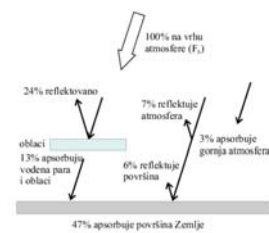


Температура планета

- Алbedo и Планкова температура
 - Размена енергије са васионом – зрачењем
 - Температура планета константна – постоји равнотежа емитоване и апсорбоване енергије
 - Колика су температуре планета Земљиног типа?
 - Зависи од количине топлоте која дође до планете и њене рефлективности
 - Претпоставимо за почетак да планете немају атмосфере

1

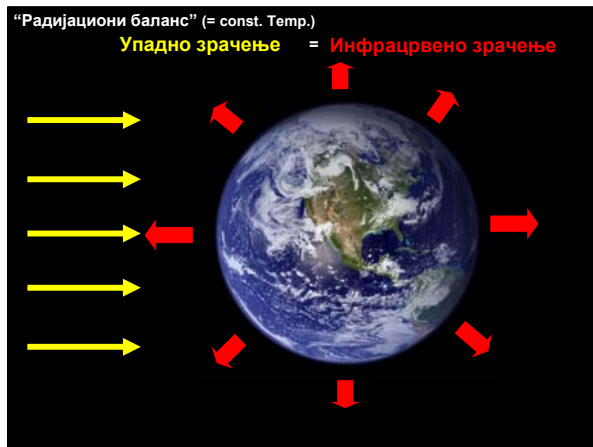
Алbedo



Slika 2.22: Prosečni energetski budžet sisteme Zemlja-atmosfera.

- Рефлектовано,
 - 24%
 - 7%
 - 6%
 - =37% или 0,37
- Апсорбовано
 - 13%
 - 3%
 - 47%
 - =63% или 0,63

2



- Планета се загрева до неке температуре и зрачи као црно тело
- Штефан-Болцманов закон – са целе површине у јединици времена се израчи енергија $4\pi r^2 \sigma T_p^4$.
- Она мора да буде једнака примљеној енергији у јединици времена $(1 - a) F_s \pi r^2 = 4\pi r^2 \sigma T_p^4$,
- Температуре планете (Планкова температура) је

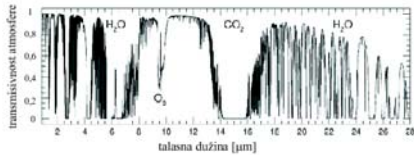
$$T_p = \left(\frac{F_s(1 - a)}{4\sigma} \right)^{1/4}$$

ИС зрачење и ефекат стаклене баште

- Планкова температура Земље 249 K
- Земља зрачи као црно тело те температуре
- Винов закон даје таласну дужину на којој она максимално зрачи (ИЦ област)

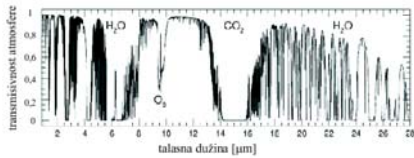
$$\lambda_{max} = \frac{0,0029}{249} = 11,6 \mu\text{m}.$$

5



- Гасови у атмосфери могу и да апсорбују и да пропусте зрачење
- Са слике се види на којим таласним дужинама је највећа апсорпција и код којих гасова је то случај.
- Трансмисивност атмосфере за терестрично зрачење = однос интензитета зрачења које је прошло кроз атмосферу и интензитета зрачења које је емитовано са површине Земље
- Таласне дужине на којима је интензивна апсорпција спадају у ИЦ област а Земља баш најинтензивније зрачи у тој области!

6

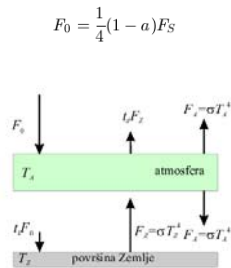


- CO₂ апсорбује највише на 15 µm (и 4,3 µm)
- H₂O такође добро апсорбује ИЦ зрачење
- Атмосфера генерално добро апсорбује у области 12-15 µm - близу таласне дужине на којој Земља максимално зрачи
- Задржавање ИЦ зрачења у атмосфери изазива додатно загревање Земље – **ефекат стаклене баште**
- **Повећава температуру Земље са Планкове температуре (249 К) на измерену (288 К)-**

