

HÁLÁTLANSÁG

*Ötmilliárd évig vajúdott veled a Természet.
Ennyi ideig tartott, míg a foton, elektron,
proton és neutron tömkeleg létrehozott.
Egymillió éve, hogy megszülte legkisebb gyermekét.
Egymillió éve, hogy valaki először ellenszegült.*

Marx Tamás

Napfény

Az elektromágneses sugárzás színeképét leírhatjuk a λ hullámhosszal, a $\nu = c/\lambda$ frekvenciával és az $\epsilon = h\nu$ energiakvantummal. Meleg szilárd testek a Planck-törvény által leírt spektrumú hőszugárzást bocsátanak ki, amelynek energiakvantumait hozzávetőlegesen a $h\nu = kT$ ekvipartíció-tételből becsülhetjük meg. A maximális intenzitás a Wien-törvény szerint a $h\nu \approx 5 \cdot kT$ képlet, azaz $\lambda T = 3$ mm fok adja meg. (Itt c a fénysebesség, h a Planck-állandó, k a Boltzmann-állandó.)

A Nap felszíni hőmérséklete 6000 K, ezért színeképében a legnagyobb intenzitást 500 nm hullámhossznál találjuk. Ebben a tartományban történő érzékelésre fejlődött ki az emberi szem: az ibolyakéktől (400 nm, 0,50 eV) a bíborvörös (800 nm, 0,25 eV) terjedő sávban működik (optikai tartomány). 0,25 eV-nél kisebb energiájú fotonokat infravörösnek (IR), 0,5 eV-nél nagyobb energiájú fotonokat ultraibolyának (UV) mondunk.

A Föld-felszín átlaghőmérséklete 300 K, tehát a Föld legintenzívebben 10 000 nm (10 μ m) hullámhossz táján sugároz, ami 0,025 eV-nak felel meg. Termikus egyensúlyban a Föld ugyanannyi energiát emittál (a talaj, tenger, felhőzet infravörös kisugárzása formájában), mint amennyi energiát elnyel (a Naptól érkező látható napfény gyanánt). Ha nagyobb a kisugárzás, a Föld lehül (például téli éjszakákon). Ha nagyobb az elnyelés, a Föld fölmelegszik (például nyári délidőben). A középhőmérsékletet az elnyelés és kisugárzás egyensúlya szabja meg, ez jelenleg +15 °C.

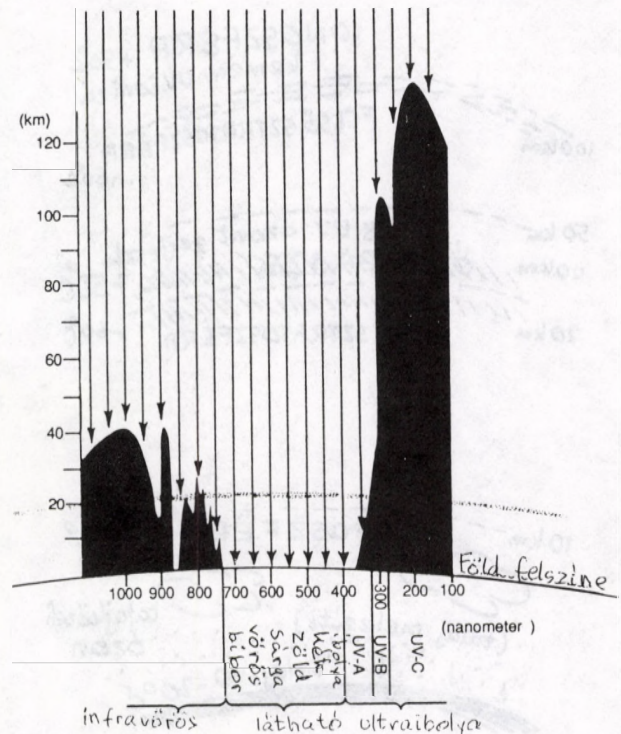
Különböző atommagokból felépült molekulákban a nagyobb töltésű atommag magára húzza az elektronokat. A kialakuló pozitív és negatív végeknél ragadja meg a molekulákat az elektromos télerősség. Az elektromágneses hullám megrezgetteti a poláros molekulákat. Ha az elektromágneses rezgés frekvenciája épp megegyezik az atomokat összekapcsoló kémiai kötés sajátfrekvenciájával, rezonancia folytán berezdegnek a molekulák, megfelelő sávot elnyelve az elektromágneses spektrumból. A CO₂ molekula sajátfrekvenciája $2 \cdot 10^{13}$ s⁻¹, ez elnyeli az ugyanekkora frekvenciájú, 15 000 nm hullámhosszú sugárzást. Az O₃ molekula sajátfrekvenciája (következésképp az elnyelt sugárzásé is) $3 \cdot 10^{13}$ s⁻¹, az elnyelt hullámhossz 10 000 nm. A H₂O sajátfrekvenciája $4 \cdot 10^{13}$ s⁻¹, az elnyelt sugárzás frekvenciája ugyanekkora, hullámhossza pedig a 7500 nm sávjába esik. Ha ipari tevékenység folytán nő a szén-dioxid mennyisége a légkörben,

akkor lecsökken a sugárzási veszteség, fölmelegszik a Föld (üvegház-hatás). Ezt tapasztaljuk napjainkban. Az új (magasabb) egyensúlyi hőmérséklet beállítására körülbelül egy emberöltőt kell várni.

Az atomokban és molekulákban kötött elektronok gerjesztése (magasabb kvantumszámú pályára lökése) jóval több energiát igényel, a H-atom esetében például 1,6 eV értéket (128 nm). Az elektron letépéséhez még több energia kell (például a hidrogénatom ionizációs energiája 2,2 eV), ami 100 nm-nél rövidebb hullámhosszoknak felel meg. A Nap sugárzásában szép számmal akadnak 100 nm-nél rövidebb hullámhosszú ultraibolya fotonok is. Ezek ionokat keltve elnyelődnek a légkör legfelső rétegében. Az **ionoszféra** 100 km fölött terül el, hőmérséklete magas.

