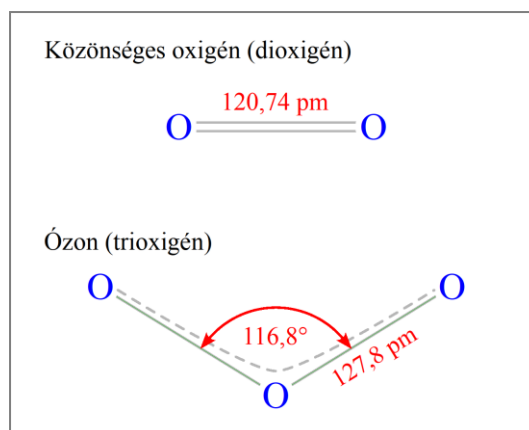


◀	Tartalom	Fogalmak	Törvények	Képletek	Lexikon	▶
---	----------	----------	-----------	----------	---------	---

Az ózonréteg szerepe és védelme

Az *ózon* három oxigénatomból álló molekula, kémiai képlete O_3 , másik elnevezése *trioxigén*. A molekulában a három oxigénatom V-alakban helyezkedik el. Az ózon normálállapotban szúrós szagú, mérgező, halványkék gáz, $-112\text{ }^\circ\text{C}$ alatt sötétkék folyadék, $-193\text{ }^\circ\text{C}$ alatt sötétkék kristály. Az ózon az egyik legerősebb oxidáló és fertőtlenítő anyag, amely a vízben lévő mikroorganizmusoktól függően 600–3000-szer hatékonyabb fertőtlenítő hatású, mint a klór.



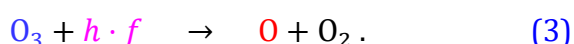
Az ózon a Föld légkörének 20 km és 50 km közti rétegében, a *sztratoszférában* közönséges, kétatomos oxigénmolekulákból keletkezik ultraibolya sugárzás hatására. A napfényből származó, 242 nanométernél rövidebb hullámhosszú *ultraibolya sugárzás fotonjai a légköri oxigén molekuláit különálló oxigénatomokra bontják*:



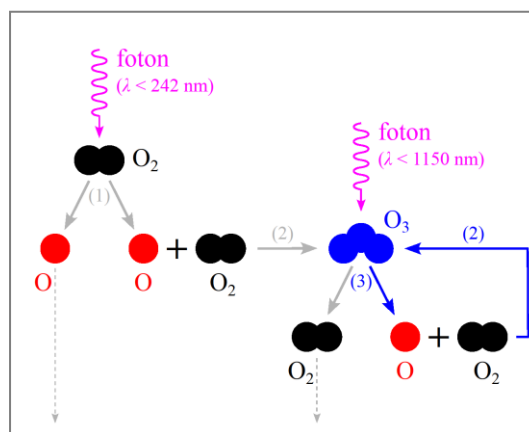
Az így keletkező rendkívül reakcióképes *atomos oxigén ezután egy közönséges O_2 molekulával egyesülve ózont hoz létre*:



Az ózonomolekula azonban instabil, az 1150 nanométernél rövidebb hullámhosszú *sugárzás hatására szétbomlik* egy oxigénmolekulára és egy oxigénatomra:



A keletkező oxigénatom azonban egy másik oxigénmolekulával a (2) reakciónak megfelelően újra ózonomolekulát hozhat létre.