7

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Укупни флуке (краткоталасног) зрачења које стиже до Земље се дели на целу њену површину = F_0
- Не долази сво зрачење до гла – део се апсорбује. $t_k F_0$ долази до површине Земље
- Гло се загрева до температуре T_Z и зрачи у ИЦ области (дуготаласно)
- Зрачи по Штефан-Болцмановом закону $F_Z = \sigma T_Z^4$
- Део зрачења се апсорбује а део $t_d F_Z$ пролази кроз атмосферу
- Апсорбовано зрачење загрева атмосферу до температуре T_A и она такође зрачи као црно тело
- Зрачи по Штефан-Болцмановом закону $F_A = \sigma T_A^4$

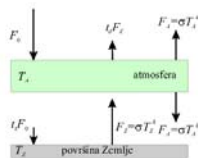


$$F_0 = \frac{1}{4}(1 - a)E_S$$

8

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Земља је у термалној равнотежи па важи
- Елиминација флука атмосфере даје флуке Земље
- Зрачи по Штефан-Болцмановом закону $F_Z = \sigma T_Z^4$
- Одавде се добија температура Земље



$$F_0 = F_A + t_d F_Z$$

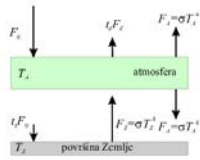
$$F_Z = F_A + t_k F_0$$

$$F_Z = F_0 \frac{1 + t_k}{1 + t_d}$$

$$T_Z = \left(\frac{F_0(1 + t_k)}{\sigma(1 + t_d)} \right)^{1/4}$$

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Уколико нема апсорпције је $t_d = t_k = 1$
- Добија се резултат за планету без атмосфере (249 K) – сложенији модел обухвата претходни једноставнији!
- Атмосфера је добро пропушта краткоталасно зрачење са Сунца ($t_k = 0,9$) а мало пропушта дуготаласно са Земље ($t_d = 0,1$)



$$T_z = \left(\frac{F_0(1 + t_k)}{\sigma(1 + t_d)} \right)^{1/4}$$

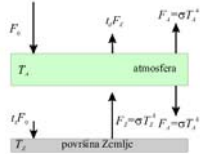
$$F_Z = 1,72 F_0$$

$$T_z = (1,72)^{1/4} 255 \text{ K} \approx 285 \text{ K}$$

10

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Може да се добије и температура атмосфере
- Недостаци модела
 - Не узима у обзир географску ширину
 - Атмосфера као једнослојна
 - Није динамички модел (нису узети у обзир: ветар, облаци, пренос топлоте од екватора ка половима, ефекти вегетације на алbedo, ...)



$$F_0 = F_A + t_d F_Z$$

$$F_Z = F_A + t_k F_0$$

$$F_A = F_0 \frac{1 - t_k t_d}{1 + t_d}$$

$$T_A \approx 238 \text{ K}$$

11

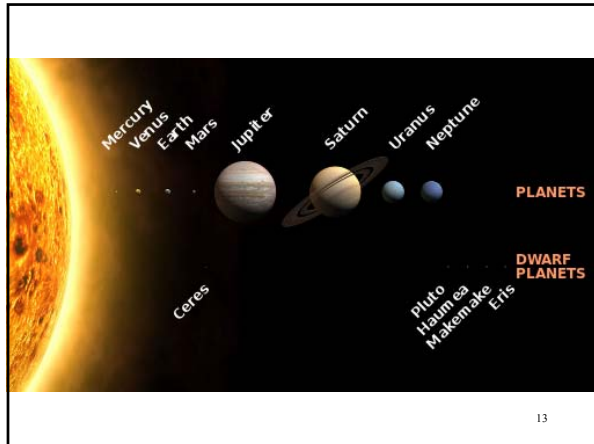
Ефекат стаклене баште на унутрашњим планетама Сунчевог система

Planeta	Procenat gasova staklene baste u atmosferi	T_p [K]	$T_{s,r}$ [K] baste	iznos efekta
Merkur	nema atmosfere	443	363	0
Venera	90% CO ₂	253	750	497
Zemlja	0,03% CO ₂ , 1% H ₂ O	249	288	39
Mars	90% CO ₂	218	213	5

Tabela 2.2: Efekat staklene baste na terestričnim planetama.