A molekulákat kötő elektronok szétterülnek, hullámhosszuk nagyobb, mint az atomban. A molekulák könnyebben gerjeszthetők, megbonthatók. 0,6 eV-nál nagyobb energiakvantumok szétroncsolják az élet számára fontos szerves molekulákat. Kemény ultraibolya sugárzás

Légköri elnyelés



lehetetlenné teszi az életet. Az élet a szelíd látható napfényt hasznosítja fotoszintézis által, mégsem a napsütötte szárazföldön jött létre, hanem sekély tengeröblökben, ahol a víz véd az ultraibolya sugárzástól.

Oxigén

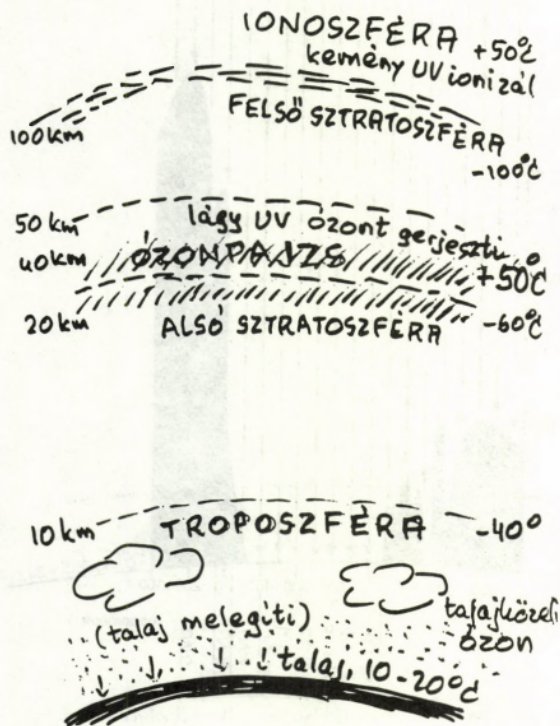
Az élet a 6000 K hőmérsékletű napfényt hőgép gyanánt hasznosítja a 300 K hőmérsékletű környezetben. A CO₂-ből kivonja a szenet, fotoszintézissel szabadenergiát tároló szerves molekulákat épít föl, az oxigént pedig kibocsátja a légkörbe. A molekuláris oxigén oxidálószert, amely zavart okozhat a sejt biokémiai reakcióhálózatában. Ellene a szervezet hibajavító enzimeket fejlesztett ki.

Az eredeti, főleg CO₂-t és N₂-t tartalmazó légkörben a tengeri algák fotoszintézisének hatására az oxigén mintegy 2 milliárd évvel ezelőtt kezdett földúszni (1 % fölél). Erről a Föld geológiája árulkodik, például legközönségesebb fémünk a felszínen korábban zöldes FeO, később oxigén-gazdagabb rozsdavörös Fe₂O₃ formájában volt jelen.

Az urán egyszerű sója, például a nitrát vízben nem oldódik. Elemi oxigén jelenlétében azonban uranyl-nitrát, (UO)(NO₃)₂ formájában fordul elő, ami viszont vízben jól oldódik. Az oxigénben dúsuló légkörben tehát az urán kioldódhatott a kőzetekből. Ahol a patakvíz korhadó szerves anyaggal találkozott, ott az urán humuszsavas sója képződött. Ez oldhatatlan csapadék formájában kivált, mint azt Szalay Sándor kísérletileg kimutatta az 1950-es években. Ezért gazdag uránban a dunántúli (ajkai, várpalotai) szén pernyéje.

Közép-Afrika algatelepein 2 milliárd éve nagymennyiségű uráncsapadék gyűlt össze. Oklóban a franciák uránbányát nyitottak atomenergia-iparuk ellátására. Legnagyobb bosszúságukra azt találták, hogy a kibányászott uránban szokatlanul kevés a hasadó ²³⁵U izotóp! Ennek okát nyomozva jöttek rá, hogy Oklóban 2 milliárd éve több atomreaktor működött, az fogyasztotta el a ²³⁵U izotópot.

A légkör szerkezete

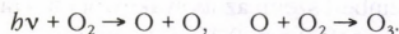


Ma a természetes urán ²³⁸U-tartalma 99,3 %, ²³⁵U-tartalma 0,7 %. Hogy lassításra természetes vizet használó reaktorban kifejlődhessen a neutron-láncreakció, ahhoz a ²³⁵U izotópot 2,5 %-ra föl kell dúsítani. A ²³⁸U felezési ideje 4,5 milliárd év, a ²³⁵U felezési ideje 0,7 milliárd év. Egyszerű számolás megmutatja, hogy 2 milliárd évvel ezelőtt természetes uránban 2,5 % volt a ²³⁵U-koncentráció. Annakidején tehát természetes urán és természetes víz önszabályozó láncreakciót hozhatott létre. Az urán-hasadásban keletkező neutronokat a talajvíz lelassította, így azok újabb urán-magokat hasítottak. Túlhevülés esetén a víz elforrt, a láncreakció leállt. Közép-Afrikában többmillió éven át néhány kW hőteljesítményű természetes reaktorok működtek, amit a hasadási termékek jelenléte bizonyít. (A hasadványok a talajban kétmilliárd év alatt sem diffundáltak messze a keletkezési helyüktől!) Amikor a ²³⁵U mennyisége 2 % alá esett, a reaktor leállt. Az egészet vidáman túlélő algák újra uránt kezdtek gyűjteni. Amikor elegendő összegjött, a reaktor újra megindult...

