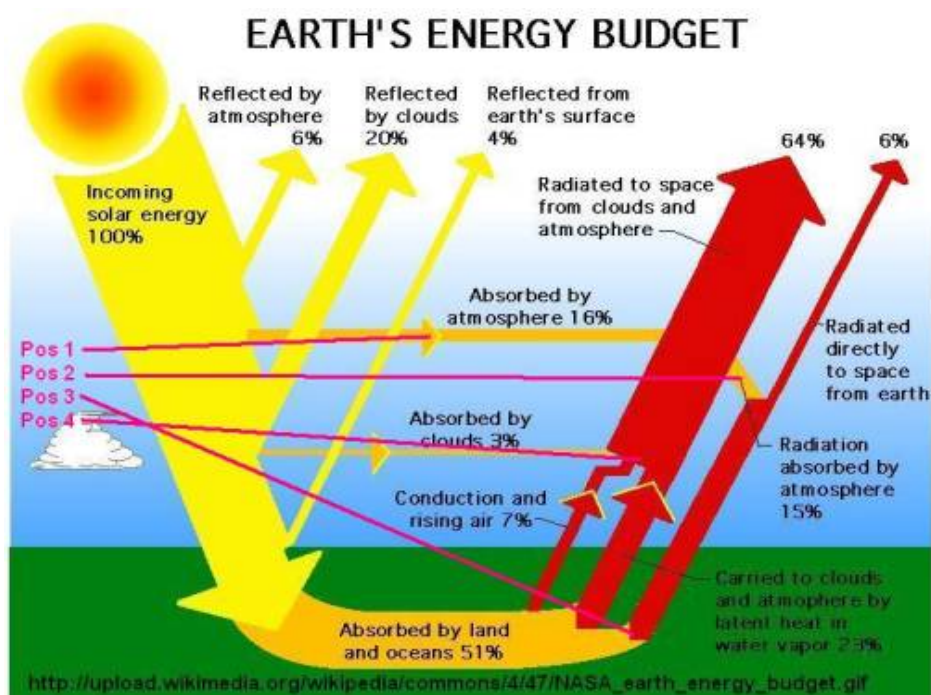


## Miért hűti a CO<sub>2</sub> a Föld felszínét

Dr. Theo Eichten, München; Hanau; Professor Dr.-Ing. Vollrath Hopp<sup>1</sup>, Dreieich; Dr. Gerhard Stehlik<sup>2</sup>, Dr.-Ing. Edmund Wagner, Wiesbaden; © April 2014

A NASA<sup>3</sup> publikálta a legrealisabb grafikus reprezentációját azon energiafluxusoknak, melyek a Napból a Földre, a Földről pedig a világűrbe folynak (1. ábra). Egy hasonló reprezentáció az IPCC<sup>4</sup>-től is rendelkezésre áll. Kvalitatíve, a NASA és az IPCC mért fluxusértékei lényegében nem különböznek. Továbbá, a NASA és az IPCC numerikus értékeinek különbségei nem befolyásolják bizonyításunkat, miszerint a CO<sub>2</sub> hűti a Föld felületét.

1. Ábra:



A sárga és okker nyilak az 1. ábrán a Földet érő összes sugárzási fluxust mutatják (százalékban), s ezek különböző komponenseit. Három fluxus (sárga) visszaverődik (6% + 20% + 4% = 30%). Három másikat (okker) elnyel az atmoszféra vagy a Föld felszíne (16% + 3% + 51% = 70%). A két okker nyilat hosszú vízszintes nyilak mutatják. Egyikük (16%) a felső atmoszférát, a másik (3%) a felhőket melegíti. A napsugárzás bármilyen abszorpciója az atmoszféra vagy a felszín által a Föld fűtésének egy tényezőjét jelenti. Minden hő-fluxus (piros) felfelé megy. Egy sem megy lefelé.