- Меркур практично нема атмосферу
- Венера је ближа Сунцу али јој је атмосфера веома рефлективна
- Планкова температура је тек мало већа од Земљине
- Измерена температура је пак 500 K виша!
- Услед специфичног састава атмосфере ефекат стаклене баште је јако изражен

12



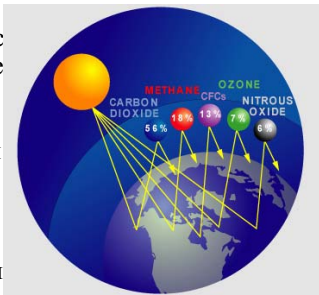
Поларни молекули апсорбују фотоне ИЦ зрачења јер њихова енергија одговара разлици осцилаторних (вибрационих) енергијских нивоа молекула.

Тако се повећава вибрациона енергија молекула и такође расте и температура као енергија која прелази на друге молекуле приликом судара

- водена пара
 - није добро “промешана”-процент јој варира од мање од 0,01% до више од 3%
- угљен диоксид
 - има дуго време боравка у атмосфери и добро је “промешан”-практично је једнако заступљен око Земље
- остали гасови стаклене баште
 - природни
 - метан, азотни оксиди, озон
 - вештачки
 - хлорфлуорокарбонати, хидрофлуорокарбонати

Допринос гасова ефекту стаклене баште

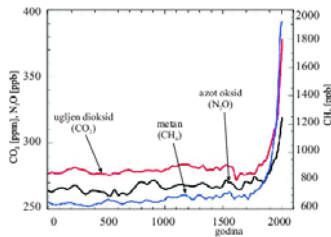
- Највише допринос CO_2 (јер апсорбује близу најефикасније таласне дужине) и H_2O (јер га има највише)
- Метан, CFC, оксиди азота, озон
- ...



16

Глобално загревање

- Повећање просечне температуре Земље изазвано повећањем концентрације гасова стаклене баште
- Последица вештачког ефекта стаклене баште
- Мерења концентрације CO_2 почела 1870.
- Како су добијени подаци за раније периоде?
- Из ваздуха екстрахованог из поларног леда са одређених дубина

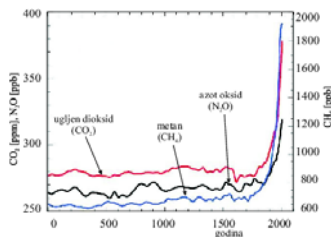


Slika 2.25: Koncentracija gasova staklene bašte od 0. do 2005. godine

17

Глобално загревање

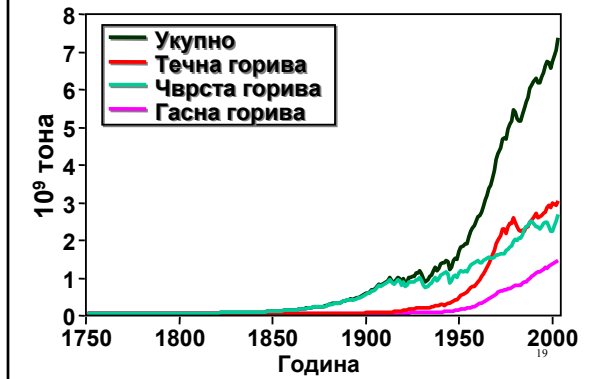
- % учешће гасова
 - CO_2 , 55%
 - H_2O , 15%
 - CFC-12, 21%
 - N_2O , 4%
 - Тропосферски озон 2%
 - Остали 3%
- Предвиђања свих модела су 1,5 K у наредних 70 година (уколико се настави тренд пораста концентрације гасова)
- Разне последице – подизање нивоа мора **услед термалног ширења** воде
 - На 5°C релативан пораст запремине 1×10^{-4}
 - а на 25°C је 3×10^{-4}
 - Последица пораста нивоа мора од 3 cm



Slika 2.25: Koncentracija gasova staklene bašte od 0. do 2005. godine

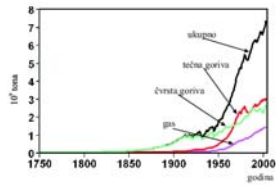
18

Светска емисија угљен диоксида



CO₂

- Раст концентрације почео пре око 200 година (инд. рев.)
- Промена тренда раста на мањој скали – последица промене годишњих доба
 - На северној хем. Пролете – развијају се билке и апсорбују CO₂ из атмосфере па му се концентрација смањује
 - Када је јесен, билке умиру и концентрација CO₂ расте
 - На јужној хемисфери нема толиких осцилација – тамо је површина под тлом мања

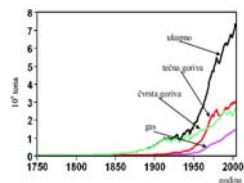


Slika 2.26: Porast količine CO₂ u atmosferi u poslednjih 200 godina.