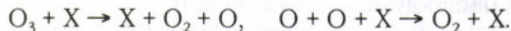
El lehet gondolkozni a történelmi gondviselésen. A Homo sapiensig elvezető biológiai evolúció elég lassú volt: 2 milliárd éve még nem volt katonai technika, nem volt, aki az atombombát törzsi konfliktusok megoldására bevesse akkor, amikor az még izotópszétválasztás nélkül is elkészíthető lett volna. Másrészt a biológiai fejlődés elég gyors volt ahhoz, hogy amikor a civilizáció kifejlődött, a 20. századra még maradt egy kevés a szuper-nóvától öröklött ²³⁵U-ból, hogy a felelősséget megtanult emberiség atomerőműveket építve elkerülhesse a kézenfekvőbb szén-tüzelés által felfokozott üvegház-hatást.

Ózon

Magas hőmérséklet vagy ultraibolya sugárzás hatására a molekuláris oxigén megbomlik, atomos oxigén és ózon keletkezhet.



A magasabb energiatartalmú ózon ütközések során oxigénné alakul vissza.



A tiszta ózon robbanékony, mélykék, aktívan oxidáló, ezért mérgező, köhögésre ingerlő gáz.

A látható napfényt a talaj nyeli el. A talajtól melegített alsó légréteg a **troposzféra**. A talajhoz közel ózon keletkezhet magashőmérsékletű égés során (autómotorban, gázturbinában). A **troposzférikus ózon** tüdőt ingerlő légszennyezős.

A troposzféra és ionoszféra közt terül el a hideg **sztratoszféra**. Benne a Nap ultraibolya sugárzásának hatására naponta 300 millió tonna ózon keletkezik, ugyanennyi bomlik el, elsősorban a napsütöttebb tropikus övben, de onnan szétáramlik a Föld teljes felszíne fölé. Koncentrációja 20 km magasság táján a legnagyobb. A légkör ózontartalma 3 milliomod rész, ez 1 atm nyomáson 3 mm vastag gázréteget alkotna.

Az oxigén kétvegyértékű. Az O₃-molekula vegyérték-szöge azonban nem 60°, hanem 117°. Az ózon üvegházhatást keltő molekula, amely ilyen szempontból 2000-szer „hatékonyabb”, mint a CO₂ molekula. Poláros szerkezete leegyszerűbben az O = N-F molekula analógiájára, datív kötéssel érthető meg: O = O⁺-O⁻. Pontosabb lesz azt mondani, hogy – az egyes kötések kialakulása után visszamaradó – négy elektron a molekula teljes hosszára delokalizált π-pályára kerül. A szélesen delokalizált elektronokat könnyebb gerjeszteni, mint az O₂ és N₂ molekula rövid molekulapályába zárt elektronjait. A **sztratoszférikus ózon** elnyeli az ionoszférán átjutó lá-



gyabb (0,6 aJ energiájú) fotonokat, amik egyébként biológiailag káros hatást fejtenének ki.

UV-A: 400–330 nm, nem káros, légkörön áthatol.

UV-B: 330–280 nm, káros, ózonréteg elnyeli.

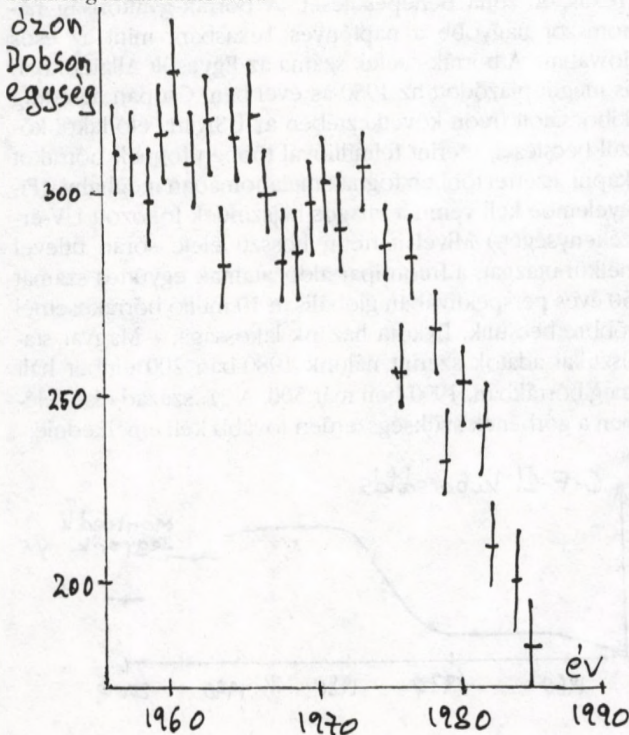
UV-C: 280 nm alatt, erősen káros, ionoszféra elnyeli.

Amikor az atmoszféra oxigéntartalma kialakult, amikor a sztratoszférában a Nap UV-C sugárzásának hatására ózonréteg képződött, az elnyelte az ionoszféra által átengedett, de a komplex szerves molekulákat már károsító UV-B sugárzást. Ez tette lehetővé, hogy az élet egymilliárd évvel ezelőtt birtokba vehette a szárazföldeket. Az oxigénlégzés és a sztratoszférikus ózonpajzs egy dinamikusabb állati evolúció lehetőségét teremtette meg.