A Föld melegítése a Nap által elemi és vitathatatlan tény, miként az is, hogy a szoláris sugárzás hol helyezkedik el az elektromágneses spektrumon belül (2. ábra). Nyilvánvaló az is, hogy a Föld nem tudja önmagát melegíteni. Következésképp,

<sup>1</sup> Convenor Working Group Environment Engineering, VDI Darmstadt - Frankfurt am Main (<http://www.vdi.de>)

<sup>2</sup> Levelező szerző: Dr. Gerhard Stehlik ([gerhard.stehlik@gmx.de](mailto:gerhard.stehlik@gmx.de)), GDCh Senior Expert Chemist (<https://www.gdch.de>)

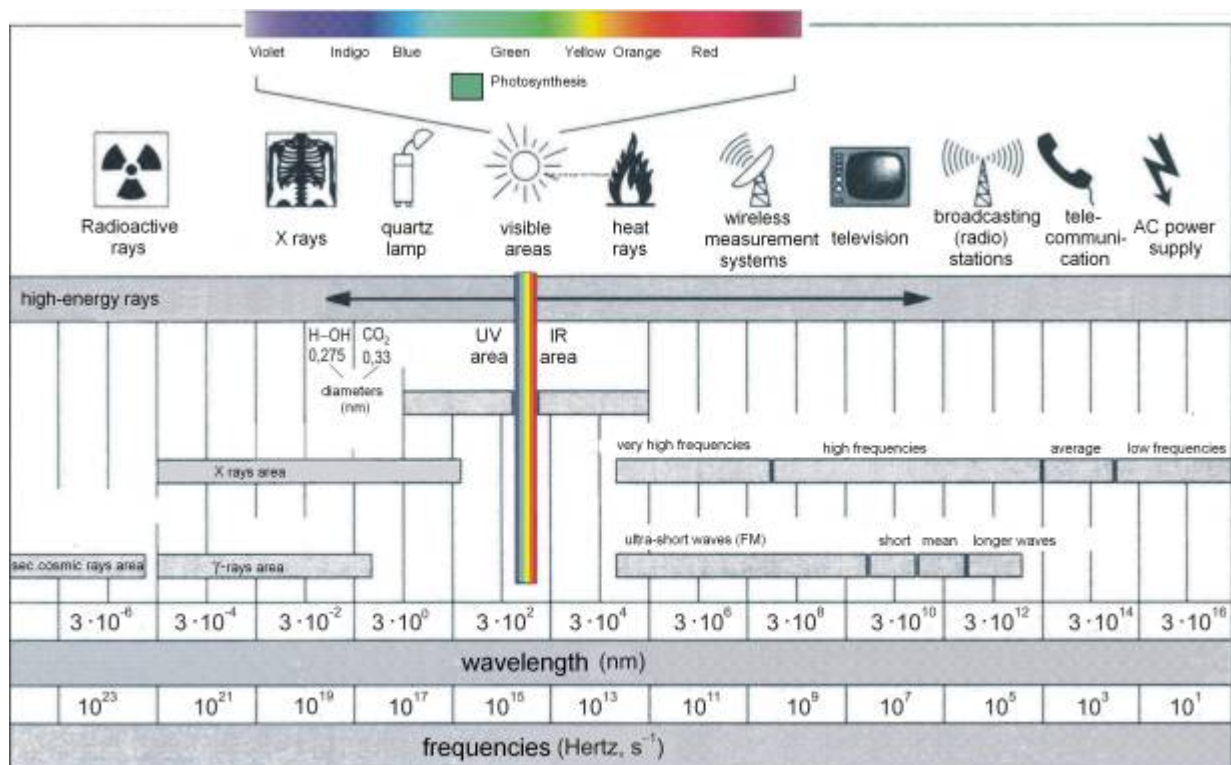
<sup>3</sup> NASA - National Aeronautics and Space Administration, USA

([http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA\\_earth\\_energy\\_budget.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA_earth_energy_budget.gif))

<sup>4</sup> IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Frequently Asked Question 1.1 „What Factors Determine Earth's Climate“ Page 94 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

semmilyen kémiai anyag nem melegítheti önmagát<sup>5</sup>. Ez vonatkozik a CO<sub>2</sub>-re is. Ha a CO<sub>2</sub> felmelegszik, az energiát valami más kell szolgáltatassa.

