$\lambda_{\text{max}} \cdot T(\text{K}) \cong 3000 \text{ } \mu\text{m}$$

Kako temperatura pada, vršna vrijednost intenziteta zračenja je manja i pomiče se prema većim valnim duljinama. Crna krivulja prikazuje model klasične fizike, tzv. ultraljubičastu katastrofu (Rayleigh-Jeansov model)



Poznajući ove zakone možemo odrediti neke parametre toplinskog zračenja koje dolazi sa Zemlje i sa Sunca

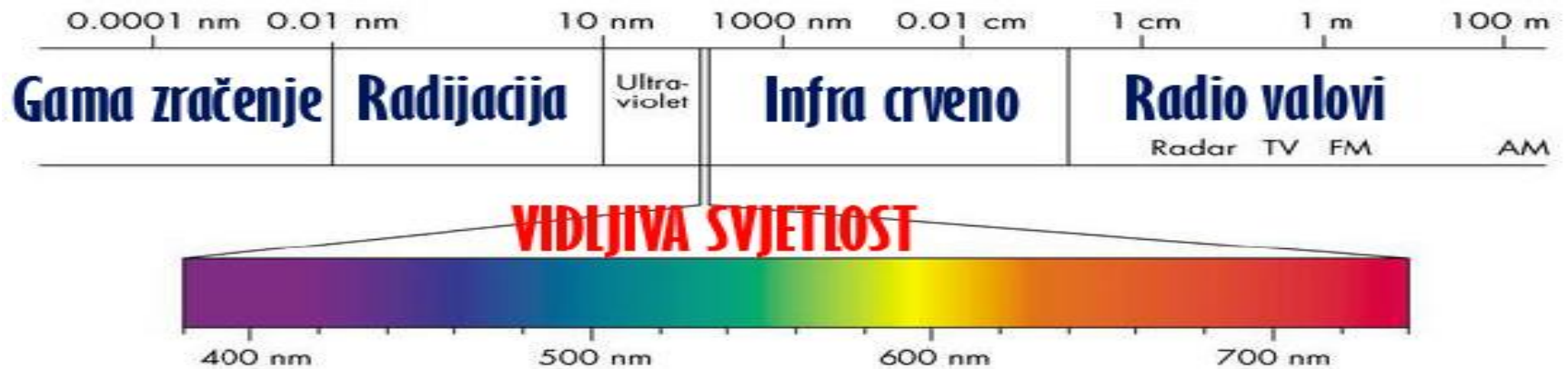
SURFACE TEMPERATURE OF THE SUN & EARTH



6,000K (5,727°C or 10,340°F)



288K (15°C or 59°F)



$$\lambda_{\text{pik}} = 2897/T$$

	T (K)	λ_{max} (μm)	Područje spektru
Sunce	6000		
Zemlja	300		

$$0,5 \mu\text{m} = 500 \text{ nm}; 10 \mu\text{m} = 10000 \text{ nm} = 0.001 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{pik}} = 2897/T$$

	T (K)	λ_{max} (μm)	Područje spektru
Sunce	6000	0.5	vidljiva (zelena)
Zemlja	300	10	Infra crvena

0,5 μm = 500 nm; 10 μm = 10000 nm = 0.001 cm

	T (K)	λ_{max} (μm)	Područje spektru	E (W/m²)
Sunce	6000	0.5	vidljiva (zelená)	7×10^7
Zemlja	300	10	Infra crvena	460

Ulazno Sunčevo zračenje je u rasponu valnih duljina između 0,40 i 0,75 μm (400 -750 nm).

Izvan maksimuma pika na krilima krivulje raspodjele zračenja, Zemlja prima i infracrveno zračenje u većem rasponu

Spektar elektromagnetskog zračenja, koje dolazi do Zemljine atmosfere, nalazi se u rasponu od 100 nm do oko 1 mm valne duljine. Može se podijeliti u 5 područja:

- Ultraljubičasto C ili UVC zračenje, u rasponu od 100 do 280 nm. Ultraljubičasto zračenje ima valne duljine manje od vidljive svjetlosti i zato je nevidljivo za ljudsko oko. Zahvaljujući Zemljinoj atmosferi, gotovo neznatna količina stigne na tlo (litosfera).
- Ultraljubičasto B ili UVB zračenje, u rasponu od 280 do 315 nm. Veći dio tog zračenja upija Zemljina atmosfera, i zajedno s UVC zračenjem, omogućuje fotokemijsku reakciju, koja stvara ozonski omotač.
- Ultraljubičasto A ili UVA zračenje, u rasponu od 315 do 400 nm. Ono stvara spontanu i neposrednu pigmentaciju kože povećanom proizvodnjom melanina.

Vidljiva svjetlost, u rasponu od 380 nm do 780 nm.

Infracrveno zračenje, u rasponu od 700 nm do 1 mm. To je važan dio zračenja, koje doprinosi zagrijavanju Zemlje (oko 49 %). Može se podijeliti na:

IC – A: 700 nm–1400 nm

IC – B: 1400 nm–3000 nm

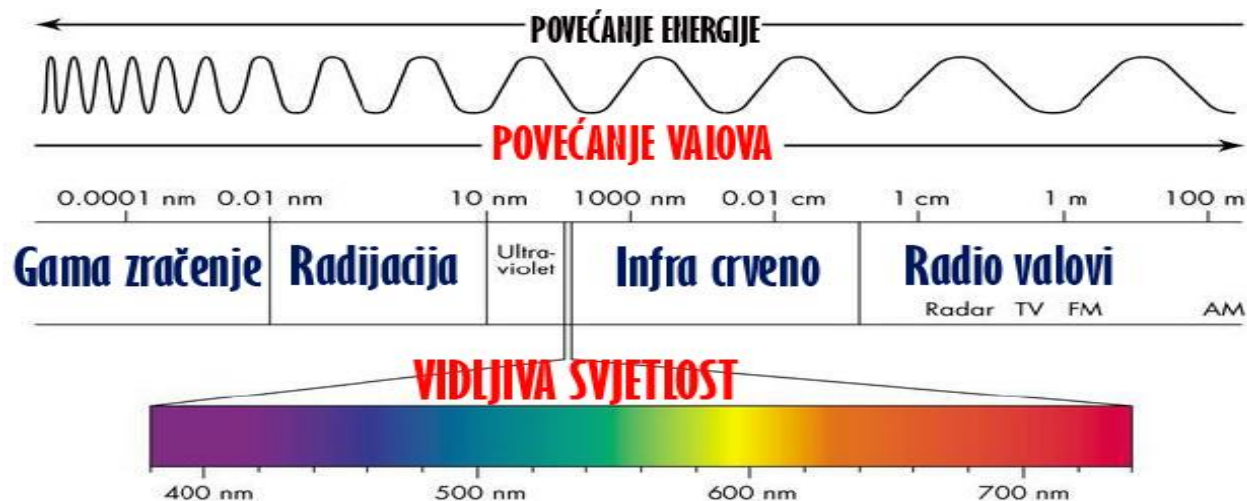
IC – C: 3000 nm–1 mm

Spektar Sunca sastoj se od:

Ultraljubičastog zračenja (10 – 400 nm)

Vidljive svjetlosti (380 – 780 nm)

Infracrvenog zračenja (700 – 1 mm)



Energetska ravnoteža Zemlje

Upadna energija = izlazna energija

$$E_{\text{in}} = E_{\text{out}}$$

Energetska ravnoteža Zemlje

Energija koju dobije Zemlja jednaka je onoj koju Zemlja izgubi.

Da nije tako, temperatura Zemlje bi varirala, stalno bi rasla ili opadala.

Upadna energija = izlazna energija

$$E_{\text{in}} = E_{\text{out}}$$

Solarna (Sunčeva) konstanta

Daje odgovor na pitanje koliko Sunčeve energije stigne na Zemlju.
Uključuje sve vrste elektromagnetskog zračenja.

$$S_o = L / \text{površina sfere (udaljenost Zemlja-Sunce)}$$

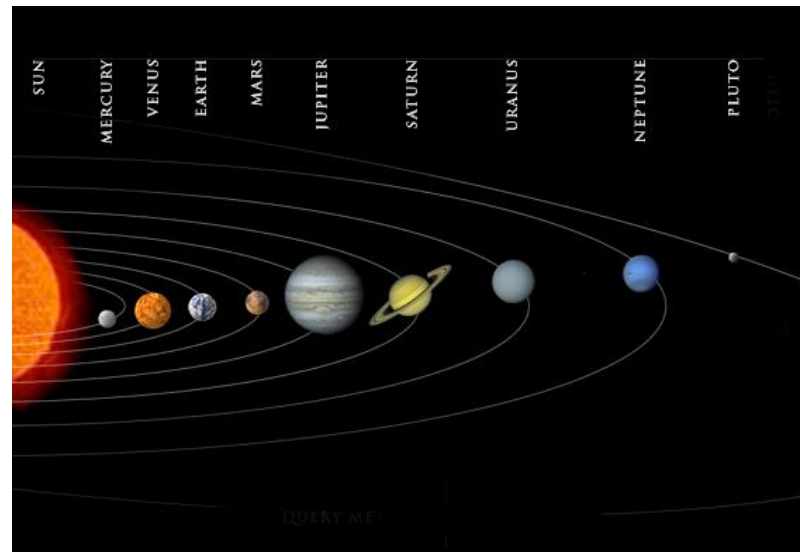
L - Ukupna radijacija Sunca

$$S_o = L / (4 \pi r_{s-e}^2) = \frac{3.9 \times 10^{26} \text{ W}}{4 \times \pi \times (1.5 \times 10^{11} \text{ m})^2} = \mathbf{1370 \text{ W/m}^2}$$