Freon

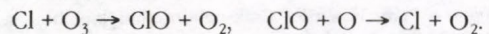
A General Motors könnyen kezelhető stabil gázt keresett hűtőszekrényeinek hűtőközegéül. *Thomas Midley* megbecsült föltaláló volt, hiszen 1926-ban már egy nagy találmányt adott át a cégnek: az ólmozott benzint. Midley 1928-ban egy bemutatóra hívta a General Motors szakértőit. Azon úgy demonstrálta a CF_2Cl_2 éghetetlenségét és ártalmatlanságát, hogy a gázt tüdejébe szívtá, majd hirtelen kifújva kioltotta vele egy gyertya lángját. Az új vegyületet gyártó DuPont cég a *freon* márkanevet adta, ez az egészséget nem károsító, nyomás alatt cseppfolyósodó gáz terjedt el fridzsiderek és légkondicionálók munkaközegéül, spray-dobozok fűvógázaként, műanyag habszivacsot felfúvó gázként. Ezt a molekulát és rokonait (CFCl_3 , $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}$, CF_2ClBr , CF_3Br) a bennük lévő erősen poláros C–F, C–Cl, C–Br kötések nagyon stabilá teszik. A serpenyők teflon-bevonatát is a szénlánc mentén kialakított C–F kötések teszik ellenállóvá.

Ózonréteg az Antarktisz fölött



1970-ben *James Lovelock* eszközt fejlesztett ki a légköri freon mérésére. Az Atlanti óceánon dél felé hajózva azt találta, hogy a Déli Féltekén a freon koncentrációja alig kisebb, mint az Északi Féltekén, ahol a freont gyártják, és ahol spray-flaskákból és kilyukadt hűtőszekrényekből a legtöbb freon illan a levegőbe. A tapasztalt globális troposzférikus elterjedtség természetesen a freon rendkívüli stabilitásával magyarázható. A freonnak nincs természetes forrása, csak mesterséges: a luxus-ipar. Nincs számottevő természetes nyelője sem, ezért légköri koncentrációja egyre növekszik. Rokon vegyületeivel együtt 1950-ben 0,8 milliárd, 1970-ben 1 milliárd, 1990-ben már 3 milliárd molekula-koncentrációt mértek, ez az érték jelenleg 5 %kal emelkedik évente. Mivel a freon-kötések nagyon polárosak, egyetlen freon-molekula üvegház-hozzájárulása 15000-szer nagyobb, mint egy CO_2 -molekuláé. Ma talán az üvegház-hatás 3 %-a terhelendő a C–F–Cl vegyületek számlájára.

1974-ben *Sherwood F. Rowland* és *Mario J. Molina* riadót fűjt. A CF_2Cl_2 -molekula becsült atmoszférikus élettartama 50–100 esztendő. A *Nature* folyóiratba írt cikkükben figyelmeztettek: a freonnak bőven van ideje, hogy feldiffundáljon a sztratoszférába, hiszen ahhoz 10 esztendő elegendő. Ott a Nap ultraibolya sugárzása megbonthatja. A kiszabaduló Cl és F atomok viszont hatékonyan katalizálhatják az ózon lebontását:

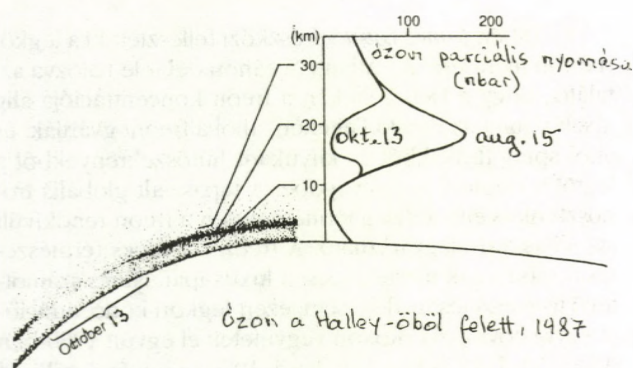


Egyetlen (freonból kiszabadult) Cl atom egymás után akár 100 000 O_3 -molekula lebontását katalizálhatja! Rowland így emlékszik vissza a napra: – „*Este elmondtam feleségemnek, hogy munkánkkal nagyon jól haladunk, de azt hiszem, hogy közeleg a világ vége.*”

A NASA 1975-ben valóban megtalálta a ClO-t a sztratoszférában. 1976-ban Coloradóban összeült az első ózon–freon-tanácskozás. A NASA a freon-gyártás beszüntetése mellett kardoskodott, az ipar azonban védte saját üzleti érdekeit. 1978-ban úttörőként Skandinávia megszüntette a freon gyártását és használatát. Az Egyesült Államok megtiltotta a freon-sprayt. Kínában viszont megszületett a jelszó: fridzsidert minden családnak!

Antarktisz

Az angolok a Halley-öbölben lévő antarktisi állomásukon 1950 óta mérik a légköri ózon mennyiségét. A mérőeszköz egy spektrofotométer, amelyet *Dobson* oxfordi professzor még az 1930-as években fejlesztett ki; a napfény abszorpciós spektrumából határozta meg a fejünk fölött lévő ózon teljes mennyiségét. 1 Dobson-egység 1 atm nyomáson 0,01 mm vastag ózon-rétegnek felel meg. A földi légkör átlagos ózon-tartalma 300 Dobson-egység. 1984 koratavasán, amikor a hosszú téli éjszaka után a Nap megjelent az égen, az angol sarki állomáson *Joseph Farman* azt észlelte, hogy feje fölött az ózonréteg 40 %-kal vékonyabb a szokásosnál. Ezt az amerikaiak nem fogadták el, mert a Nimbus mesterséges holdjuk semmi rendkívülit nem jelzett. Miután több más antarktisi állomás megerősítette az ózonréteg megdöbbenő elvékonyodását, május-



A tavaszi ózonlyuk

ban megjelent a közlemény. Ezután a NASA is bevallotta: a mesterséges hold adatait feldolgozó számítógép megkapta a szokatlan csökkenést jelző észleléseket, de a nagy eltérés miatt a program azokat hibás leolvasásnak minősítette, ezért nem hívta fel rájuk a kutatók figyelmét.