20

CO₂

- Мерења
 - Јужни пол,
 - Аљаска,
 - Америчка Самоа,
 - Мауна Лоа, ...
- Сви извори повећања су антропогеног порекла
 - Сагоревање фосилних горива
 - Крчење шума
- Годишња производња из антропогених извора око 9,4 Gt
- Како знамо када меримо концентрацију CO₂ да је он потекао из антропогених извора?
 - Угљеник у CO₂ у атмосфери се јавља у облику два стабилна изотопа ¹²C (99%) и ¹³C (1%)
 - Из **вештачких** извора се емитује CO₂ код кога је процентуална заступљеност ¹²C и ¹³C другачија



Slika 2.26: Porast količine CO₂ u atmosferi u poslednjih 200 godina.

21

метан - CH₄

Концентрација порасла

- Са 700 ppb на 1775 ppb (2005.)
- Из непознатог разлога је данас стабилна

Извори:

- пиринчана поља
- мочваре
- уништавање шума
- стока

22

N₂O Азот субоксид

Концентрација порасла

- Са 275 ppb на 320 ppb (2005.)
- Данас расте линеарно док CFC опада – очекује се да оксиди азота постану трећи по важности гас стаклене баште

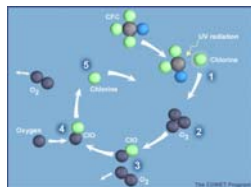
Извори:

- Ђубрење ораница вештачким ђубривима
- уништавање шума

23

CFC

- Вештачки молекули произведени средином двадесетих година (за прављене пластичних маса и у расхладним уређајима)
- Разграђују стратосферски озон
- У тропосфери су гас стаклене баште
- Међународним уговорима је смањена њихова производња па им концентрација у атмосфери опада



Процена ефекта

- Када концентрација гасова стаклене баште расте ($C_0 \rightarrow C$), температура атмосфере расте.
- Количина – концентрација гасова стаклене баште се мери у “еквивалентној концентрацији CO_2 ”
- Процењена варијација у температури зависи од модела

$$\Delta T_1 = \tau \ln \frac{C}{C_0}$$

тачнија формула

$$\Delta C = C - C_0, \tau = 6,1K$$

$$\Delta T_2 = \tau \frac{\Delta C}{C_0}$$

приближна формула
– важи за мале
разлике у
концентрацијама

25

Процена ефекта

- Нпр. 285 ppm (1850.) и 360 ppm (1990.)

$$\Delta T_1 = \tau \ln \frac{C}{C_0}$$

$$\Delta T_1 = 6,1 K \ln \frac{360}{285} = 1,4 K,$$

$$\Delta T_2 = \tau \frac{\Delta C}{C_0}$$

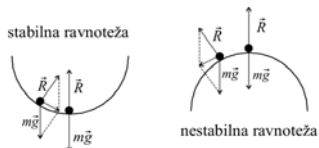
$$\Delta T_2 = 6,1 K \frac{360 - 285}{285} = 1,6 K.$$

Разлика око 13%

26

Поремећај радијационе равнотеже

- Систем у равнотежном стању
- Равнотежа:
 - Стабилна
 - Лабилна
 - Индиферентна



Slika 2.12: Stabilna i nestabilna (labilna) ravnoteža u gravitacionom polju.