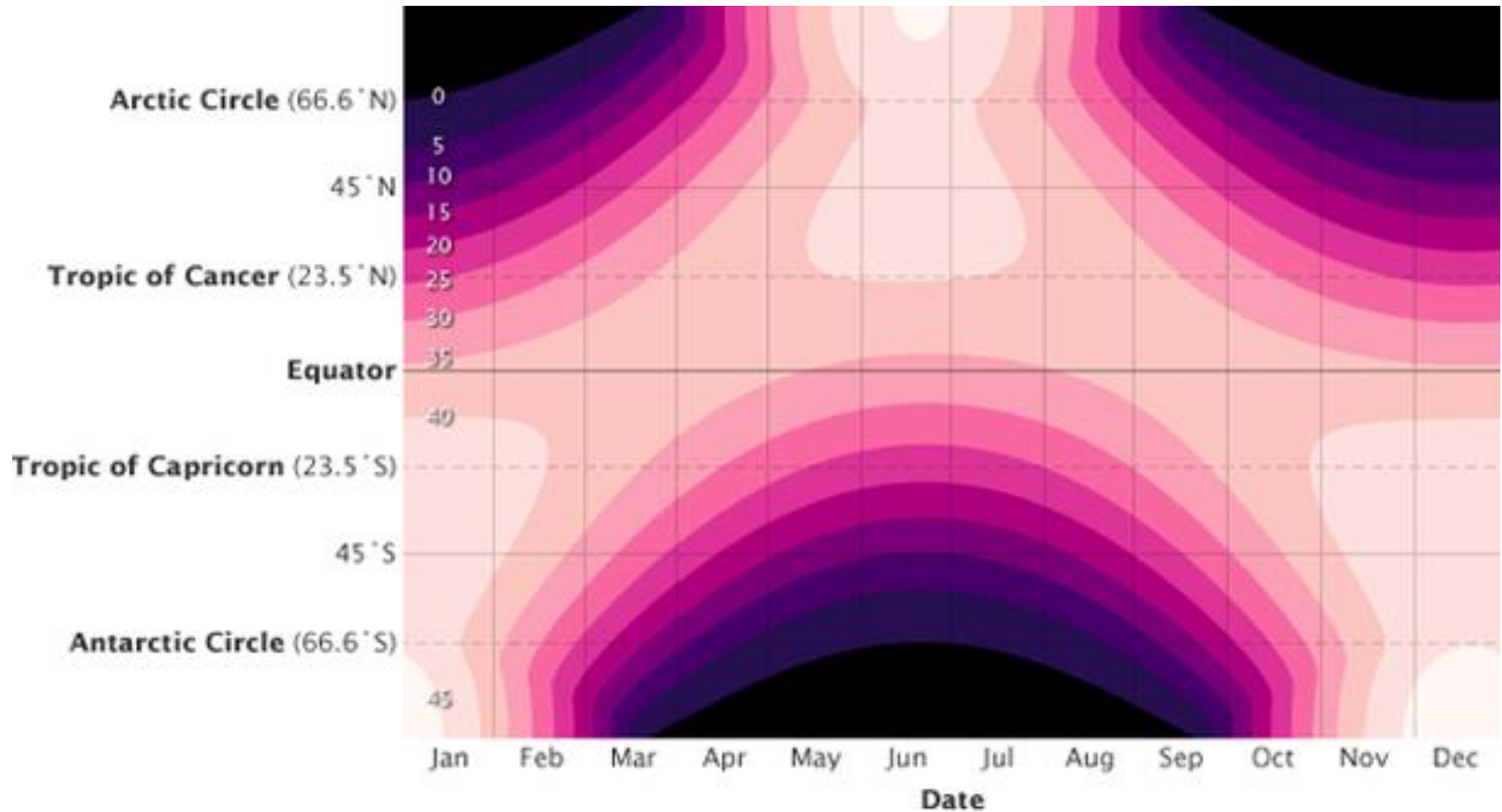
S_o je solarna konstanta za Zemlju

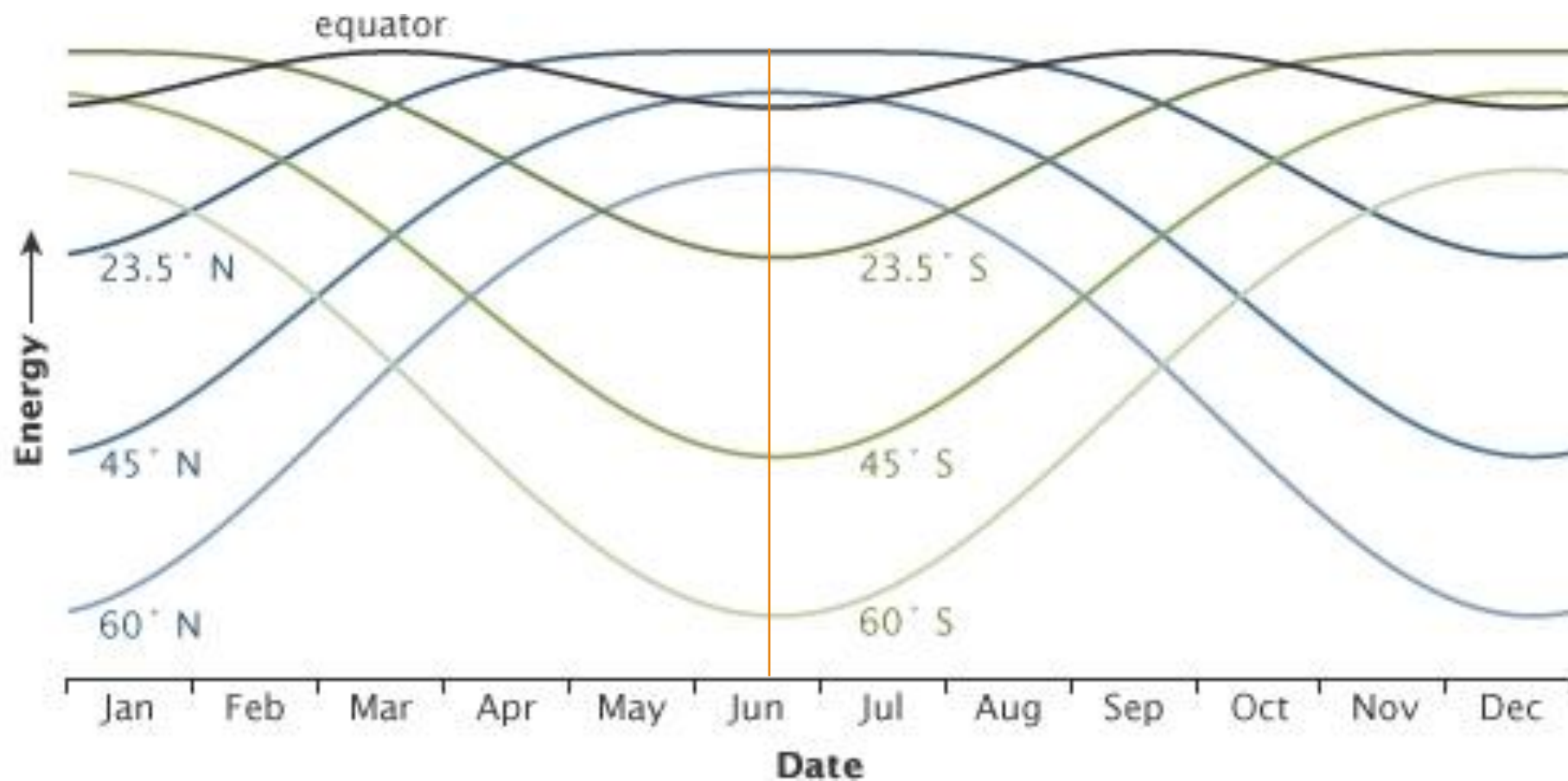
Solarna konstanta se može izračunati za svaki planet

Sunčeva konstanta ili solarna konstanta je
količina energije dozračene od Sunca na gornjoj granici Zemljine
atmosfera u jedinici vremena okomito na jediničnu površinu, pri srednjoj
udaljenosti Zemlje od Sunca



Vrijednost Sunčeve konstante ovisi o godišnjem dobu, geografskoj širini, podlozi





“Zimska” i “ljetna” hemisfera

Nagib zemljine osi

Insolacija iznad oceana u usporedbi s onom iznad tla je uglavnom veća

> Razlog tome su oblaci - Više oblaka je prisutno iznad tla

Ako znamo solarnu konstantu (S_0) i albedo (A ; 0,3% za Zemlju), možemo izračunati temperaturu Zemlje.

To zovemo očekivana temperatura (T_{exp}).

To je temperatura koju bi očekivali kada bi se Zemlja ponašala kao crno tijelo.

Ovaj proračun se može napraviti za svaku planetu ako znamo njenu solarnu konstantu i njen albedo.

$$T^4 = \frac{S_o(1-A)}{4\sigma}$$

Za Zemlju je:

$$S_o = 1370 \text{ W/m}^2$$

$$A = 0.3$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$T^4 = \frac{(1370 \text{ W/m}^2)(1-0.3)}{4 (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4)}$$

$$T^4 = 4.23 \times 10^9 \text{ (K}^4\text{)}$$

$$\mathbf{T = 255 \text{ K}}$$

Očekivana temperatura:

$$T_{\text{exp}} = 255 \text{ K}$$

$$(^{\circ}\text{C}) = (\text{K}) - 273,15$$

$$T_{\text{exp}} = (255 - 273,15) = \mathbf{-18^{\circ}\text{C}}$$

Stvarna temperatura Zemlje je bitno viša

+15 °C

Razlika između mjerene i očekivane temperature je 33 °C

Stvarna temperatura Zemlje je bitno viša

+15 °C

Razlika između mjerene i očekivane temperature je 33 °C

Dodatna toplina je ono što poznajemo pod pojmom efekt staklenika (greenhouse effect)

To je rezultat zagrijavanja Zemljine površine
uslijed apsorpcije zračenja u atmosferi

Narušavanje balansa ulazne i izlazne E (radijacije) > promjena klime

- **Prirodni** – Milankovićeve ciklusi, Sunčev ciklus, vulkanske erupcije koje unose u atmosferu (stratosferu) veliku količinu reflektirajućih čestica,
- **Antropogeni** – deforestacija (promjena albeda), aerosoli i drugi zagađivači, CO_2 i ostali staklenički plinovi
- Može doći do mehanizama povratne sprege (+ ili -)

incoming solar radiation (340 W/m^2)

29% reflected

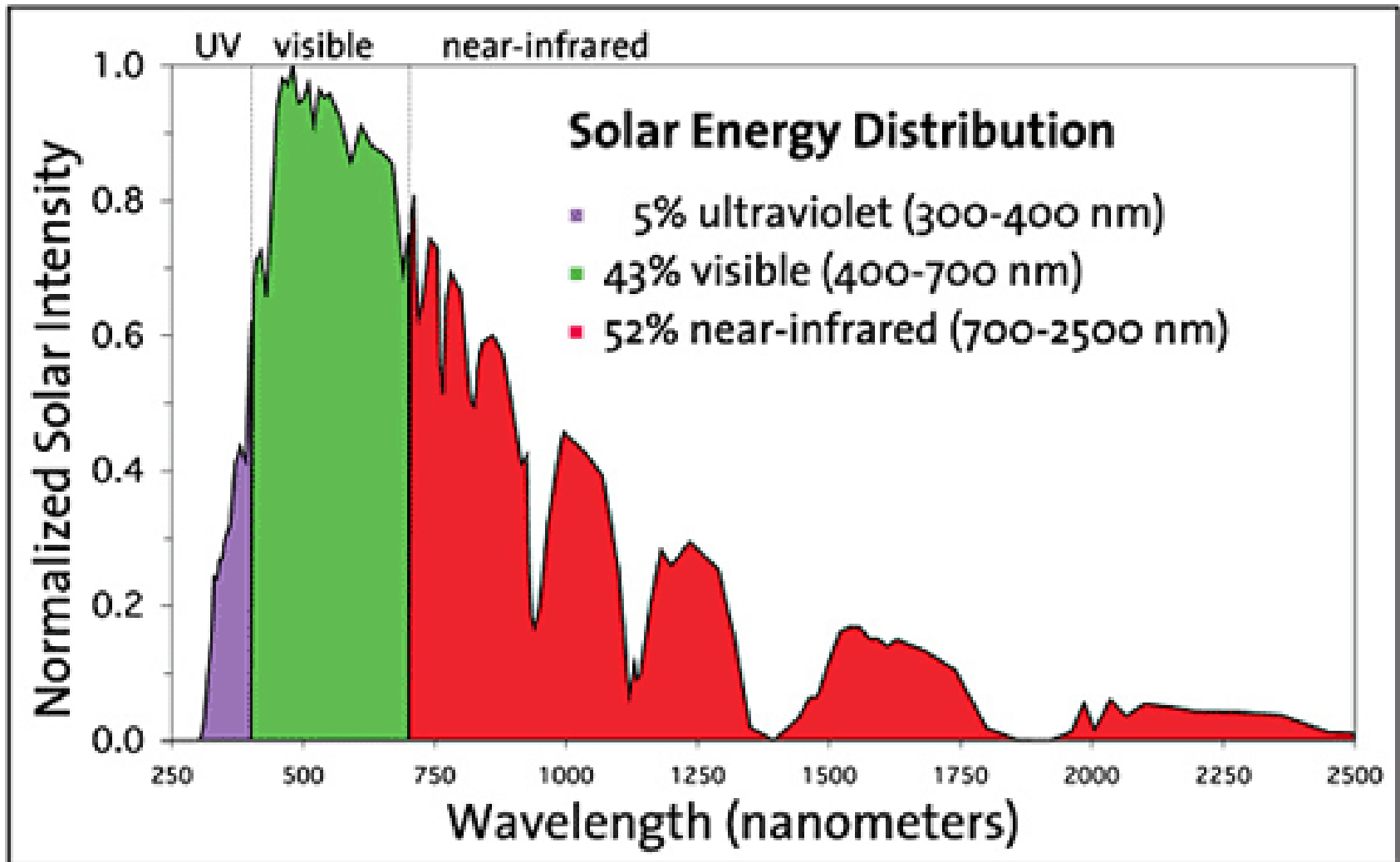
absorbed in the atmosphere 23%

48% absorbed at the surface

Od ukupnog dolaznog zračenja svih spomenutih valnih dužina što dolaze do Zemlje, oko 48% dolazi do površine i apsorbira se.