Miért épp az Antarktisz fölött támadt az ózonlyuk? A rejtvényt 1986-ban S. Solomon fejtette meg. Bolygónk leghidegebb vidéke az Antarktisz. Fölötte a sztratoszférában telente parányi jégkristályok képződnek. A tavaszi napkeltét követően az ultraibolya sugárzás megbontja a CF_2Cl_2 molekulákat. A képződött Cl és CIO molekulák a jégtűk felületére tapadnak, és ez a felület (úgyis, mint impulzusátvevő) hatékonyan katalizálja az O_3 lebontását O_2 -re. Amikor azután a fölfedezésről sajtótájékoztatót hirdettek meg, az összeseregülő újságírók egyre kérdezték a 30 éves csinos „titkárnőt”: – Mikor jön már Solomon professzor, hogy beszámoljon a Világ Végéről? – Csak nehezen hitték el, hogy a fekete-hajú leány maga Susan Solomon.

Azóta minden tavasszal visszatér az ózonlyuk. Az 1970-es években megszokott érték felére csökken az ózonpajzs vastagsága a Déli Sarkvidéken, és mindinkább kiterjed a többi déli kontinens fölé. Ugyanekkor megdöbbentő biológiai változásokat tapasztaltak. Megváltozott a madarak vándorlási iránya. Chile legdélibb csücskén, a Tűzföldön vak lazacokat fogtak. Egyes nyulak annyira rövidlátókká váltak, hogy fülüknél fogva lehetett őket elkapni. Juhok ezreinél tapasztaltak szemkárosodást. A vitorlák anyaga egy év alatt használhatatlanul törékennyé vált. Egyes érzékenyebb növényfajok megsárgultak. Az ott élő embereknél is átmeneti vagy tartós vakság, bőr-leégés lépett föl. A legdélibb városban, a 115 000 lakosú Punta Arenasban tízszeresére nőtt az ultraibolya intenzitás. Noha ez nem a Riviera vagy Florida, a napszemüvegeknek és napkrémeknek óriási keletje támadt.

Ausztrália lakossága főleg kékszemű, szőke vagy vöröshajú. Itt a legnagyobb a bőrrák-gyakoriság, és az 10 év alatt megduplázódott. Az ausztrálok azzal számolhatnak, hogy közülük minden 55-ik melanómában (rosszindulatú bőrrákban) fog meghalni. Mikor pár éve előadni hívtak egy februári konferenciára, a ködös pesti tél után az ausztrál nyár felhőtlen ege alatt boldogan feküdtem ki a vízpartra napozni. Ré- múltan szaladtak hozzám figyelmeztetni a fejem fölött tátongó ózonlyukra, napozás helyett napernyőt vagy legalábbis széleskarimájú sombrero-t meg napszemüveget ajánlva.

Az amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia jelentése szerint 1 % ózon-csökkenés következményei:

- 2 % növekedés az ultraibolya intenzitásban,
- 3–5 % növekedés a bőrrák-esetek számában,
- 0,5 % növekedés a szembályog-esetekben,
- a bőrben termelt immunanyagok csökkenése,
- 1 % terméskiesés a szójababnál,
- 1,2 % kiesés a tengerfelszíni planktonok és
- 0,4 % kiesés az óceáni planktonok összegzett fotoszintézisében.

(A planktonok károsodása a CO_2 -megkötést csökkenti, így az üvegház-melegedéshez is hozzájárulhat.) A nemzetek közössége gyorsan reagált a figyelmeztetésre. 1987-

ben a legtöbb ország (köztük Magyarország is) aláírta a Montreáli Jegyzőkönyvet, amely 1993 végére a C–F–Cl vegyületek gyártásának 20 % csökkentését, 1998 végére az 50 %-os csökkentést vállalta. (Retorzióról nem esett említés.) Ha ezt minden ország betartaná, 2020-ig „csak” megháromszorozódna a légkör freon-koncentrációja. Erősödik a nyomás, hogy 2000-re teljesen szüntessék be a C–F–Cl-vegyületek gyártását. Ezesetben 2065-re „csak” megduplázódna a sztratoszférikus Cl-atomok száma. A freon 50–100 évig él, miként az ember. Teljes leállás esetén is az ózonréteg regenerációja csak a jövő század második felében, dédunokáink bolygóján kezdődne el.

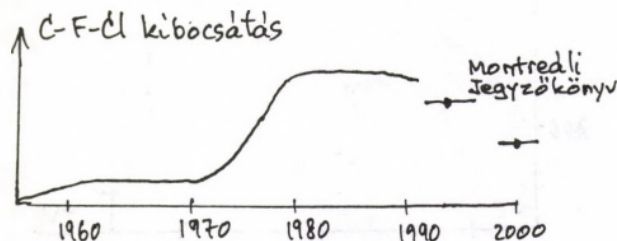
Európa

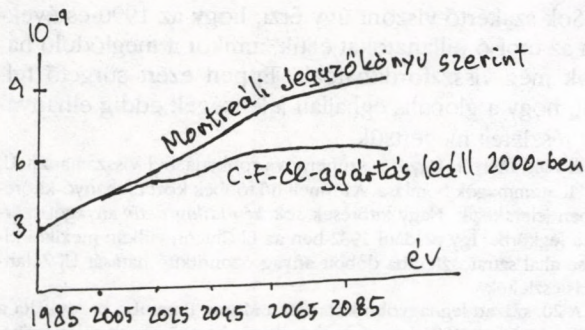
A freon javarészét az Északi Féltekén gyártották és emittálják. Az ipari termelés megközelítette az évi 1 millió tonnát. Az egyes országok C–F–Cl-vegyületeket gyártó kapacitása a következő:

Egyesült Államok	630 000 tonna
Európai Közösség	697 000 tonna
Japán	212 000 tonna
Független Államok Közössége	45 000 tonna
Kína	18 000 tonna

A felhasználás 35 %-a jut Észak-Amerikára, 3 %-a Latin-Amerikára, 32 %-a Nyugat-Európára, 11 %-a Kelet-Európára, 18 %-a a Táv-Keletre és 1 % Afrikára. Az alkalmazás módjai: spray aeroszol 27 %, habszivacs 25 %, hűtőberendezések 25 %, oldószerek 16 %, egyéb 7 %. Mindmáig mintegy 20 millió tonna gyűlt össze az atmoszférában, ennek 95 %-a az Északi Félteke országaiból származik. Európa sem mentesülhet az UV fizetség alól.