## 2. Ábra: (Az elektromágneses spektrum nanométerben (nm) megadva)



The spectrum of the electromagnetic radiation in nanometers (nm)

Diameter of a water molecule: 0.275 nm  
Diameter of a CO<sub>2</sub> molecule: 0.33 nm (dynamically) or 0.4 (statically)

A melegedés egyetlen forrása a szoláris sugárzás. Ezzel szemben, a Föld hűlése nem csak hősugárzást foglal magába, hanem mechanikai hőátadást és a víz párolgását is. Tehát a hűtés tényezői bonyolultabbak. Három energia-fluxus (piros) halad a Föld felszínétől a világűr felé, miként azt az 1. ábra mutatja.<sup>6</sup>

A Föld hűlése a felszínen a következő három felfelé mutató fluxussal indul: Az első fluxus (7%) a mechanikai hőátadást jelenti, beleértve a felfelé haladó hőmozgásokat. A második és legfontosabb fluxus (23%) a víz elpárolgása által okozott hűtés. A harmadik fluxus (21%) a felfelé irányuló hő- (elektromágneses) sugárzás okozta hőveszteség. Ez a fluxus két különálló fluxusra hasad, az egyik (15%) az atmoszférába sugárzódik ki, a másik (6%) közvetlenül az űrbe emittálódik. A három hűtő tényező összege (51%) a felszínen egyenlő a felszín Nap általi melegítésével.

A Nap sugárzása mindig lefelé irányul (70%), kivéve a három reflexiót (30%). A hősugárzás mindig felfelé folyik: 64% az atmoszférába és 6% az űrbe. Az atmoszférából származó, lefelé irányuló hősugárzás nem létezik. Egy +33°C fokos üvegház-hatás a termikus sugárzás egy ilyen lefelé irányuló fluxusát követelné meg.

**A felszínről az atmoszférába irányuló (Pos 2) hősugárzási fluxus (15%) a döntő érv arra nézve, hogy a CO<sub>2</sub> hűti a Föld felszínét. Mivel ez a hősugárzás a Föld felszínétől elfelé folyik, nem lehet a felszín melegedésének egy tényezője.**

<sup>5</sup> A látszat az, hogy a fehér foszfor magától felmelegszik, egészen öngyulladásig. Valójában a hőmérséklet azért emelkedik, mert a fehér foszfor és az oxigén kémiai energiája hővé alakul. Ez a szabály minden égési folyamatnál.

<sup>6</sup> Position 2 egy kivétel.

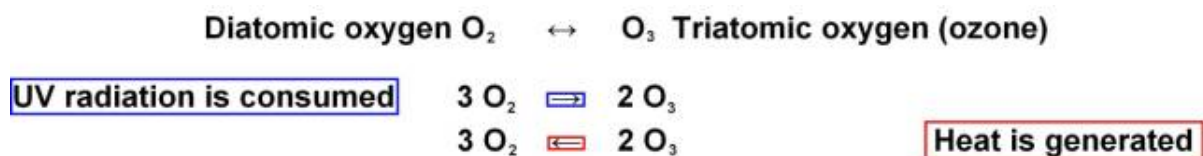
A következőkben az atmoszféra legfontosabb összetevőinek (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> és O<sub>2</sub>) különböző molekuláris kémiai tulajdonságait tárgyaljuk. Ezekből a tulajdonságokból aztán le fogjuk vezetni a CO<sub>2</sub> hűtő hatását.

Az energia-fluxusokat néhány releváns tudományos törvény írja le. Az egyik tudományos törvény az energia összegének megmaradását kimondó törvény<sup>7</sup>. E törvény érvényes a Föld minden részegységére, de nem igaz a Napra mint energiatermelőre és a világűrre sem, mint az energia végtelen nagy "süllyesztőjére." Tehát, a törvény csak a Föld felszíne és atmoszférája közti energiacsereére érvényes. Egy másik alapvető tudományos törvény azt mondja, hogy a testek lehűlnek, ha energiát adnak le és felmelegszenek energia felvételekor. A sugárzó energia hőenergiává alakulása csak az anyag közreműködésével lehetséges. A termodinamika II. főtétele azt mondja ki, hogy a hőenergia nem alakítható át teljes mértékben hasznos energiává (munkává). Mindezek a törvények a Föld feletti vízszintes energiacsere esetében relevánsak, de nem vonatkoznak az 1. ábrán jelölt felfelé és lefelé irányuló energiafluxusokra a Nap, a Föld és a világűr között.