Daljnjih 23% upadnog zračenja apsorbira se od plinova – UV od stratosfernog ozona i diatomskog kisika, IR od CO_2 i H_2O (vodene kapi u zraku).

Dio upadnog zračenja reflektira se natrag u prostor od oblaka, leda, snijega, lebdećih čestica i drugih reflektirajućih tvari, bez apsorpiranja od tih tvari.



Oko 50 % energije koje Zemlja prima sa Sunca je infracrveno (toplinsko) zračenje, a ostatak je vidljivo i dijelom UV zračenje.

Najveći dio UV zračenja (manje od $0,4 \mu\text{m}$) se od-filtrira u stratosferi i zagrijava atmosferu, a ne Zemlju.

Kako je temperatura površine Zemlje i donje atmosfere oko 300 K, prema jednadžbi crnog tijela, valna dužina maksimuma emitiranog zračenja trebala bi biti oko **10 μm** .

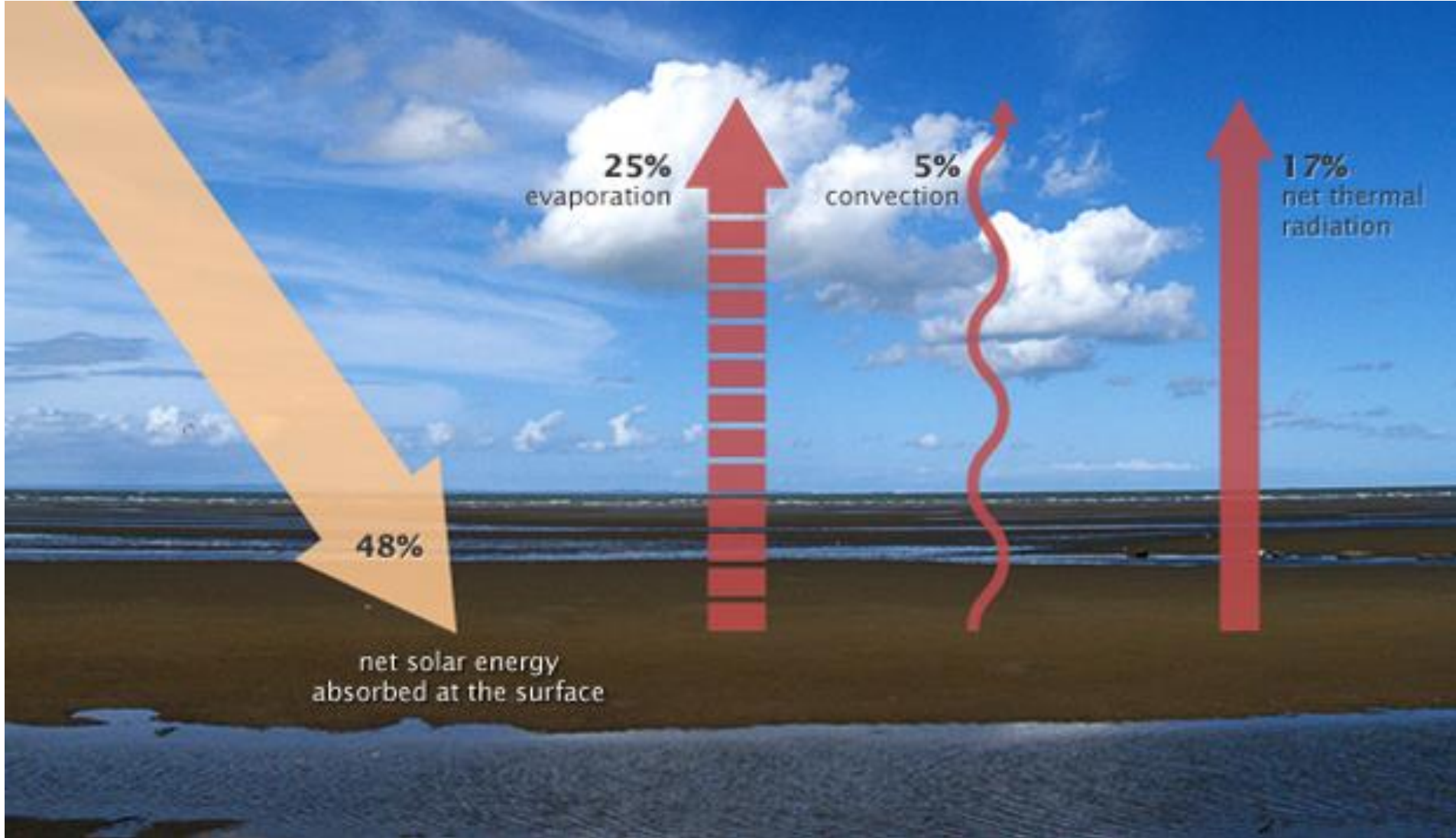
U stvari emisija zračenja sa Zemlje ima pik na oko 10 μm ali je područje emisije od **oko 4 do 50 μm** .

To je područje poznato i kao termalno infracrveno područje, jer je oblik energije u tom području **toplinska energija**.

Radijacijsko hlađenje - hlađenje zbog izračivanja Zemlje > sustav Zemlja-atmosfera

$$E = \sigma T^4 \quad \text{Stefan-Boltzmann zakon}$$

Toplinska radijacija koju emitira neko tijelo je proporcionalna temperaturi tijela na četvrtu potenciju > jedan od osnovnih mehanizama koji onemogućava pregrijavanje Zemlje.



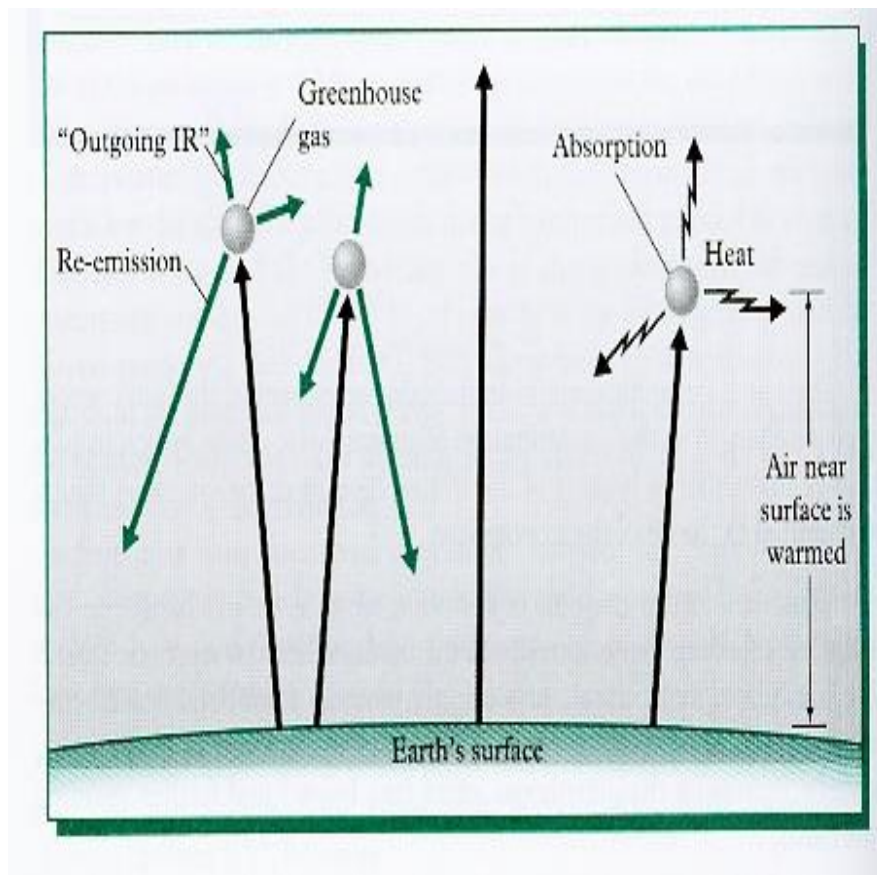
Evaporacija – molekule vode apsorbiraju dolaznu solarnu E > dolazi do promjene faze (iz tekućeg u plinovito) > trošenje topline koja je vezana u vodenoj pari (latentna toplina evaporacije) > dolazi do podizanja vodene pare prema atmosferi (kondenzacija) > prijelaz vodene pare u tekuće stanje > oslobađanje topline (koja ulazi u atmosferske procese)

5% dolazne solarne E odlazi sa Zemlje procesom konvekcije

Zrak u kontaktu s zagrijanim tlom se također zagrijava > dolazi do podizanja toplog zraka prema višim dijelovima atmosfere

17% dolazne solarne E odlazi s Zemlje kao termalno, IR zračenje.

Dio Zemljinog odlaznog zračenja u sudaru sa određenim molekulama u zraku direktno se pretvaraju u toplinu i zagrijevaju zrak iznad površine Zemlje (desna strana slike)



Površina Zemlje zagrijava se ovim mehanizmom istim intenzitetom kao i Sunčevom toplinom koju dobiva direktno os Sunca

Neki plinovi u zraku mogu apsorbirati termalno infracrveno zračenje specifičnih valnih dužina, tako da cjelokupno IR zračenje emitirano od Zemlje ne odlazi u svemir.

Odmah nakon apsorpcije od molekula u zraku, primjerice CO₂, infracrveno termalno zračenje re-emitira se u svim smjerovima – potpuno statistički.

U statističkoj raspodjeli dio re-emitiranog IR zračenja usmjerava se direktno na površinu Zemlje, ponovo apsorbira i dodatno zagrijava površinu i zrak iznad nje.

Taj fenomen, preusmjeravanje izlaznog IR zračenja prema Zemlji, naziva se **efekt staklenika** i odgovoran je za srednju temperaturu Zemlje od $+15^{\circ}\text{C}$ umjesto -18°C kolika bi bila da nema apsorpcije IR zračenja od plinova u atmosferi.

Činjenica da naš planet nije u potpunosti prekriven ledom zahvaljuje efektu staklenika.

Ono što brine znanstvenike koji se bave okolišem, a preko njih i javnost, jest činjenica da porast koncentracije plinova koji apsorbiraju odlazeće IR zračenje, mijenja prirodnu ravnotežu, pojačava efekt staklenika i time stvara okolišni globalni problem.

Ovakav efekt, od povećane koncentracije apsorbirajućih tvari, naziva se i **pojačani efekt staklenika** (ili neprirodno globalno zagrijavanje) da bi se razlikovao od prirodnog efekta staklenika koji podržava život na Zemlji.

Glavni prirodni sastojci zraka, N_2 , O_2 i Ar, nemaju sposobnost apsorpcije IR zračenja

Atmosferski plinovi koji su u prošlosti producirali najveći dio globalnog zagrijavanja su voda (dvije trećine efekta) i ugljikov dioksid (odgovoran za otprilike jednu četvrtinu efekta).

Zračenje će se najlakše apsorbirati od molekule kada njezina

frekvencija gotovo u potpunosti bude jednaka frekvenciji
unutrašnjeg (internog) gibanja unutar molekule – to je tzv. energija
vibracije.