Az amerikai szépségideál a szőke, kékszemű, napbarnított leány és fiú. A légkondicionálás segítette elő Florida, Texas, Arizona benépesülését. A bőrrák-gyakoriság háromszor nagyobb a napfényes Texasban, mint az esős Iowában. A bőrrák-esetek száma az Egyesült Államokban is megduplázódott az 1980-as években. Csupán az eddig kibocsátott freon következtében az USA ma élő lakói közül becslések szerint félmillióval többen fognak bőrrákot kapni, ezerral többen fognak melanómában meghalni. (Figyelembe kell venni a világos hajszínűek fokozott UV-érzékenységet.) Mivel a freon hosszú élete során útlevél nélkül utazgat, a freon-ipar áldozatainak együttes számát 50 éves perspektívában globálisan 10 millió bőrrákesetnél többre becsülik. Ekkora hazánk lakossága. – Magyar statisztikai adatok szerint nálunk 1980-ban 200 ember halt meg bőrrákban, 1990-ben már 500. A 21. század első felében a görbének szükségszerűen tovább kell emelkednie.





Légköri Cl-koncentráció alakulása

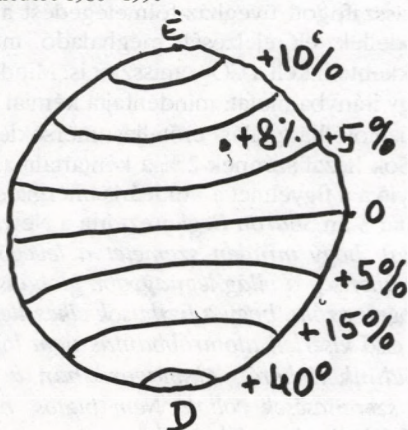
Az ózonlyuk által kiváltott szemhályogok száma globálisan 1 millió körül járhat, és ez a szám 2000-ig megduplázódik.

Az ipar nem fogadja el ezeket a szomorú számokat. Azzal érvelnek, hogy a bőrakk-esetek számának növekedéséért nem föltétlenül a freonnal töltött spray-kannák lehetnek a felelősek, hanem az is, hogy az emelkedő életszínvonal miatt mind jobban divatba jön a tengerparti (balatonparti) nyaralás. Mind több északias típusú szépség engedheti meg magának, hogy nyaranta mediterrán tájakon napozzon... A fogyasztók véleményére mégis adni kell. A DuPont spray-flaskáit freon helyett CO₂-dal tölti. A McDonald már Cl-t nem tartalmazó műanyag tálcákon táálja a hamburgert. Többé a Hitachi sem Cl-tartalmú szerves oldószerekkel tisztítja IC-kártyáit.

Noha az Északi Sark fölött nem olyan hideg a tél, mint az Antarktison, a télvégi ózonritkulás az 1990-es években az Északi Féltekén is megjelent, nyilván a nagyobb Cl-koncentráció folyamányaként. 1992 január 20-án a ClO sztratoszférikus mennyisége túllépte az Antarktisz fölött észlelt maximumot. Lovelock 1970-ben 0,06/milliárd freon-koncentrációt mért, ez 1991-ben Közép-Európában (Párizs-Budapest régióban) már 1/milliárd volt, sőt északabbra a London-Moszkva-vonalon 1,2/milliárd. Manapság azt tapasztaljuk, hogy az ózonpajzs vékonyodása (a sztratoszférikus jegesedés miatt) erősebb a Déli Sarkon, mint az Északi Sarkon. De az (ugyan mérsékeltebb) vékonyodás (a freon-kibocsátás miatt) erősebb az Északi Mérsékelt Övben, mint a Déli Mérsékelt Övben.

Fejünk fölött az ózonréteg vastagágát rendszeresen mérik a pestlőrinci Léggörfizikai Intézet Dobson-spektrométerével. A Magyar Televízió 2. csatornája minden hétfőn este 10.15-kor, az Esti Egyenleget követő időjárás-jelentésben közli a Pestlőrincen mért értéket. De az idei télen már pesti napilap címlapjára került a korábbi rekordokat megdöntő ózonpusztulás híre (Népszabadság 1993. január 27.): 1992. december 7-én az ózonpárna 21 %-kal, 1993. január 25-én 22 %-kal, 1993. január 25-én 28 %-kal, 1993. február 8-án és 15-én 24 %-kal volt vékonyabb Budapest fölött, mint a többévtizedes átlag. 1969

UV-B növekedése 1980-1990



óta végzik a méréseket, de utolsó telünk rekord minimumot hozott: -28 % példa nélkül áll. Szerencse, hogy januárban nem sokan napoznak félmeztelenül hazánkban. Télen az UV intenzitás meteorológiai okokból (felhő, pára) általában is csak 1/8-a szokott lenni a nyárinak. A jelenség azonban kontinentális kiterjedésű. Az elmúlt nyarakon -3 % volt az ózon-egyenleg Európában.