Sugárzás általi melegedés csak akkor lehetséges, ha a sugárzás elnyelődik, abszorbeálódik és nem csak egyszerűen áthalad egy testen, mint átlátszó anyagok, pl. üveg vagy víz esetén. Miként lentebb tárgyaljuk majd, az atmoszféra fő összetevői, a nitrogén (N<sub>2</sub>) és az oxigén (O<sub>2</sub>), majdnem a teljes lefelé irányuló napsugárzást<sup>8</sup> átengedik a Föld felszíne felé, és minden felfelé haladó termikus sugárzást átengednek az űrbe. Sem a szoláris sugárzás, sem a hősugárzás nem melegíti ezeket, mert ezek nem tudják elnyelni a sugárzást. A sugárzás abszorpciója, illetve emissziója azt involválja, hogy az atomok és molekulák mozgásai (rezgés, forgás) gyorsabbá (melegebbé) válnak az abszorpció által, vagy lassúbbá (és hidegebbé) emisszió során. Általánosan, N<sub>2</sub> és O<sub>2</sub> nem tudnak abszorbeálni vagy emittálni sugárzást, mivel nincs dipólusmomentumuk (ld. lentebb).

Ugyanakkor, miként az 1. ábra mutatja, a szoláris sugárzás két fluxusát (16% and 3%) elnyeli az atmoszféra és a felhők. Ez felveti a kérdést, hogy valójában milyen molekulák nyelik el ezt a sugárzást.

A 'Pos 1'-ként jelölt fluxus (16%) a Nap UV-sugárzásának felel meg. Ezt az O<sub>2</sub> molekula abszorbeálja és hővé alakítja, az alábbi két ózon-folyamat során:



Miként az ózon-folyamat előtt, az O<sub>2</sub> és O<sub>3</sub> molekulák változatlanul megvannak a folyamat után. Ezt hívják kémiai egyensúlynak. Ezért, összességében az ózon-folyamat nem más, mint a Nap UV-sugárzásának 100%-os konverziója a légkör hőjévé. Az ózon-folyamat nem felel meg a Planck-féle sugárzási törvénynek.

A napsugárzás 3% -nyi, felhők által elnyelt fluxusa a Nap IR-sugárzását képviseli, melyet a felhők folyadék-vízcseppjei abszorbeálnak. Mivel folyadékállapotban nagy a molekulák sűrűsége, a folyadékállapotú víz IR-abszorpciója sokkal nagyobb, mint a gázállapotú H<sub>2</sub>O molekuláké.

<sup>7</sup> A Föld felszínével párhuzamos vízszintes energia fluxusok - mint pl. egy terület lehűlése hideg szél miatt, vagy melegedése meleg szél következtében - nem érintik a Föld energia-háztartását, mert ezekben az energiamegmaradás törvénye érvényesül.

<sup>8</sup> Kivételt képez az UV-napfény ózon-folyamata (position 3)

Most visszatérünk a CO<sub>2</sub> általi hűtésre vonatkozó kulcsfontosságú érvelésünkhöz. Ez megköveteli, hogy közelebbről megvizsgáljuk a Föld felszínéről az atmoszférába irányuló sugárzási fluxust (Pos 2). Ez a fluxus azért létezik, mert a CO<sub>2</sub> általi emisszió a világűr felé mindig nagyobb, mint annak a sugárzásnak az abszorpciója, mely a Föld felszínéről jön felfelé.

Kiindulásul fentebb megjegyeztük, hogy a Föld, s így egyetlen kémiai anyag sem képes magát melegíteni. Ugyanakkor, szinte minden anyag képes lehűlni Newton Hűtési Törvénye szerint azért, hogy a termikus sugárzást irreverzibilisen az űrbe emittálja. Van azonban néhány kivétel, többek között néhány kémiai molekula, melyek nem képesek a newtoni Hűtési Törvény szerint lehűlni. Ennek az az oka, hogy az elektromágneses sugárzás emissziójának (vagy abszorpciójának) az a feltétele, hogy a molekuláris rezgések (és/vagy forgások) során meg kell változnia a dipólusmomentumnak. Az N<sub>2</sub> és O<sub>2</sub> molekulák szimmetrikusak és teljesen apolárisak, így tehát nincs elektromos dipólusmomentumuk<sup>9</sup>. Ilyen dipólusmomentum nélkül a molekulák termikus mozgásai nem képesek sem kibocsájtani, sem elnyelni elektromágneses sugárzást, sem a Napról, sem a Földről. A nitrogén és oxigén a légkör mintegy 97%-át alkotja. Következésképp, a légkör ~97%-a nem képes hűteni magát. Ez nagyon fontos a CO<sub>2</sub>-kérdés tárgyalásához.