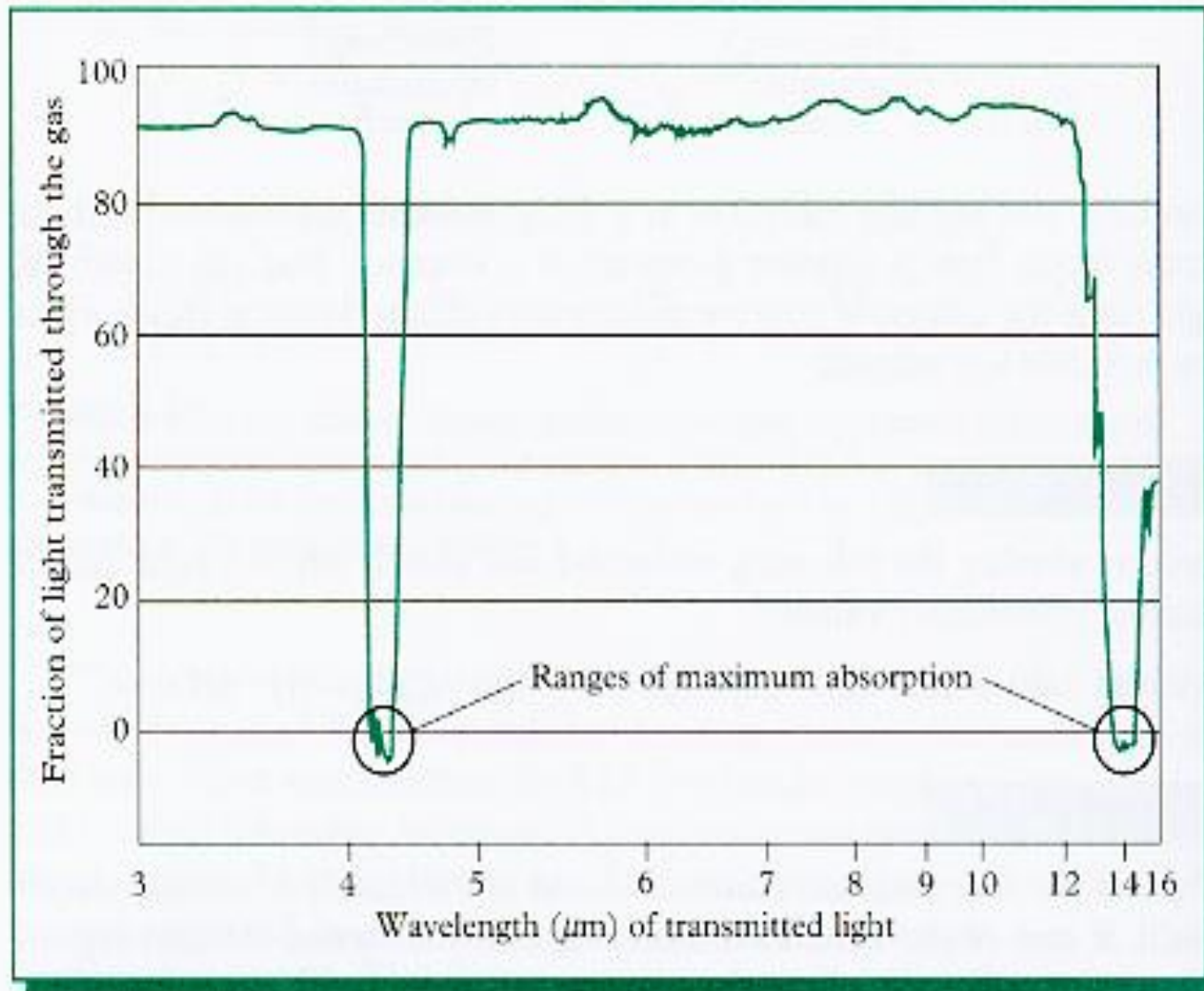
Za frekvencije u infracrvenom području, relevantna unutrašnja
gibanja su vibracije molekulskih atoma relativno jedan u odnosu na
drugi.

Molekule imaju mogućnost apsorpcije IR zračenja, ne samo određene frekvencije, već i određenog raspona frekvencija i to zbog tzv. rotacijske energije – promjene energije povezane sa rotacijom molekule oko njene interne osi.

Na taj način apsorpcija fotona javlja se kod nešto više do nešto niže frekvencije nego što je odgovarajuća frekvencija vibracije.

Ipak, općenito se može reći da tendencija apsorpcije plinova opada kako se frekvencije zračenja udaljavaju od frekvencije vibracije molekule odgovarajućeg plina

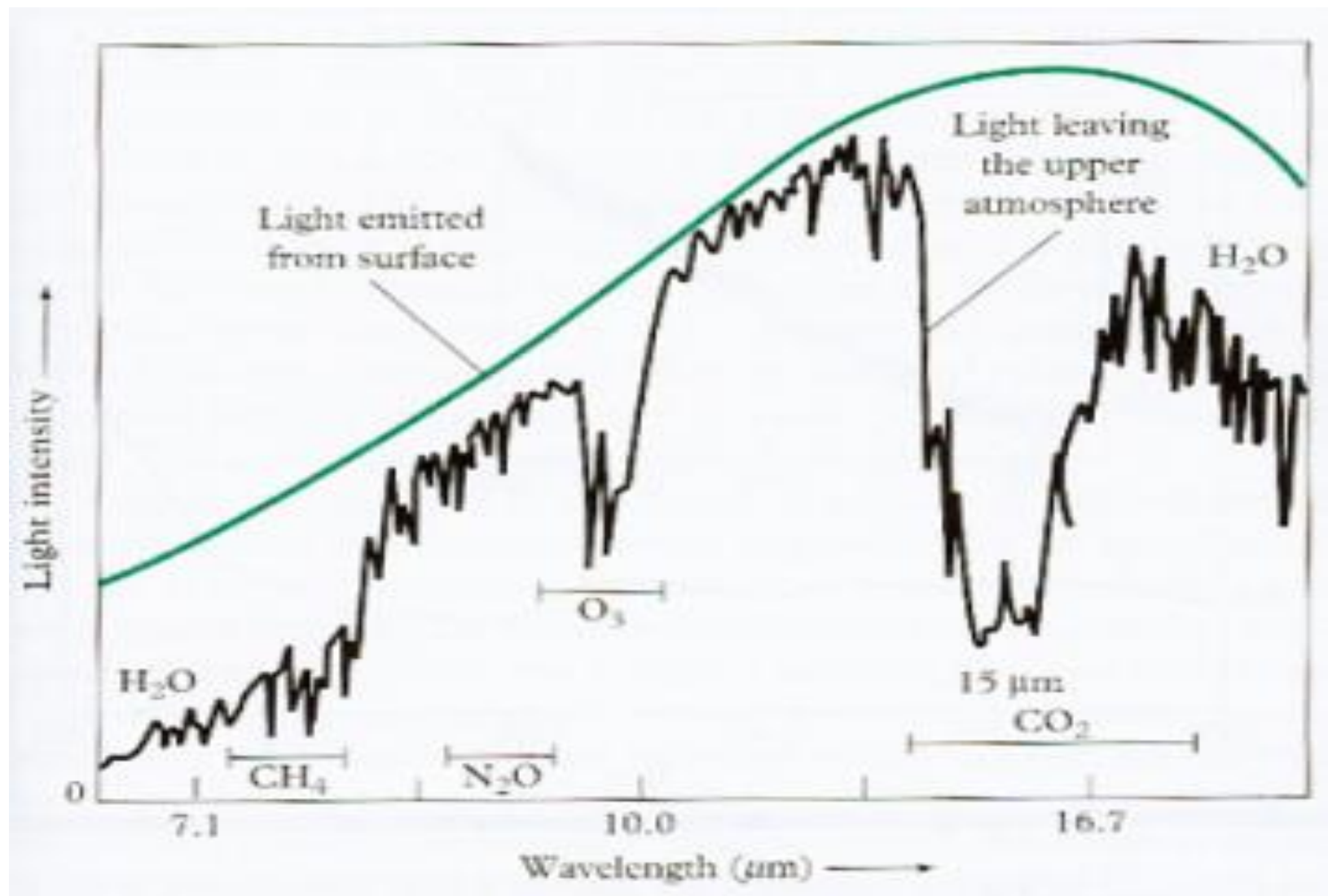
Apsorpcijski spektar ugljikovog dioksida u infracrvenom području



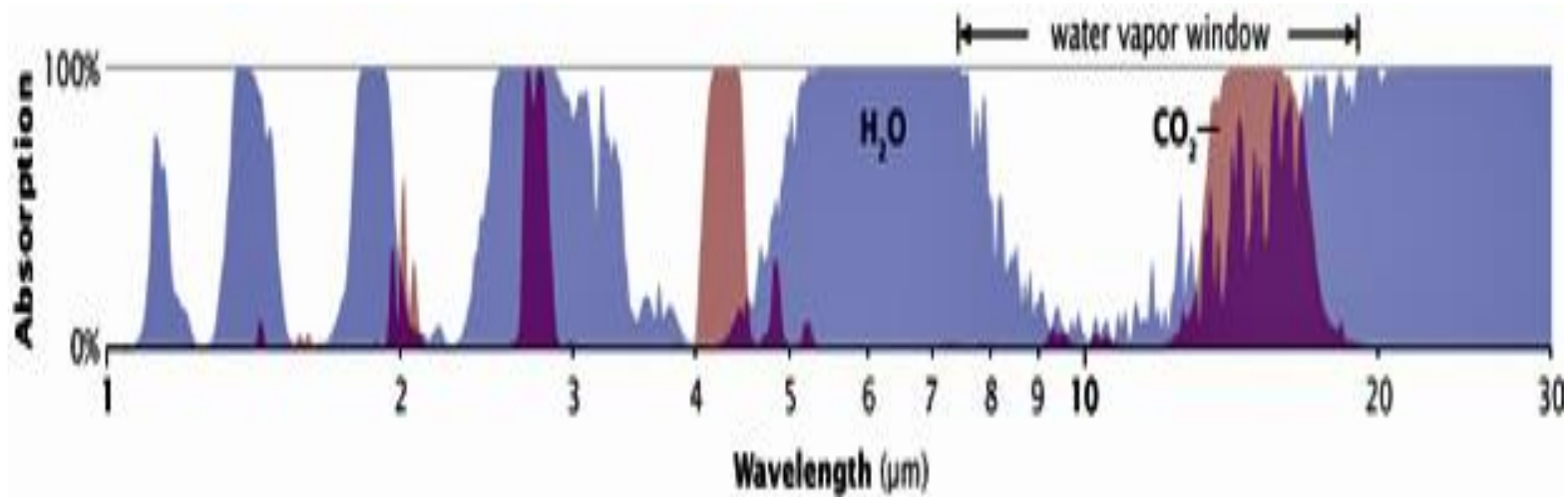
Za ugljikov dioksid maksimum apsorpcije javlja se pri valnim dužinama $4,26\text{ }\mu\text{m}$ i $15\text{ }\mu\text{m}$.

Molekule ugljikovog dioksida sada prisutne u zraku zajednički apsorbiraju oko polovice izlaznog termalnog infracrvenog zračenja sa valnim dužinama između 14 i $16\text{ }\mu\text{m}$, zajedno sa značajnim dijelovima intenziteta zračenja u područjima $12\text{-}14$ i $16\text{-}18\text{ }\mu\text{m}$.