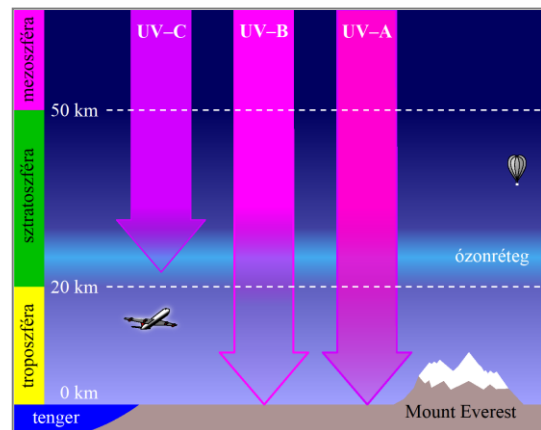
A (2) és (3) reakciók ezáltal folyamatos ózonszintet tartanak fenn a légkörben. Az így keletkező ózon kb. 25 km magasságban halmozódik fel, de koncentrációja nagyon alacsony, 100 000 molekula közt csak 1 ózonmolekula van (10 ppm).

A (3) reakcióban keletkezett oxigénatom reakcióba léphet egy ózonmolekulával is, így két oxigénmolekula jön létre:



Az ózonkoncentráció azonban nagyon alacsony, ezért a (3) reakcióban keletkező oxigénatom O_3 molekulával nagyon ritkán, O_2 molekulával viszont sokkal gyakrabban, találkozik. Emiatt a (2) reakció gyakran, a (4) pedig lényegesen ritkábban megy végbe. A (4) reakció ugyan csökkenti az ózon mennyiségét, de az (1) és (2) reakció ezt a veszteséget pótolja.

A sztratoszférában így kialakult *ózonréteg* a légkörön áthaladó ultraibolya sugárzást jelentős mértékben elnyeli (ózonpajzs). Az elnyelődés mértéke függ a hullámhossztól: az ózonréteg az ultraibolya sugárzás *rövid hullámhosszúságú* UV-C tartományát (100 ... 280 nm) teljesen, a *közepes hullámhosszúságú* UV-B tartományát



(280 ... 315 nm) 97 ... 99 százalékban elnyeli. A *hosszabb hullámhosszúságú* UV-A tartományon (315 ... 400 nm) viszont alig történik elnyelés, így ez a tartomány képezi a földfelszínt elérő ultraibolya sugárzás nagy részét. Szerencsére a nagyobb hullámhossz, illetve a kisebb frekvencia miatt az UV-A tartományba eső sugárzás fotonjainak az energiája az

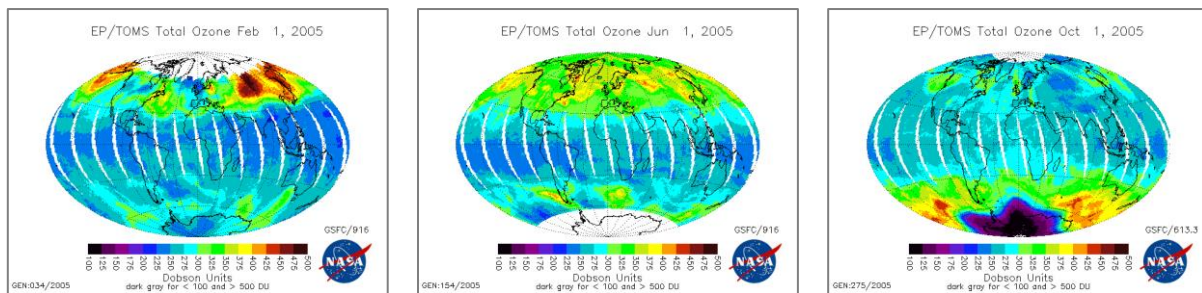
$$E = h \cdot f$$

összefüggésnek megfelelően viszonylag kicsi. Emiatt az UV-A sugárzás kevésbé káros a DNS-re, de védelem nélkül fizikai károsodást (leégést), a bőr korai öregedését, közvetett genetikai károsodást és bőrrákot okozhat.

Az ózonrétegnek fontos szerepe van a szárazföldi élet fennmaradásában: nélküle a Naptól érkező ultraibolya sugárzás (elsősorban az UV-B és UV-C tartományba eső része) olyan károsodásokat okozna az élőlényekben, amely az elpusztulásukhoz vezetne.