Mindazonáltal, a felszínhez közeli atmoszféra éjszakai lehülést mutat. De az atmoszférát indirekt módon hűti a felszínnel való érintkezés. Éjjel a felület erősen hűl a felfelé irányuló hősugárzási emisszió folytán.

Szemben az N<sub>2</sub> és O<sub>2</sub> molekulákkal, Newton Lehülési Törvénye nagyonis érvényesül a kevésbé szimmetrikus, háromatomos H<sub>2</sub>O és CO<sub>2</sub> molekulákra, melyeknek a kémiai kötési erői erősen polárisak; így ezek erősen IR-aktív molekulák (ld. a 3. ábrát is). Szemléletesen, a légkör ~97%-nyi IR-inaktív tömegéhez kb. 2% -nyi, "többnyire IR-aktív Föld-anyag" keveredik, mely bizonyos mértékig "nyitottá teszi a világűr általi hűtés számára". A 2%-os számérték a H<sub>2</sub>O (~0% -tól ~4%-ig) és a CO<sub>2</sub> (0.04%, azaz 400 ppm) átlagos koncentrációjának összege. A H<sub>2</sub>O-t és a CO<sub>2</sub>-t "normális Föld-anyagként" emlegetik, mivel ezek az űrbe való hőemisszió által hűlnek, vagyis az űr hűti őket. A ~2m magasságban azonban, ahol a meteorológiai hőmérsékletet mérik, ezen légréteg hűlésében a felszín általi indirekt hűtés dominál. A H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> felfelé irányuló hősugárzásából adódó direkt hűtés – ezek kis, 2%-nyi koncentrációja miatt túl kicsi ahhoz, hogy releváns legyen.

Ugyanakkor, a "turbópauza"-ig tartó, teljes 75 km-es légköri oszlop energiamérlege egy egészen más szituáció. Ebben a vonatkozásban, a 2%-nyi H<sub>2</sub>O és CO<sub>2</sub> hozzákeverése elegendő ahhoz, hogy hűtse az oszlopot olyan értelemben, hogy az a magasság növekedésével, az űrhöz közelebb jutva egyre hidegebb. Miközben a légkört annak teljes, ~75 km-es térfogatában hűti az űr, a Föld felszínének űr általi hűtése szigorúan néhány cm mélységre korlátozódik. Ez magyarázza a légkör igen nagy (64%) hűtő kapacitását, illetve a Föld teljes felszínének (beleértve szárazföldeket és óceánokat) sokkal kisebb (6%) hűtési kapacitását.

A szoláris sugárzási fluxust tekintve, az atmoszférába jutó energia-input nem csak indirekt módon, a Föld felszínén történik (51%), hanem ehhez hozzájárul a Nap sugárzásának direkt abszorpciója is (16% + 3% = 19%). Ilyen módon a légkör a szoláris energia 70%-át kapja meg, ami több, mint amit a felszín kap (51%). Ennek