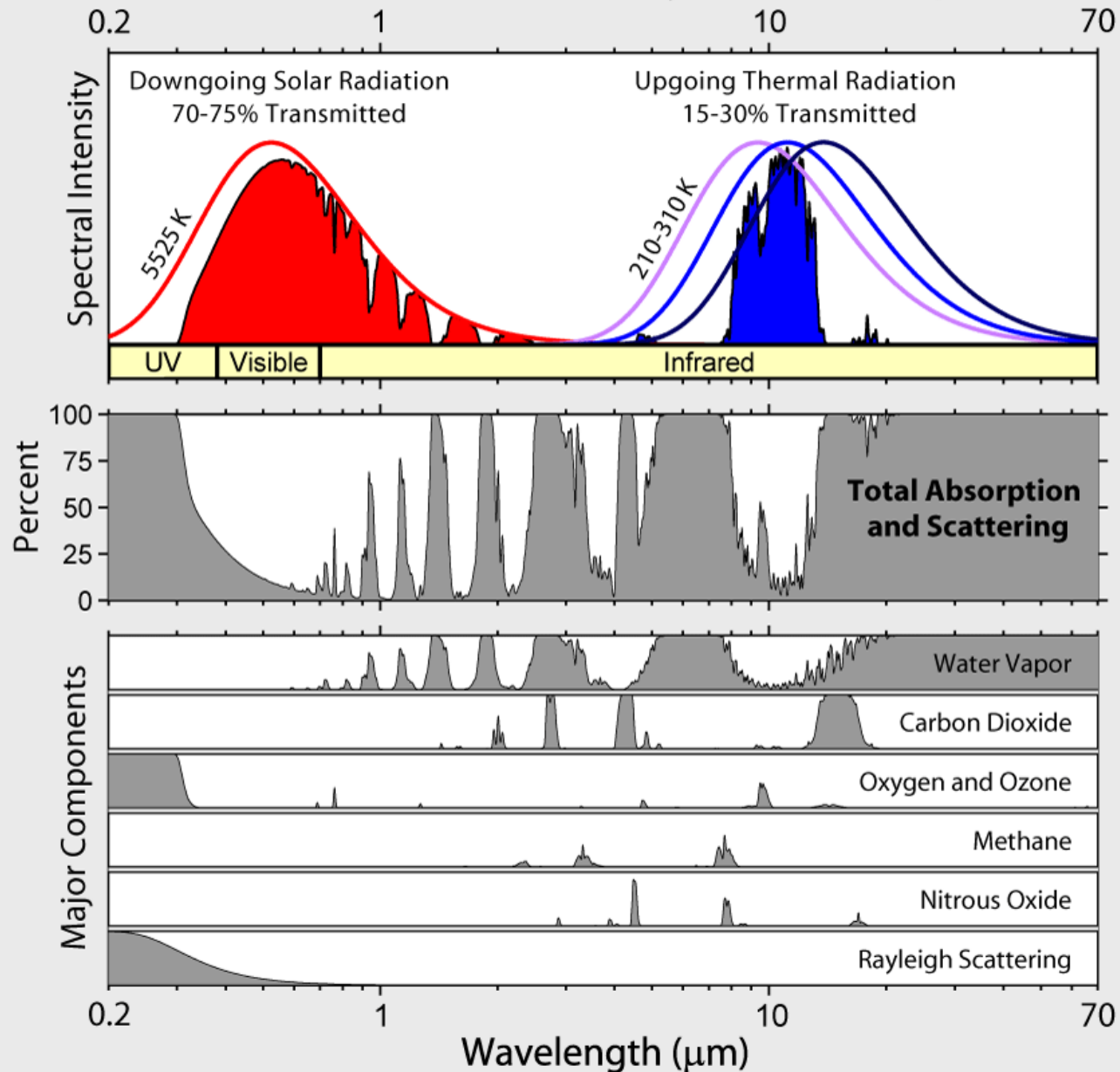
Iako ugljikov dioksid također apsorbira i IR zračenje kod 4,3 μm , zbog toga, što je tek mali dio izlaznog IR zračenja u tom području, potencijalna apsorpcija u tom dijelu nema većeg značaja.



“Prozor vodene pare”



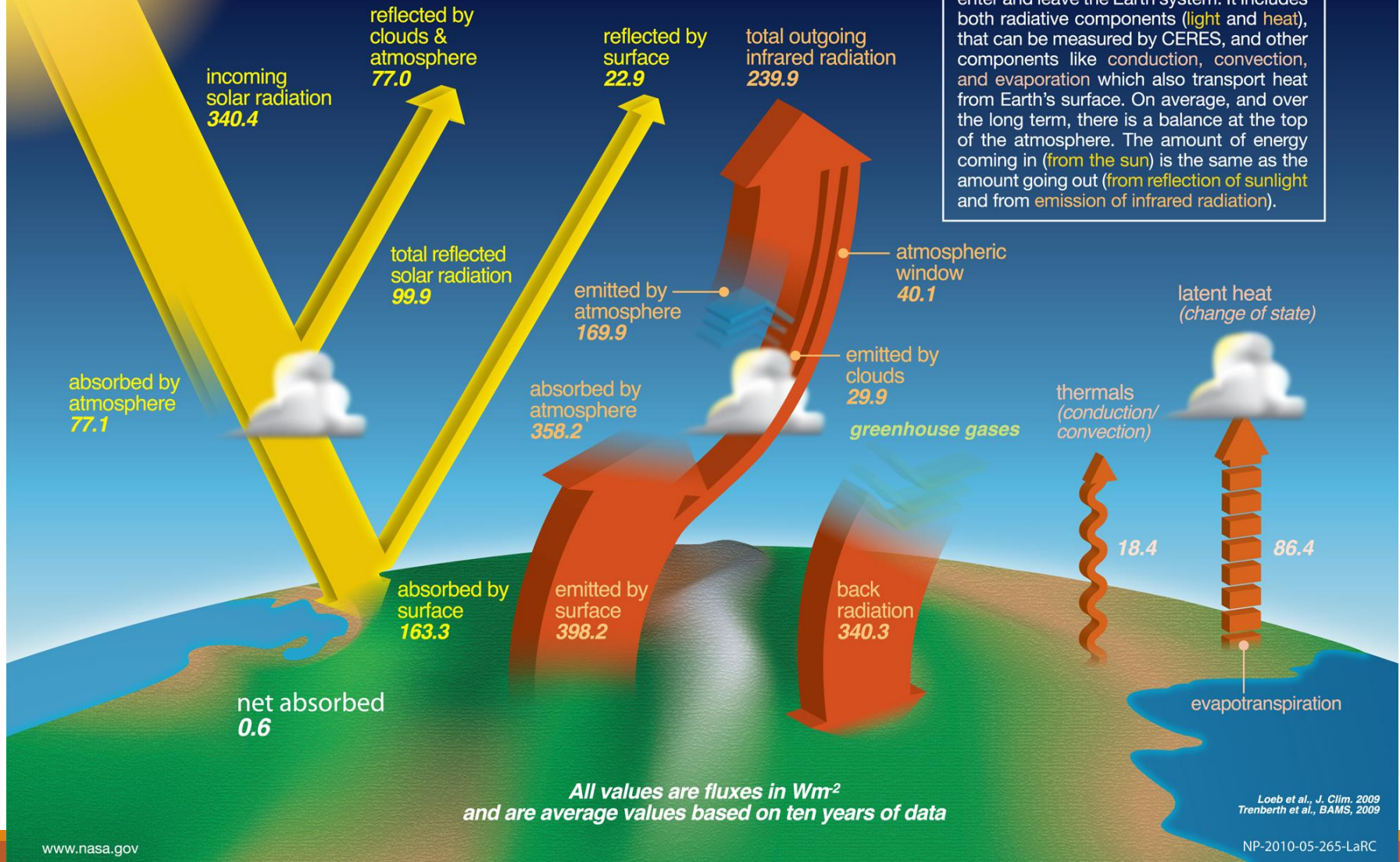
Radiation Transmitted by the Atmosphere





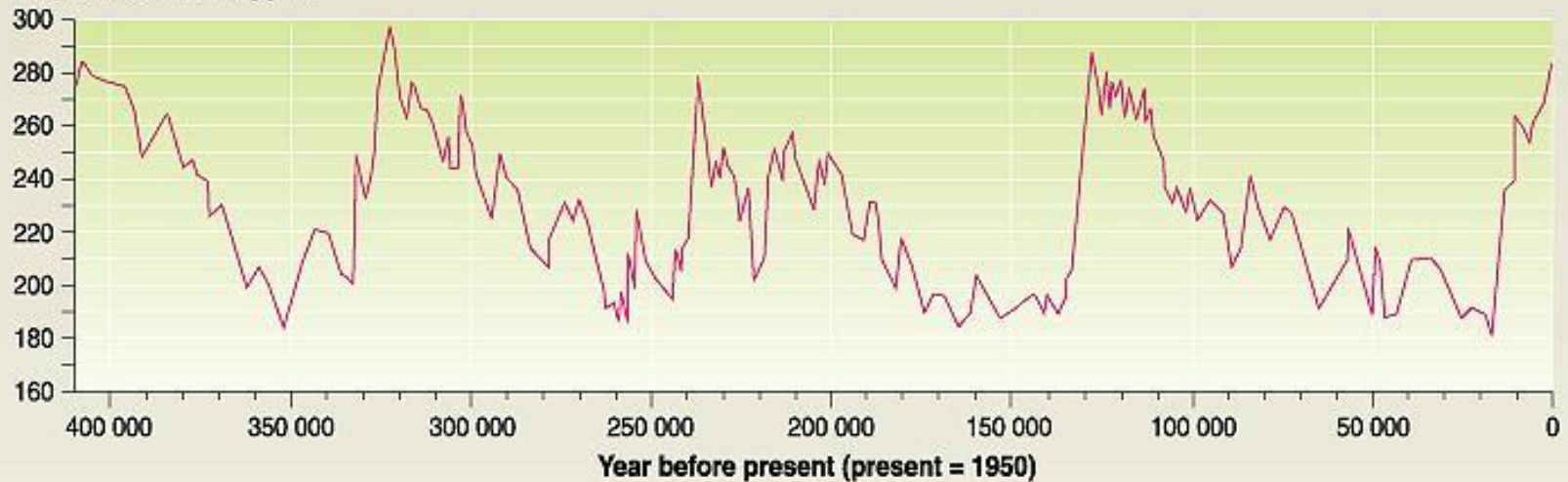
earth's energy *budget*

The Earth's energy budget describes the various kinds and amounts of energy that enter and leave the Earth system. It includes both radiative components (**light** and **heat**), that can be measured by CERES, and other components like conduction, convection, and evaporation which also transport heat from Earth's surface. On average, and over the long term, there is a balance at the top of the atmosphere. The amount of energy coming in (**from the sun**) is the same as the amount going out (**from reflection of sunlight** and from **emission of infrared radiation**).