27

Поремећај радијационе равнотеже

- Земља је у термалној равнотежи
 - Флукс соларног (краткоталасног) зрачења је једнак флуку терестричног (дуготаласног) зрачења
- F_0 је упадни – нерелефлексивани соларни флукс
- T_r је равнотежна температура на којој Земља зрачи

$$F_0 = \sigma T_r^4,$$

28

Поремећај радијационе равнотеже

- Шта ако дође до пертурбовања овог стања?
 - Нпр. наглим ослобађањем неке количине топлоте у атмосферу (сагоревањем велике количине фосилних горива или термонуклеарном експлозијом)
 - При њеном ослобађању температура атмосфере порасте за $(\Delta T)_0$ (0 се односи на почетни временски тренутак)
- Терестрични флукс се повећа (бива већи од соларног – поремећена равнотежа) па се услед њега промена температуре Земље смањује са временом по формули

$$F_0 = \sigma T_r^4,$$



$$\sigma (T + (\Delta T)_0)^4$$

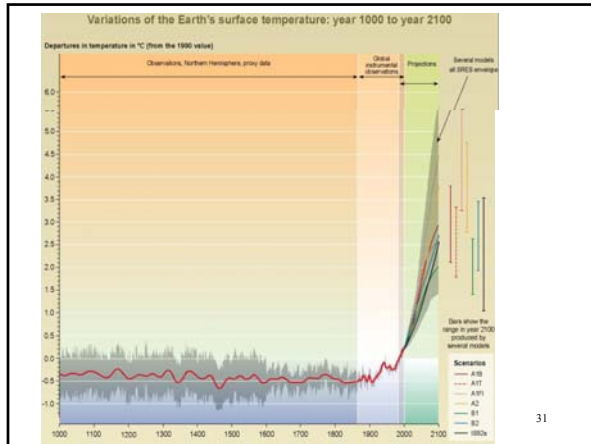
$$\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-\frac{t}{\tau_R}}$$

$$\tau_R = 2,9 \times 10^6 \text{ s} = 34 \text{ dana}$$

Поремећај радијационе равнотеже

- Шта ако дође до пертурбовања овог стања?
- Терестрични флукс се повећа па се услед њега промена температуре Земље смањује са временом по формули $\tau_R = 2,9 \times 10^6 \text{ s} = 34 \text{ dana}$
- Уколико је почетна пертурбација 1 K
 - након 34 дана се смањује на 0,37 K $\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-1}, \quad t = \tau_R$
 - Након 68 дана на 0,13 K $\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-2}, \quad t = 2\tau_R$
 - А након 104 дана на 0,05 K $\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-3}, \quad t = 3\tau_R$
 - Након стотињак дана постаје занемарљива

30



глобална захлађења?

- краткотрајна – вулкани
- дуготрајна – изазвана глобалним загревањем!?

Значај морских струја

- Голфска струја – носи топлу воду која по површини Атлантика иде на север, пролази крај Велике Британије, носи и топао ваздух и при томе загрева области кроз које пролази. Хладније вода, као гушћа пада доле и иде ка екватору – струјни прстен
- глобално загревање може довести до глобалног захлађења-залеђења (big freeze)
- топљење леда на Гренланду (од слатке воде) доводи ту воду у океан, она је ређа од слане воде и не може да потоне на дно, тако да би то могло да доведе до заустављања струјног прстена
- нпр. лед на Гренланду је 60-их година био дебео око 3 метра а сада је око 2 метра
- предвиђање – за око 50 година неће бити више леда на Арктику

Значај морских струја

- према рез. истраживања овако нешто се десило пре око 13.000 година – струјни прстен је вероватно стао,
- у наредних 20-ак година се очекује да температура у Великој Британији опадне за око 10 степени
- утицај вулкана: они могу да доведу само до краткотрајних периода захлађења – вулкански пепео у коме има доста сумпор диоксида рефлектује сунчеве зраке па на земљу долази мање топлоте.
- има индикација да се овако нешто десило пре пар хиљада година.

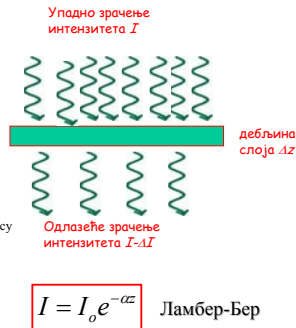
34

Ламбер-Беров закон (апсорпције)

- Нека је I интензитет зрачења по јединици површине
- ΔI промена у интензитету у слоју дебљине Δz услед апсорпције
- она је облика

$$\Delta I = -\alpha I \Delta z$$

- објашњење
 - “минус” јер се интензитет смањује,
 - што је већи упадни интензитет већи су и губици
 - што је дужи пређени пут већи су губици
 - α - коефицијент апсорпције
- Како међутим I зависи од пређеног пута?



35