Az ózonréteg elhelyezkedése és vastagsága azonban nem állandó. Az ózon képződését a napfény biztosítja, ezért az Egyenlítőhöz közeli területek felett az ózonképződés intenzívebb, a sarkvidékeken viszont jóval kevesebb keletkezik. Ráadásul a sarkvidékeken csak fél éven át süt a nap, fél évig pedig sötét van, így az ózonképződés ezeken a területeken fél-fél évre gyakorlatilag leáll. Szerencsére a sztratoszférában állandó légáramlatok vannak, amelyek segítik az egyenlítői vidékeken keletkező ózon szétoszlását.

Az 1970-es években ismerték fel, hogy a sarkvidékek felett az ózonréteg a meteorológiai tavasz idején elvékonyodik. Az ózonréteg sarkvidékek feletti, a korábbi ózonkoncentráció felét-harmadát tartalmazó részét *ózonlyuknak* nevezik. Az ózon koncentrációjának csökkenését elsősorban a sztratoszférába feljutó különféle szennyezőanyagok okozzák. Ezen szennyezőanyagok nagy részét különféle ipari gázok (elsősorban a klórozott szénhidrogénekből álló, úgynevezett CFC gázok) alkotják. A tavasszal felerősödő napsugárzás hatására a sarkvidék feletti jeges felhőkben található a jégzemcsékhez tapadó klór- és brómvegyületek és az ózon reakcióba lépnek egymással, ezzel csökkentve az ózonszintet. A jelenség minden évben kb. 4 hónapig tart, ugyanis $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérséklet és napsütés kell hozzá.

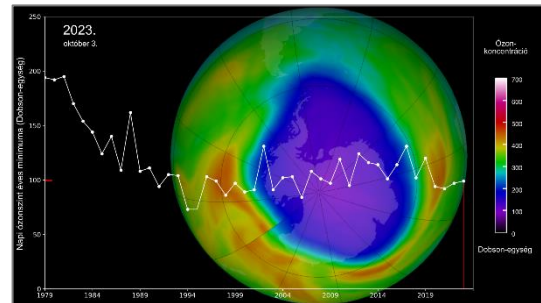


Az ózonlyuk miatt sokkal több *ultraibolya* sugárzás (elsősorban UV-B) éri el a földfelszínt, és ennek számos kedvezőtlen következménye van: Az érintett területen megnő a bőrrákos esetek száma, károsodnak a növények, a tengeri plankton egy része elpusztul. Ez a hatás átterjedhet a táplálkozási lánc mind magasabb szintjeire, mert a plankton a tengeri élet alapja: tápláléka a tengeri rákoknak, amelyeket a halak és a tengeri emlősök fogyasztanak. A déli félteke óceánjaiban, tengereiben az ózonréteg vékonyodása miatt 10%-kal csökkent ezeknek az egyszerű élőlényeknek a mennyisége; ennek hosszú távú hatása felmérhetetlen. A planktonmennyiség csökkenése ugyanakkor hozzájárul a globális felmelegedéshez is, mivel a kevesebb plankton kevesebb szén-dioxidot (üvegházhatású gáz) köt meg a légkörből.

Az ózonréteget lebontó anyagokról szóló *Montreali Jegyzőkönyv* egy nemzetközi szerződés, amelynek célja az ózonréteg védelme számos, az ózonréteg károsodásáért felelős anyag gyártásának fokozatos megszüntetésével. Az egyezményről 1987-ben született megállapodás, és 1989-ben lépett hatályba. A Montreali Jegyzőkönyv jelentősen *korlátozza a CFC gázok előállítását és használatát*, de ezek a gázok a légkörben nagyon lassan bomlanak le. Nagyjából 1996 óta az ózonréteg vastagsága lassacskán nő, de nehéz megbecsülni, hogy ez a folyamat középtávon folytatódik-e.