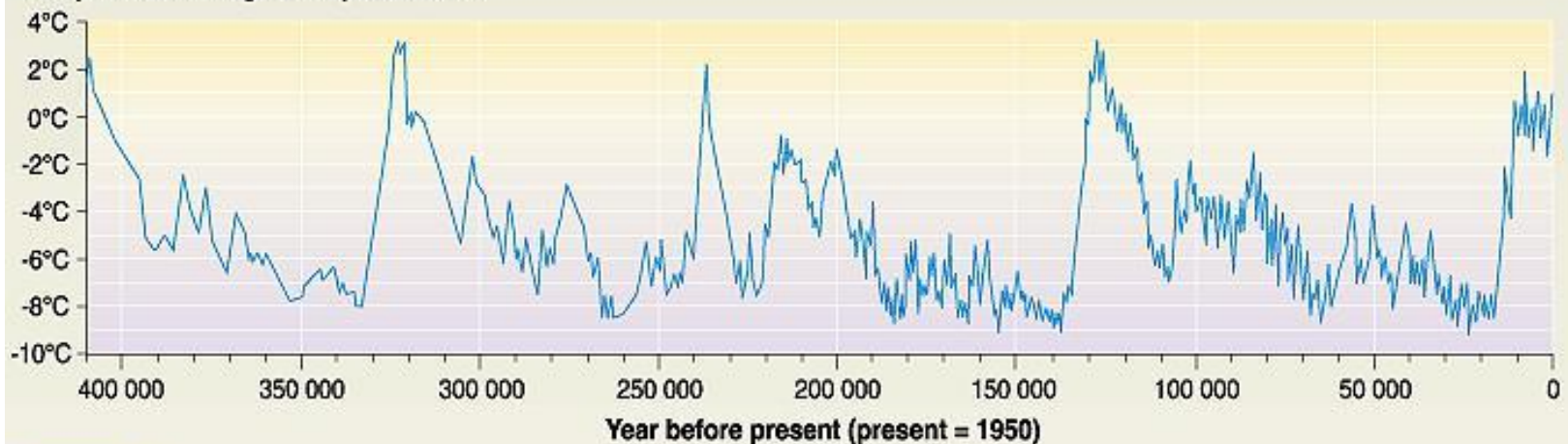


Temperature and CO₂ concentration in the atmosphere over the past 400 000 years (from the Vostok ice core)

CO₂ concentration, ppmv



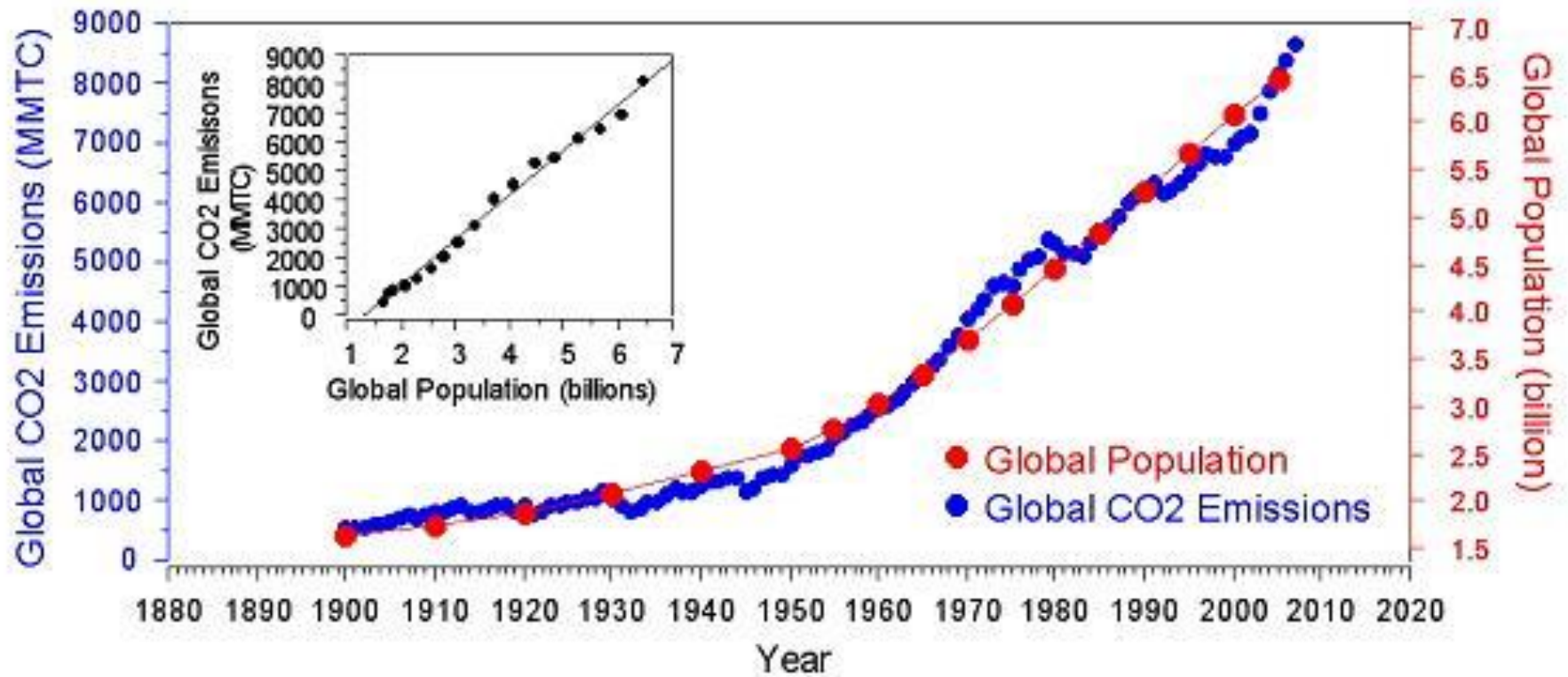
Temperature change from present, °C



GRID
Arendal
UNEP

GRAPHIC DESIGN : PHILIPPE REKACEWICZ

Source: J.R. Petit, J. Jouzel, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, *Nature* 399 (3June), pp 429-436, 1999.



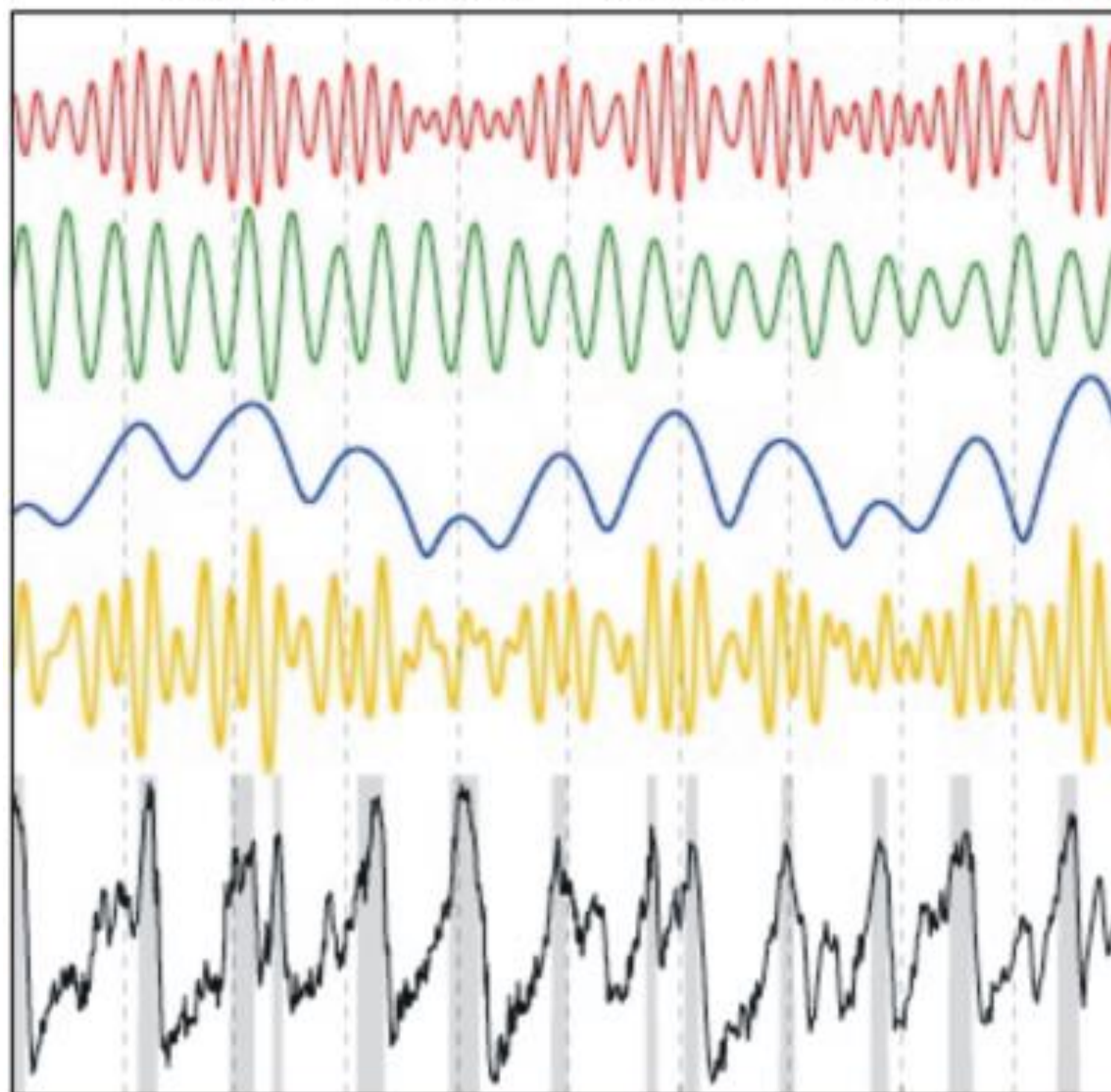
Dvije osnovne Milankovićeve pretpostavke:



- Klima na Zemlji ovisi o količini Sunčeve energije koju prima površina Zemlje
- Intenzitet osunčavanja Zemlje ovisi o udaljenost i položaju Zemlje prema Suncu (koji se mijenjaju)

Na temelju njih utvrdio je tri astronomska elementa odgovorna za promjene klime kroz geološku prošlost:

0 200 000 400 000 600 000 800 000 1 000 000 → godina u prošlost



Precesija Zemljine osi
19, 22, 24 tisuće godina

Nagib Zemljine osi
41 tisuće godina

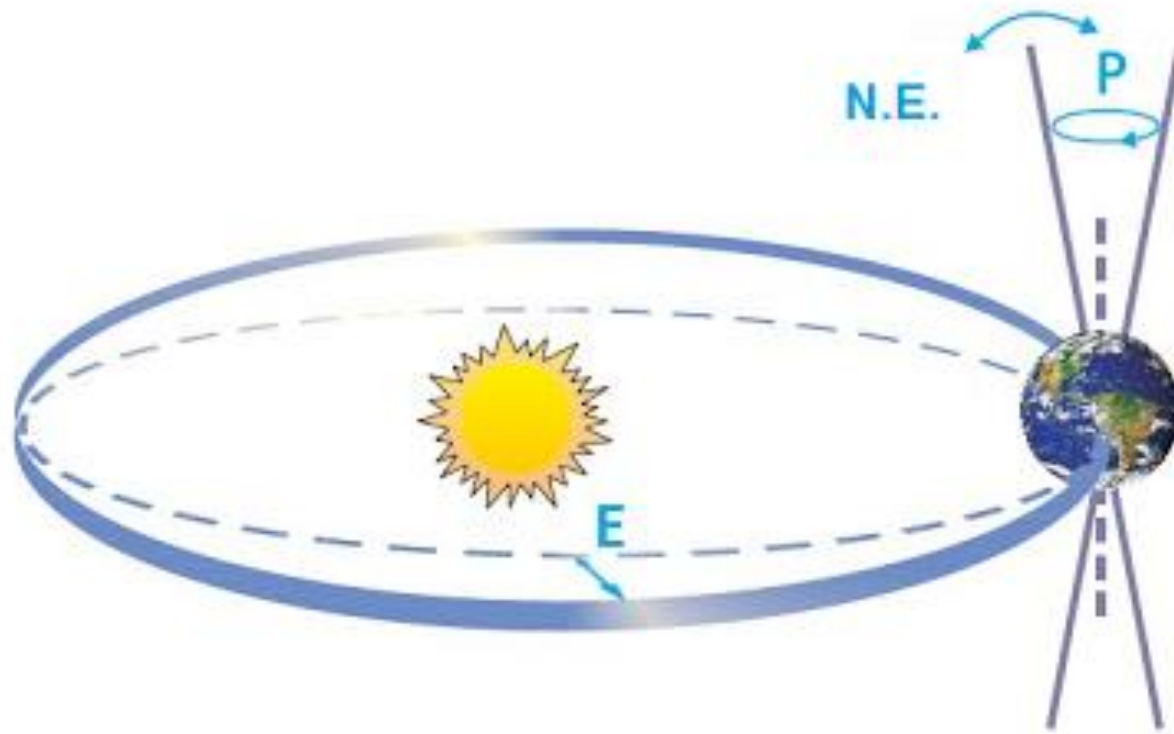
Ekscentričnost Zemljine orbite
95, 125, 400 tisuće godina