Politika

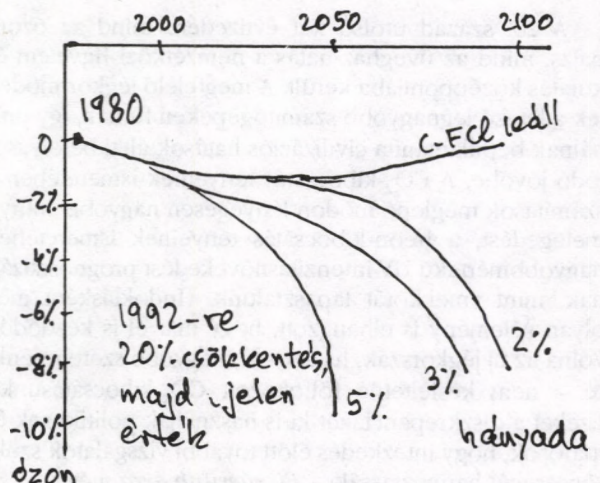
Rio de Janeiróban, a Föld Csúcson 1992 júniusában George Bush amerikai elnök nem írta alá a klíma-egyezmény CO₂-emisszió visszafogására időkorlátokat kiszabó változatát. A novemberi elnökválasztási kampányban Al Gore szenátort Mr Ózon gúnynévvel csúfolta, amiért nem sokkal korábban az Egyesült Államok szenátusával elfogadtatta azt a gyártóknak nem tetsző törvényt, amely 1996-ra abszolút betiltja az ózont veszélyeztető freon-típusú vegyületek amerikai használatát. (Azóta Al Gore-t megválasztották az Egyesült Államok alelnökének.) Az Európai Közösség határozottabb atmoszféra-védelmi politikát követ, de a Riói Csúcs felvizezett határozatai, a szaporodó tankhajó-katasztrófák és mind kiterjedtebb olajszennyezések mutatják: a globális környezeti problémák megoldása nem várható teljesen a nagypolitikától.

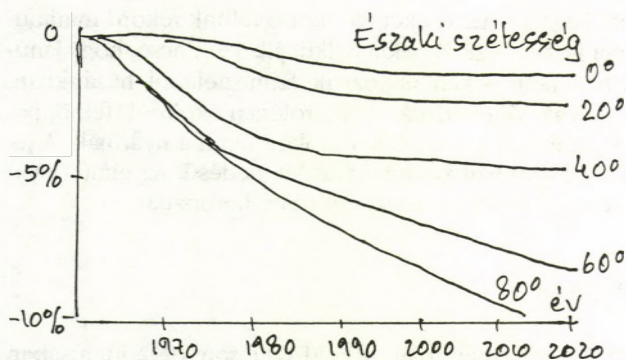
Ha én nagyfogyasztású autón járok munkába meg hétfői kirándulásra, ettől is több lesz a CO₂, CH₄, N₂O a levegőben. A Föld fölmelegedésének késlekedése mintegy emberöltő. Talán 2020-ban egy tájfun által keltett áradás gyerekeket öl meg Bangladeshtben, amihez az én CO₂ molekulám is hozzájárult. De én már azt nem érem meg...

Ha egy kis ország villamosipari trösztje szén-erőművet épít atomerőmű helyett, hogy a szén-lobblynak, bányász-szakszervezetnek, zöldülő csoportoknak kedvébe járjon, rövid távon akár pénzt is takarít meg. Hogy a kukorica a 21. században már nem terem meg a Magyarországon, azt már nem tőle kéri számon.

Spray-palackból fújok bőrömrre napolajat a nyári Balatonparton. A freon élettartama 50-100 esztendő. Tíz évig eltart, míg molekulái véletlen bolyongásuk során följutnak a sztratoszférába. Akkor majd megerősödik az UV sugárzás. Akkor is fognak napozni, de a kiváltott bőrakkok lappangási ideje további 15 év. Együtt egy negyed évszázad. Ennyi idő alatt a gyilkossági vétség is elévül...

Ózon-koncentráció időbeli alakulása





Ozonkoncentráció alakulása, ha a freon-emisszió a jelen szinten marad

A DNS-ben a hőtán II. Főtétele szerint mind több hiba gyűlik össze. A rák általában idős emberek betegsége. Magyarországon azonban *huszonévesek* közt napjainkban növekszik a bőrrák gyakorisága. Ők *tizenévesen* jökat napoztak, pedig akkor már ritkult az ózonpárna. Ennek oka a sztratoszférába fölérkező freonból kiszabaduló Cl atomok lehetnek. Azt a freont pedig az *1960-as években* gyártották az amerikai légkondicionálók részére. Kérem, ne tessék azt mondani, hogy – *Ejnye, ezek az amerikaiak...* – hiszen Ön épp tavaly vásárolt fagyasztóládát, és az Ön unokája is szeretne napozni 2010 táján...

A kisember elsejéig szeretne kijönni a fizetéséből. A politikusok tekintete a következő választásokig ér el. A vállalkozókat a részvényeseknek év végén adható osztalék, a februári adóbevallás izgatja. Hogy mi lesz a jövő században? Ugyan kérem – ez legföljebb azokat érdekli, akiknek gyereke van. A politikus csak akkor fog odafigyelni, ha a választók számonkérlik tőle. Az üzletember akkor, ha a vásárlók nem veszik az áruját...

Bolygónk jövőjét emberek befolyásolhatják. A nyugati zöld divatok nagy időkésséssel érnek el hozzánk. Ezenközben megváltozhat a tudományos prioritások sorrendje. Máris késésben vagyunk. Még csak Ófalu határában járunk, pedig a Nyugatot globális klímaváltozás nyugtalanítja. Amire szükség van: mélyebb környezeti etika, természettudományos kultúrára alapozva.