Az Antarktisz feletti ózonréteg 1979–2023 között bekövetkezett változásairól műholdképek felhasználásával összeállított *YouTube* videó itt érhető el:

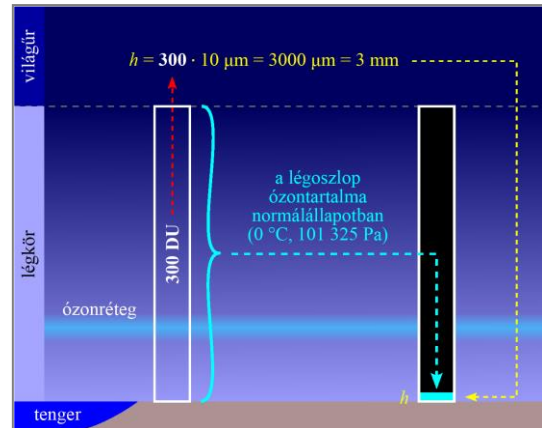
<https://www.youtube.com/watch?v=ei-MhNTHgg4>



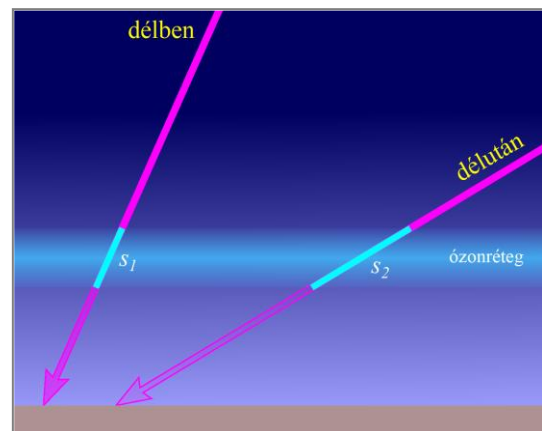
Kiegészítések

1. Az ózon *erős oxidálószer*, és ez azt okozza, hogy még alacsony koncentrációban is *irritálhatja a szemet és a nyálkahártyát, továbbá asztmás rohamot okozhat*. Ha a koncentráció a 0,1 ppm értéket meghaladja, akkor károsíthatja az állatok nyálkahártyáját és légzőszöveget, valamint a növények szöveteit. (A *ppm* az angol *parts per million* kifejezés rövidítése, jelentése milliomodrész.) Nagyon magas koncentrációban *halált is okozhat*. (A halálos koncentráció *egéknél* 21 ppm 3 órán át, *embernél* 50 ppm 30 percen át.)
2. Az ózon fertőtlenítő hatású, de ügyelni kell, hogy alkalmazásakor ne kerüljön az emberi (állati) szervezetbe. Korábban az ózon fertőtlenítő hatásából kiindulva ózonterápiát is alkalmaztak különféle betegségek kezelésére. Bebizonyosodott azonban, hogy a biztonságosnak tekinthető ózonkoncentrációnál nincs sem kimutatható fertőtlenítő hatás, sem mérhető állapotjavulás. Mai ismereteink szerint *nincs tudományosan igazolható bizonyíték az ózonterápia különleges gyógyító hatására*.

3. A légkörben található ózon mennyiségének mérésére 1924-ben Gordon Dobson (1889–1976) brit fizikus és meteorológus fejlesztett ki egy mérőműszert (Dobson-spektrofotométer). Róla nevezték el a *függőlegesen integrált légköri ózonsűrűség* mértékegységét, a *Dobson-egységet*. (Jele az angol **Dobson unit** kifejezés alapján DU). A Dobson-egység annak a tiszta ózonrétegnek a vastagsága ($10 \mu\text{m}$ egységekben), amelyet a légkör teljes magasságára kiterjedő függőleges oszlopban található ózon teljes mennyisége normálállapotban képezne az oszlop alján. A tipikusnak tekinthető 300 DU légköri ózonsűrűség tehát azt jelenti, hogy a légkör teljes magasságára kiterjedő függőleges légoszlopban annyi ózon van, amely az oszlop alján összegyűjtve, normálállapotban egy $300 \cdot 10 \mu\text{m} = 3000 \mu\text{m} = 3 \text{mm}$ magas réteget alkotna. (A Dobson-egységet más gázok függőlegesen integrált légköri sűrűségének jellemzésére is használják.)