Snaga Sunčevog zračenja
ljeti na 68°N

Toplo

Milankovićeви ciklusi

Hladno



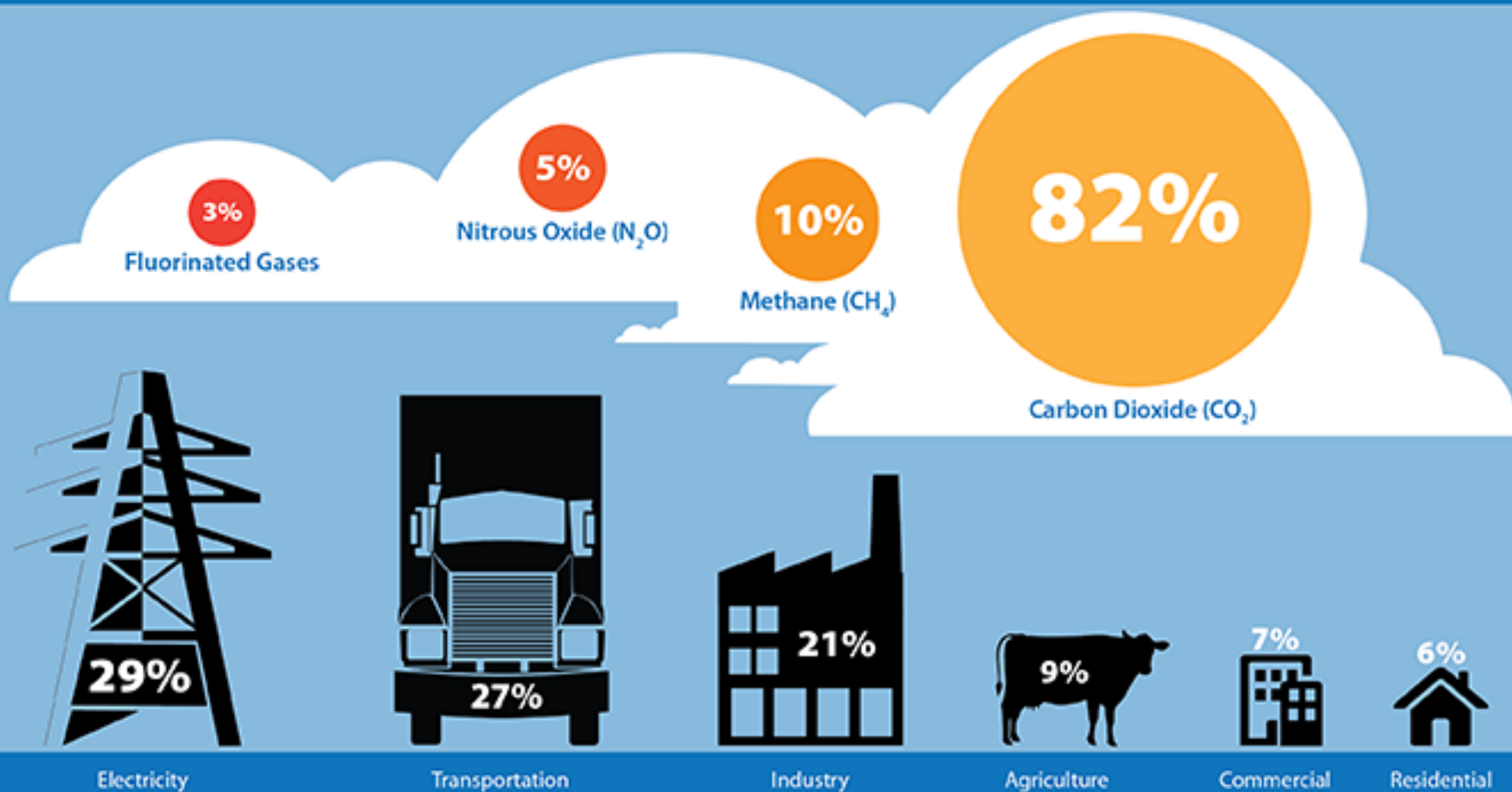
1. Periodična promjena položaja Zemljine osi (kolebanje Zemljine osi vrtenja) – precesija - 19.000 do 23.000 godina (*P*)
2. Periodična promjena nagiba ekliptike od 41.000 godina (*N.E.*)
3. Periodična promjena ekscentriciteta orbite od 100.000 godina (*E*)

Staklenički plinovi

- Voda
- Ozon
- Ugljikov (IV) oksid
- Dušikov oksid
- Metan
- Klorofluorougljikovodici
- freoni

OSNOVNI IZVORI

- INDUSTRIJA
- PROMET
- PRIRODNI IZVORI
(VULKANI, POŽARI)



Ugljikov dioksid (CO_2)

uz vodenu paru CO_2 je jedan od najvažnijih atmosferskih absorbera Zemljinog dugovalnog (toplinskog, infracrvenog) zračenja

Voda vrlo efikasno apsorbira toplinsko zračenje $\Rightarrow$ i sama zrači dugovalno $\Rightarrow$ bitna za toplinsku ravnotežu sustava Zemlja-atmosfera (poput O_3 i CO_2)

Metan (CH_4)

Poslije ugljikovog dioksida i vode, metan (CH_4) je po važnosti, sljedeći staklenički plin.

Po molekuli, porast koncentracije metana u zraku prouzrokuje **23** puta veći efekt zatopljenja od ugljikovog dioksida i to iz razloga što molekule CH_4 apsorbiraju veći dio fotona IR zračenja koje prolazi kroz njih nego molekule CO_2

Ipak zbog toga što je porast koncentracije CO₂ **80** puta veći nego porast koncentracije CH₄ u zraku, metan je manje važan staklenički plin od ugljikovog dioksida.

Prema današnjim podacima, metan proizvodi tek **1/3** efekta zatopljenja ugljikovog dioksida.

U suprotnosti sa **stoljeće** dugim vremenom zadržavanja ugljikovog dioksida u atmosferi, molekule metana imaju prosječno vrijeme življenja u zraku od samo **desetak** godina.

Dominantno pohranilište za atmosferski metan, koje je odgovorno za gotovo 90% gubitka metana iz zraka, je njegova reakcija sa molekulama hidroksilne skupine, OH, inače vrlo reaktivni plin, prisutan u zraku u vrlo niskim koncentracijama:



Ova je reakcija samo prvi korak u sekvenci u kojoj se metan pretvara u CO a zatim u CO₂:



Dušikov oksid N_2O

Značajan plin staklenika je i didušik-oksidi, N_2O , “plin smijeha”.

Njegove pojasne vibracije apsorbiraju IR zračenje u pojasu oko 8,6 μm i, dodatno, s vibracijama sa središtem kod 7,8 μm , na istom mjestu gdje apsorbira **metan**.

Po molekuli, N_2O je **296** puta efektivniji u djelovanju na globalno zatopljenje od CO_2 .

Kao i metan, i atmosferska koncentracija didušik-oksida bila je konstantna sve do prije oko 300 godina, od kada počinje rasti, iako mu je porast bitno manji i to od 275 ppb (predindustrijska koncentracija) za samo 13% na 316 ppb.

Godišnji porast u 80-tim bio je svega 0,25% i značajno pada u 90-tim iz do sada u cijelosti nepoznatih razloga.

Ukupna koncentracija didušik-oksida koja je akumulirana u zraku od predindustrijskog vremena proizvela je jednu trećinu količine dodatnog zatopljenja količine inducirane od koncentracije metana u istom razdoblju.

Nešto manje od 40% emisije didušik-oksida danas dolazi iz antropogenih izvora.

U 1990. je otkriveno da tradicionalna proizvodnja najlona uz upotrebu dušične kiseline, HNO_3 , rezultira nastankom relativno velikih količina didušik-oksida.

Od tada su tvornice koje proizvode najlon, poduzele, zakonom obvezujuće mjere za promjenom procedure proizvodnje najlona kojom se ne oslobađa didušik-oksid.

Preostalih 60% emisije didušik-oksida je prirodnog porijekla, u oslobađanju iz oceana, a dio dolazi i iz procesa koji se dešavaju u tropskim tlima.

Taj je plin usputni produkt biološke denitrifikacije u aerobnim (kisikom bogatim) okolišima i bioloških nitrifikacijskih procesa u anaerobnim (kisikom siromašnim) okolišima.

Sintetički staklenički plinovi

hidrofluorouglici (HFC),

perfluorouglici (PFC),

sumpor- heksafluorid (SF₆),

klorofluorouglici (CFC), freoni - najviše pridonose uništavanju troposferskog ozona

haloni - sadrže brom

ugjik- tetrafluorid (CF₄) *

Nisu postojali prije 20. stoljeća u atmosferi

Potencijal globalnog zatopljenja

(Global Warming Potential- GWP)

Svakom stakleničkom plinu je dodijeljena tzv. GWP vrijednost

> mjera koja pokazuje koliko određena masa pojedinog stakleničkog plina doprinosi globalnom zatopljenju

relativna veličina u odnosu na istu količinu ugljičnog dioksida

$\text{CO}_2 = 1\text{GWP}$, uzet kao referentni plin

GWP je uveden kao mjerni sustav stakleničkih plinova od strane „Međuvladinoga panela o promjenama klime”.

Nastao je iz potrebe za metodom praćenja stakleničkih plinova obuhvaćenim u Kyoto protokolu.

Zamišljen kao pojednostavljeni pristup koji je trebao ilustrirati poteškoće koncepta, no zbog nedostatka boljih alternativa je prihvaćen.

Vrijednosti GWP- a nekih stakleničkih plinova za razdoblje od 100 godina objavljene 2013. g. u Petom izvješću o klimatskim promjenama IPCC-a (AR5) (IPCC, 2013)

STAKELNIČKI PLIN	VRIJEDNOST GWP-a do 2012 g.	VRIJEDNOST GWP-a nakon 2012. g.
CO ₂	1	1
CH ₄	21	25
N ₂ O	310	298
HFC- 23	11 700	14 800
HFC- 125	2 800	3 500
HFC- 134a	1 300	1 430
HFC- 143a	3 800	4 470
HFC- 152a	140	124
HFC- 227ea	2 900	3 220
HFC- 236fa	6 300	9 810
CF ₄	6 500	7 390
C ₂ F ₆	9 200	12 200
SF ₆	23 900	22 800

Atmospheric lifetime and **GWP** relative to CO₂ at different time horizon for various greenhouse gases.

Gas name	Chemical formula	Lifetime (years)	Global warming potential (GWP) for given time horizon		
			20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See above	1	1	1
Methane	CH ₄	12	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	289	298	153
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	11 000	10 900	5 200
HCFC-22	CHClF ₂	12	5 160	1 810	549
Tetrafluoromethane	CF ₄	50 000	5 210	7 390	11 200
Hexafluoroethane	C ₂ F ₆	10 000	8 630	12 200	18 200
Sulfur hexafluoride	SF ₆	3 200	16 300	22 800	32 600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	740	12 300	17 200	20 700

The battle against global warming:
an absurd, costly and pointless crusade

White Paper

drawn up by the

Société de Calcul Mathématique SA
(*Mathematical Modelling Company, Corp.*)

KRAJ



WE SHOULD MONITOR OUR
ROLE IN GLOBAL WARMING SO
WE DON'T END UP LIKE VENUS.

Ozon O_3

Ozon je plin blijedo plave boje sastavljen od tri atoma kisika.

U Zemljinoj atmosferi dolazi u malim koncentracijama (0,001% zraka).

Ukupna koncentracija atmosferskog ozona mjeri se u tzv. Dobsonovim jedinicima (DU).