Az üvegház, mégegyszer

A 20. század utolsó két évtizedére mind az ózonpajzs, mind az üvegház-hatás a nemzetközi figyelem és kutatás középpontjába került. A megfelelő légkör-modellek a létező legnagyobb számítógépeken futnak, így próbálnak bepillantani a civilizációs hatások által befolyásoló jövőbe. A CO₂-kibocsátás tényeinek ismeretében a számítások meglepő módon lényegesen nagyobb arányú melegedést, a freon-kibocsátás tényeinek ismeretében nagyobb mértékű UV intenzitásnövekedést prognosztizálnak, mint amekkorát tapasztalunk. (Indoklasként még olyan vélemény is elhangzott, hogy már el is kezdődött volna az új jégkorszak, ha azt – legnagyobb szerencsénkre – nem késleltetné fölfokozott CO₂-kibocsátásunk.) Ezeket a diszkrpanciákat ki is használják politikusok és iparosok, hogy intézkedés előtt további vizsgálatok szükségességét hangoztassák: – *Ej, ráérünk arra még!*

Sok szakértő viszont úgy érzi, hogy az 1990-es években az utolsó pillanatotok éljük, amikor a meglóduó hatások még visszafordíthatóak. Éppen ezért sürgető feladat, hogy a globális éghajlati jelenségek eddig elhanyagolt részleteit megértsük.

A Föld mélyén folyik a szupernóva-robbanásból visszamaradt U, Th, ⁴⁰K atommagok bomlása. A termelt hő többek közt tőzhányó-kitörésekben jelentkezik. Nagy kitörések sok *kémiailag aktív* anyagot szórnak a légkörbe. Így például 1982-ben az El Chicón vulkán mexikói kitörése által sztratoszférába dobott anyag ózonritkító hatását Új-Zélandon is észlelték.

A 20. század legnagyobb kitörését a Mount Pinatubo produkálta a Fülöp-szigeteken 1991-ben. 6 km³ vulkáni „hamu” röpült a levegőbe. Ennek egy része visszahullott a környékre. A kitörés által kiváltott felhőszakadással párosulva hamuáradat (lahar) öntötte el a környező falvakat. Amikor egy évvel később ott jártam, megrázó látványt nyújtottak a többméteres hamu alá temetett házak, értékeiket kiásni próbáló emberek: egy *Pompei anno 1991!* Mesterséges holdak azt a sztratoszférába följutott füstöt is kimutatták, amely a teljes Egyenlítő mentén széterült (lásd a hátsó borítót), ott bontva az ózon-molekulákat. Az elmúlt két tél anomális ózonritkulásához ez a vulkánkitörés jelentős mértékben hozzájárulhatott.

A Marson megfigyelték, hogy szélviharok alkalmával a fölkavart homok fényvisszaverése miatt lehül a bolygó. A Mount Pinatubo által kidobott por jelentékenyen megnövelte a földi légkör optikai albedóját, ilymódon mérsékelve az üvegház-melegedést (mozaik fotó a hátlapon). 1992 átlaghőmérséklete 15,33 °C volt szemben az előző évek 15,50 °C, 15,45 °C értékeivel.

A vaskohók, szénérművek, olajérművek által kibocsátott kén-oxidokat, mint a savanyú esők egyik fő okozóját az utóbbi évek egyik közellenségének tartották. Ebben van igazság. 1992-ben viszont amerikai egyetem és állami kutatóintézetek arról számoltak be a Science hasábjain, hogy a kén-tartalmú fosszilis tüzelők elégetéséből származó kén-oxidok – aeroszolhoz tapadva, illetve aeroszol képezve – mérsékelik az üvegház-melegedést: maguk is visszaverik a napfényt, méginkább cseppképző gócként növelik a felhőzetet, ami szintén albedofokozó szerepet játszik. *Shaw Liu* ehhez hozzátette, hogy az Északi Féltekén kimutathatóan több százalékkal vékonyodott a téli ózonpárna, de ezt nem követte párhuzamosan az UV-intenzitás növekedése. Ebben is a kén-oxidos aeroszol légszennyezés UV-fotonokat szóró voltának lehet szerepe.

Mindebből mégsem következik, hogy a savanyú eső jó nekünk. Az erdők és termőföldek érdekében a savanyúságot vissza kell szorítanunk a légköri kén-kibocsátás megszüntetésével. Ez viszont az üvegház-fölmelegedés meglóduására vezethet.

Mondtuk, hogy a légköri ózonnak is van sugárelnyelő szerepe. Az ózoncsökkenés hűtötte a sztratoszférát. Bőrünk épsége és szemünk világa azonban megköveteli az ózonpárna regenerálását. Ha majd sikerül, csökken ugyan az UV-fenyegetés, de ugyanez klíma-melegedésre vezethet.

Hogy a savanyú eső és ózonlyuk okának kiküszöbölése ne lendítse meg az eddig más légkör-kémiai tényezők által visszafogott üvegház-fölmelegedést a számítógépes modellek előrejelzését meghaladó mértékben, ahhoz csökkenteni kell a CO₂-emissziót is. Minden következtetés egy irányba mutat: mindenfajta kémiai emisszió, fosszilis tüzelőfölszhasználás erőteljes mérséklésére van szükség. (Sok hazai szénnek 2 % a kén-tartalma.) Mindez újra ráirányítva a figyelmet a nukleáris energia előnyeire. 1993. február 3-án *Sharon Begley* ezt írta a Newsweekbe:

– *„Azzal, hogy minden szemetet a levegőbe eresztünk, az emberiség a világ legnagyobb globális klímakísérletébe fogott azóta, hogy a fizikusok elkezdtek gondolkodni: az első kísérleti atomrobbantás nem lobbantja-e lángra Földünk légkörét. Alamagordában a fizikusok okosak és szerencsések voltak. Nem biztos, hogy ez a mostani kísérlet is olyan jól sül el.”*