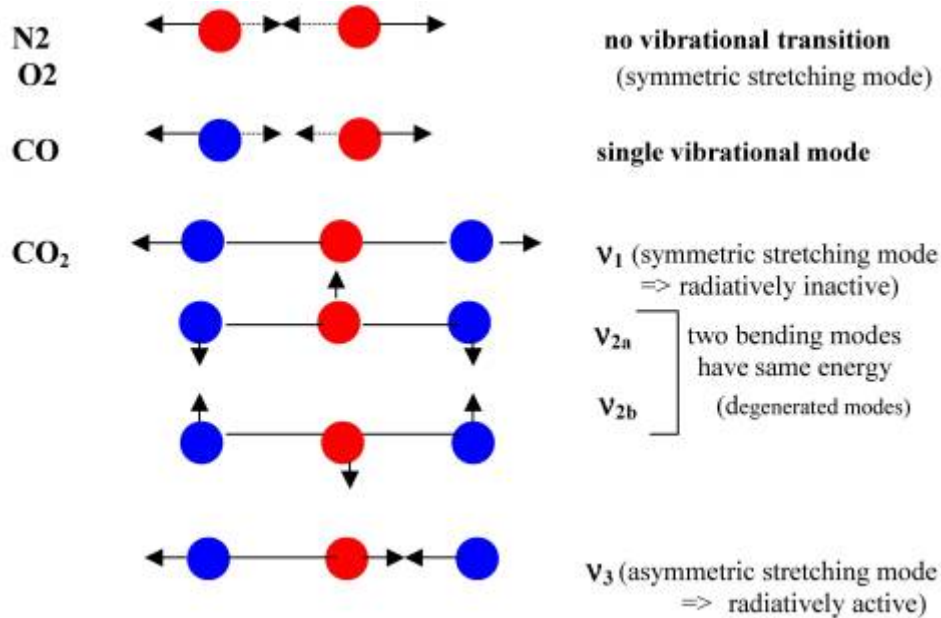
---

<sup>9</sup> Egy kémiai kötés poláris, ha különböző atomok kötődnek egymáshoz. Ilyenkor az egyik atom elektromosan pozitív a másikhoz képest, a másik pedig ugyanilyen mértékben negatívan töltött, úgyhogy összességében kifelé megőrződik a semlegesség. Két kémiailag kötött atom által képzett dipólusmomentum termikus mozgása okozza az elektromágneses hősugárzást.



ellenére, a légkör hidegebb, mint a földfelszín! Az egész Föld teljes hűtési kapacitásához (70%) viszonyítva, a légköri oszlop hűtési kapacitása (64%) körülbelül egy nagyságrenddel nagyobb, mint a felszín néhány centiméterének hűtő kapacitása (6%).

3. ábra<sup>10</sup>:



Most visszatérünk fő érvelésünkhöz. Az 1. ábrán az okker nyíl (Pos 2) a felszínről az atmoszférába irányuló sugárzás (15%) hűtő hatását jelenti. De tudjuk, hogy a N<sub>2</sub> és O<sub>2</sub> nem képesek elnyelni hőszugárzást. Csak a nyomnyi H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> gázok képesek abszorbeálni ezt a felszín által emittált sugárzást. Ez a sugárzási hűtés teljesen ellentmond a hipotetikus "üvegház-hatásnak", mely azt állítja, hogy +33°C melegedést okoznak az ún. "üvegház-gázok".

Továbbá, a légkörből az űrbe irányuló legfontosabb fluxus (64%), mely a Föld teljes energiamérlegét dominálja, az egész légkör azon hőszugárzása (Pos 4), melyet a vastag piros nyíl reprezentál; ez minden, az atmoszférába érkező energiát az űrbe szállít. Az 1. ábrán egy, valahol a légkörben hirtelen induló, állandó vastagságú nyilat is látunk. Valójában ez a hirtelen ugrás nem létezik. Ennek a nyílnak, mely az atmoszféra hűlési sebességét mutatja, inkább folyamatosan vastagodnia kellene 75 km magasságig. A légköri oszlop hőmérséklete gyorsabban csökken a magassággal, mint az a szokásos, 100 méterenként -0.6°C -1°C hűlés, mely a gravitáció sűrűsége és hőmérsékletre gyakorolt hatásából adódik. Hogyan lehet a CO<sub>2</sub> a Föld fő hűtőanyaga, miközben csak nyomnyi, 400 ppm mennyiségben van jelen az atmoszferikus oszlopban? A gázhalmazállapotú víz koncentrációja ~12 km felett ~10 ppm-re csökken, mert a H<sub>2</sub>O molekulák jéggé kondenzálnak. A ~12 és ~75 km közötti magasságokban az űr felé folyó hőszugárzást csak a CO<sub>2</sub> emittálja.

Továbbá, a CO<sub>2</sub> a Föld legfontosabb hűtőanyaga, amit nem csak a Nap, a Föld és az Űr közötti energiafluxusok igazolnak, hanem a molekula különösen erős IR-aktivitása is. A CO<sub>2</sub>-nek igen erős IR-abszorpciós sávjai vannak 15 μm and 10 μm hullámhossznál (4. ábra), amit a C=O kötés nagy polaritása magyaráz. A CO<sub>2</sub> fontos hűtő hatását melegítő effektussá alakítani hamis fizikai feltételezések miatt - amit