Jedna Dobsonova jedinica ekvivalentna je 0,01 mm debljine čistog ozona pri gustoći koju bi imao kad bi se doveo na površinu Zemlje gdje je pritisak 1 atm i temperatura 0°C .

Neki autori (rjeđe) upotrebljavaju umjesto Dobsonove jedinice jedinicu miliatmosfera centimetar (matm cm) gdje je $1 \text{ matm cm} = 1 \text{ DU}$

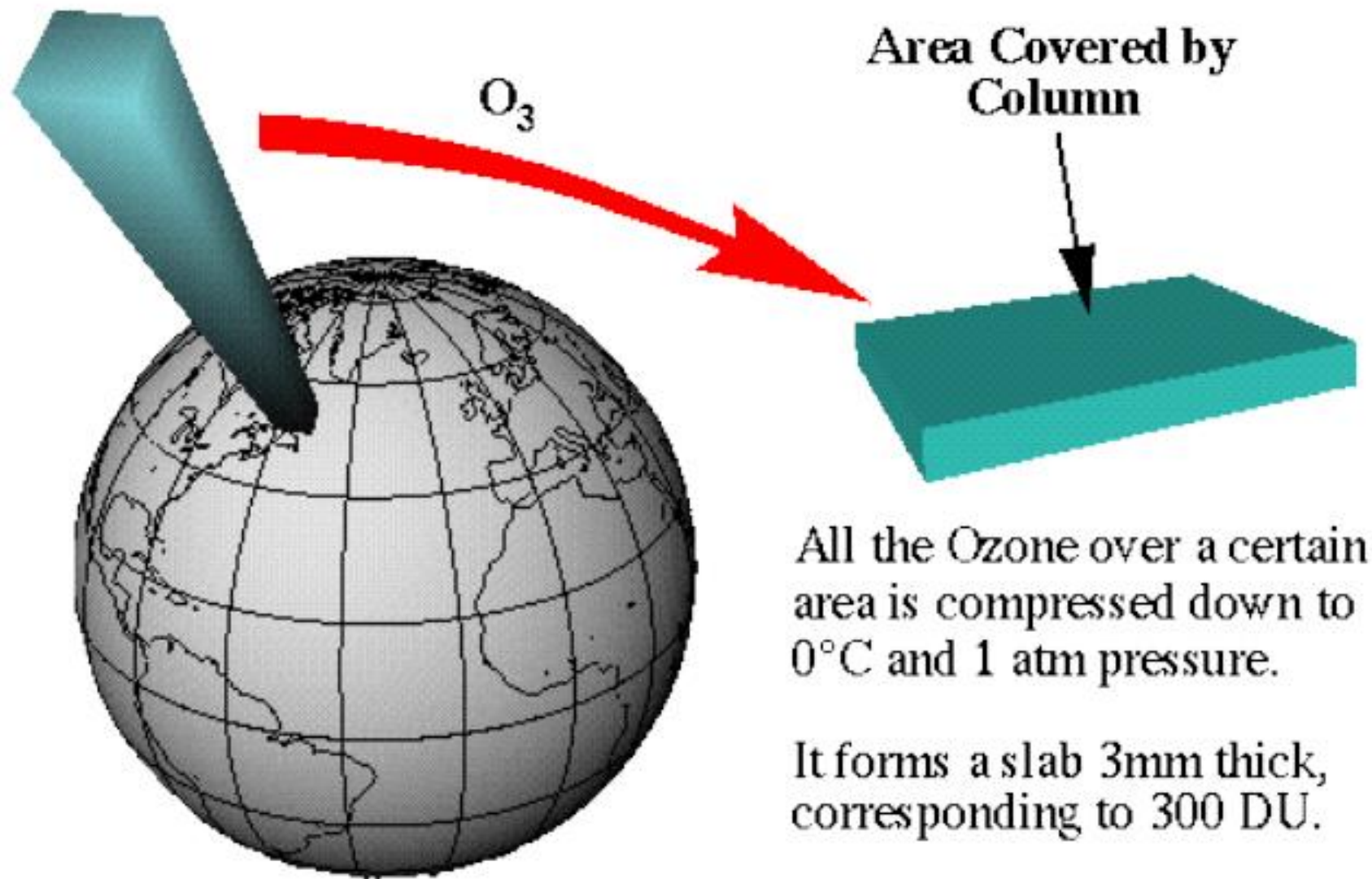
Nalazi se u dva sloja zemljine atmosfere

- ~90% u stratosferskom sloju (ozonosfera, 20-50 km n.v.) tzv 'ozonski omotač' – zaštitna uloga, upija najveći dio UV-B zraka
- ~10% u nižim dijelovima atmosfere (do ~ 10 km od Zemljine površine, u troposferi).

Stanjenje ozonskog sloja dovodi do povećanog prolaza UV zraka

Izračunato je da smanjenje koncentracije ukupnog ozona od 1% rezultira u 2% porasta intenziteta UV-B zračenja na razini površine Zemlje.

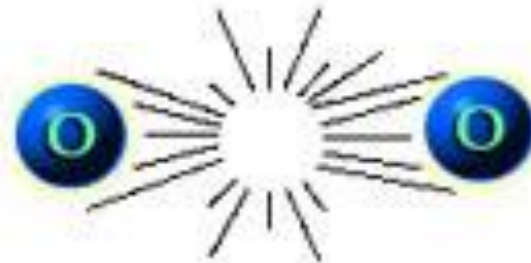
U prosjeku ukupni sadržaj ozona u umjerenom klimatskom području je oko 350 DU; to znači kad bi se sav ozon rasprostro po površini Zemlje sloj čistog ozona bio bi debljine od samo 3,5 mm.



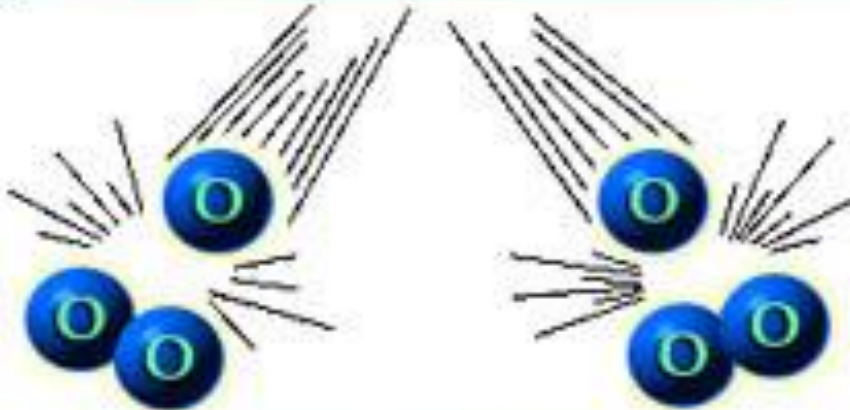
OZONE PRODUCTION IN THE STRATOSPHERE



"High-energy" ultraviolet radiation strikes an oxygen molecule. . .



. . .and causes it to split into two free oxygen atoms.

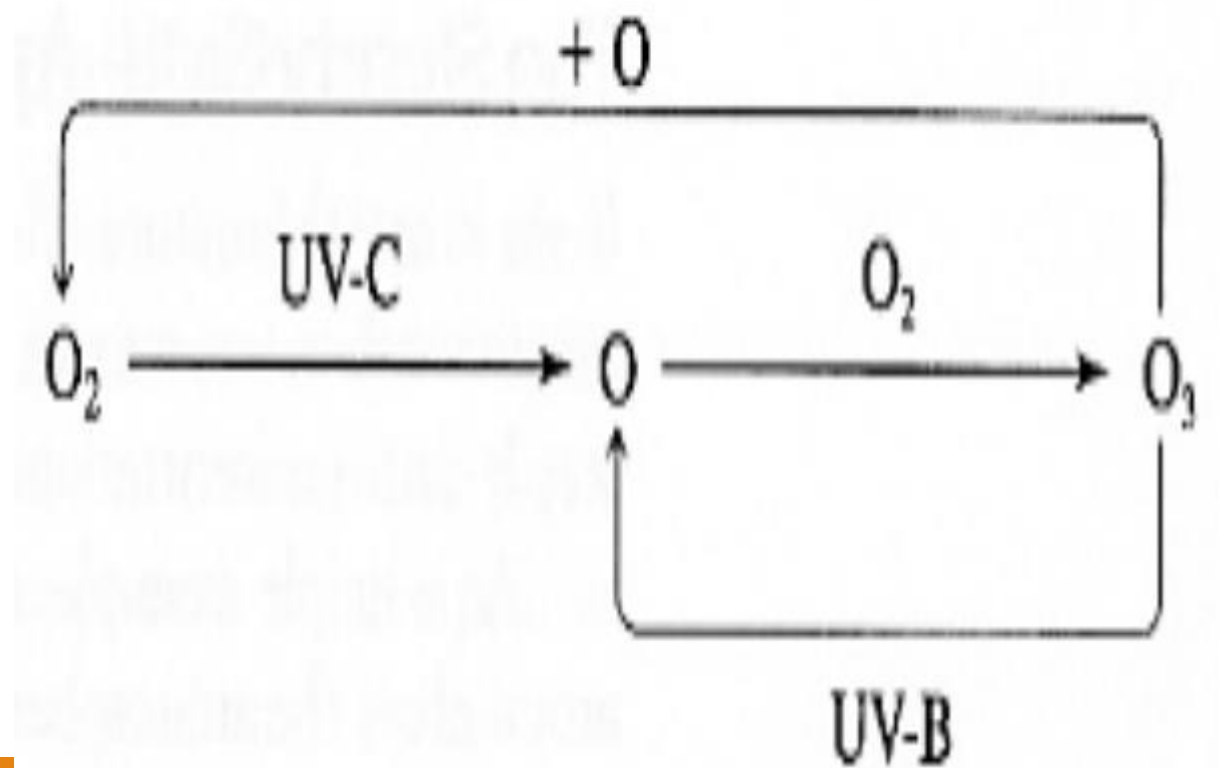


The free oxygen atoms collide with molecules of oxygen. . .



. . .to form ozone molecules.

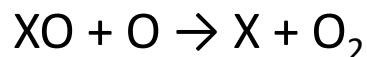
Chapmanov mehanizam ili ciklus



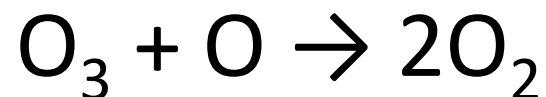
Dolazi do neželjenog smanjenja ozonskog sloja i razgradnja ozona uslijed unosa slobodnih radikala, prvenstveno klora i broma



XO –molekule reagiraju jedna za drugom sa atomima kisika pri čemu nastaje O₂ i ponovo molekula X, prema



Ukupna reakcija koja se odnosi na ovaj reakcijski mehanizam dobiva se kao algebarska suma uzastopnih koraka koje se uzastopno ponavljaju u stratosferi u određenim jedinicama vremena.



Prema tome vrsta X se naziva katalizator ili katalitička tvar za razgradnju ozona u stratosferi jer ona ubrzava reakciju (ovdje između O_3 i O) ali se i ponovo stvaraju u istom obliku i mogu, što je naročito važno, započeti ciklus ponovo sa – u ovom slučaju- destrukcijom ozona.

Najznačajniji plinovi, koji uništavaju O_3 , a koji ujedno, osim navedenog, imaju značajan utjecaj na globalnu klimu, su klorofluorouglicidi (freoni), i to: CFC- 11 ($CFCl_3$), CFC- 12 (CF_2Cl_2) i CFC- 13 ($CF_2ClCFCl_2$) (IPCC, 2007).

A. Einstein

M. Planck

R. A. Millikan



von Laue
Nobelova
Nagrada 1914

W. Nernst
Nobelova nagrada
1920 (iz nerazije)

Nobelova nagrada
1905

Nobelova nagrada
1918

Nobelova nagrada
1923