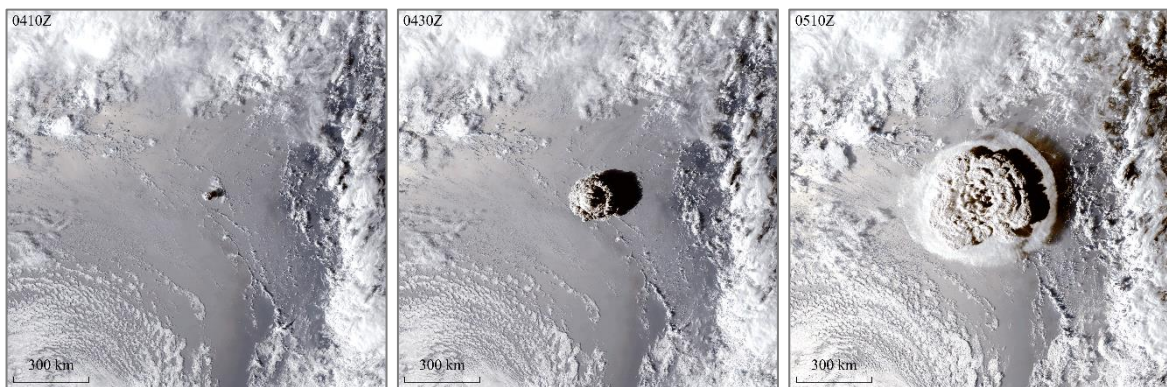
4. A napozáskor a szervezetet (bőrt) érő *ultraibolya sugárzás* (UV-A és UV-B) *káros hatásai csökkenthetők a napozás időpontjának megfelelő kiválasztásával*. Dél körül ugyanis a napsugarak meredeken esnek be a felszínre (Magyarországon a nyár közepén kb. 24° -os szögben). Emiatt viszonylag *rövid utat tesznek meg az ózonrétegben*, így az kevésbé nyeli el az ultraibolya sugarakat. Délelőtt és délután a napsugarak laposabban érik el a felszínt. Emiatt viszonylag *hosszabb utat tesznek meg az ózonrétegben*, így az jobban elnyeli az ultraibolya sugárzást. Ezért a dél körüli időpontokban (10 és 15 óra között) nem ajánlott a napozás. Mivel az ultraibolya fény a szem kötőhártyáját is izgatja, illetve szürkehályogot okozhat, célszerű a déli időszakban *UV-szűrős napszemüveg* viselése is.