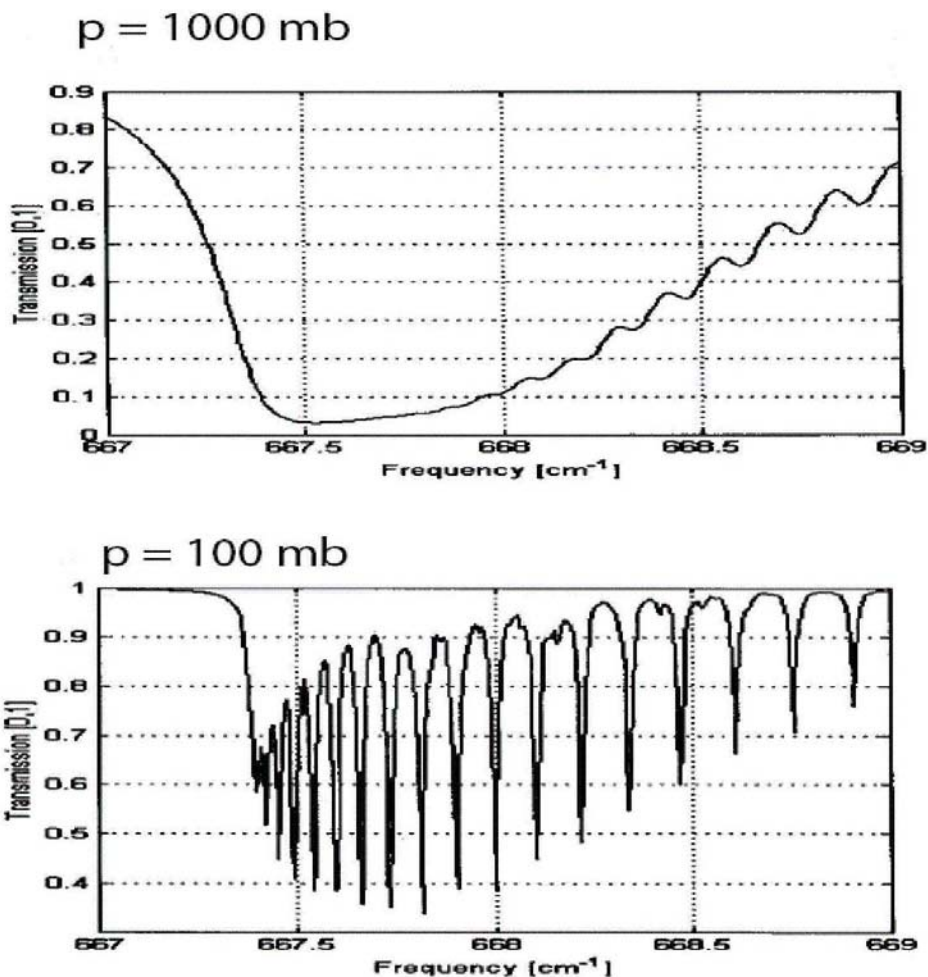
<sup>10</sup> <http://www.heliosat3.de/e-learning/remote-sensing/Lec7.pdf>

üvegház-hatásnak hívnak - egyike a legnagyobb hibáknak, melyeket tudósok elkövettek.

Abban, hogy a "teljes atmoszferikus oszlop" hőszugárzása a magassággal növekszik, a legfontosabb tényező a H<sub>2</sub>O és CO<sub>2</sub> erős IR-aktivitása, amit modulál, hogy IR-sávjaik a nyomással kiszélesednek. Nagy magasságokban, kis nyomáson az IR-sávok nagyon keskenyek és nagyon erősek. A Föld felszínéhez közel, nagyobb nyomáson az IR-sávok szélesek és kevésbé erősek. De, a sávok széleinek megfelelő hőszugárzás közvetlenül eléri az űrt, anélkül, hogy a nagyobb magasságokban lévő molekulák abszorbeálnák.

4. ábra<sup>11</sup>:

A légköri nyomás erősen befolyásolja a gázok abszorpciós spektrumait ("nyomás-szélesedés" által). Ez erősen megnehezíti annak kiszámítását, hogyan halad át az IR-sugárzás a légkörön a változó nyomás, hőmérséklet és a gázmennyiség függvényében.



Példa egy egyméteres úthosszon felvett nagyfelbontású transzmissziós spektrumra, tipikus 1000 mb és 100 mb CO<sub>2</sub> koncentrációk mellett.

További részletek találhatóak ebben a könyvben.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> [http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803\\_Fall2009/Lec6.pdf](http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf)

<sup>12</sup> Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 15, Nr. 256, Hopp, V., Stehlik, G., Thüne, W. u. Wagner, E., Atmosphäre, Wasser, Sonne, Kohlenstoffdioxid, Wetter, Klima, Leben - Einige Grundbegriffe. ISBN: 978-3-18-325615-0