5. Az ózon a talaj közelében is képződhet, ha van olyan folyamat, amely az O_2 molekulák felbomlásához vezet, mert az így keletkező oxigénatomok és O_2 molekulák egyesülése a (2) folyamatban látott módon ózont eredményez. Az *Áramvezetés gázokban* című fejezetben láttuk, hogy az *elektromos kisülések* egyes fajtáinál a gáz hőmérséklete rendkívül magassá válhat. Emiatt (a *Planck-törvénnyel* összhangban) a kisülésben nem csak látható fény, hanem ultraibolya sugárzás is keletkezik, amely az O_2 molekulák felbomlásához vezet. Emiatt például a hegesztés, az elektromos eszközökben fellépő szikrázások és a villámok ózont termelnek. Ugyancsak jelentős mennyiségű ózont termelhetnek a fénymásolók és lézernyomtatók, valamint a légrfrissítés céljára használt ionizátorok is. Ezek belsejében ugyanis nagyfeszültséggel működő egységek vannak, amelyek egyes alkatrészein *koronakisülés* vagy *csúcskisülés* jöhet létre és így ózon képződhet. Az ózon egészségkárosító hatása miatt zárt térben történő hegesztéskor, illetve a fénymásolók, lézernyomtatók folyamatos használatakor gondoskodni kell a megfelelő szellőzésről.
6. A talajközeli ózon képződésének másik fő forrását a *nitrogénoxidok* (NO és NO_2) és a *szénhidrogének* közötti kémiai reakciók jelentik. Ezeknek a vegyi anyagoknak a kombinációja napfény jelenlétében ugyanis ózont képez. A reakcióhoz szükséges nitrogénoxidok és szerves vegyületek elsősorban a *belső égésű motorok által kibocsátott égéstermékekből származnak*. Mivel az ózonkeletkezés függ a napsugárzás mértékétől, a maximális ózonkoncentráció a besugárzás maximumát (dél) követő néhány óra múlva tapasztalható.
7. A talajközeli ózon az emberi (és állati) szervezetbe jutva számos egészségkárosodást okozhat. Nyári, szélcsendes időszakban (amikor a talajközeli ózon szintje a legmagasabb) célszerű zárt helyen tartózkodni, és csak hajnalban szellőztetni. Növényeknél a magas ózonszint a sejtfalak roncsolásán keresztül a levelek károsodásához vezethet, továbbá gátolja a fotoszintézist és a gyökérlégzést is. Mindezek együttesen közrejátszhatnak a növények sérülésében, pusztulásában.



8. A CFC a *halogénezett szénhidrogének* (másnéven *fluorozott-klórozott szénhidrogének*, angolul *chlorofluorocarbon*) rövidített elnevezése. Ezek az anyagok nem tűzveszélyesek, nem vagy alig mérgezőek, szagtalanok. Emiatt számos helyen használják őket habosítószer, szórópalack-hajtógáz és zsírtalanító oldószer formájában. Mivel vannak köztük olyanok, amelyek alacsony forrásponttal rendelkeznek, összenyomással könnyen cseppfolyósíthatók és nagy a párolgáshőjük, ezért hűtőgépek, légkondicionálók hűtőközegeként különösen alkalmasak. Mivel azonban ezen anyagok a magaslégköri légáramlatokkal feljutnak a sztratoszférába is, súlyos károkat okoznak az ózonrétegben. Emiatt használatukat a *Montreali Jegyzőkönyv* részben betiltotta, részben jelentősen korlátozta. (Az 1989-ben hatályba lépett Montreali Jegyzőkönyv volt az első olyan nemzetközi környezetvédelmi megállapodás, amelyet az ENSZ valamennyi tagállama elfogadott.)
9. A vulkánkitörések hamufelhője, és a benne található gázok elérhetik a sztratoszférát, és így károsítják az ózonréteget is. Például a 2022. január 15-i *Hunga Tonga–Hunga Ha'apai vulkánkitörés* csóvája mindössze 30 perc alatt 58 km-es magasságba jutott. Becslések szerint több mint 100 000 000 tonna vízgőz jutott fel a sztratoszférába, a légkörbe kibocsátott kén-dioxid teljes mennyiségét 400 000 tonnára becsülik. 2023 szeptemberében a *Hunga Tonga–Hunga Ha'apai kitörés ózonkárosító következményeként az antarktisi ózonlyuk rekordméretűre (26 millió km²) nőtt.*



A képeken a *GOES-17* geostacionárius műhold által készített képek láthatók a kitörésről. A középső képen legmagasabb a csóva (58 km). Az utolsó felvételen a csóva területe kb. megegyezik Magyarország területével. A kitöréssel kapcsolatos PowerPoint bemutató (benne a fenti műholdképekkel) itt érhető el:

https://www.fizkapu.hu/fiztan/toltes/t_0055.html .

Példák

1. A *Függvénytáblázat* szerint az O_2 moláris kötési energiája 493 kJ/mol. Milyen hullámhosszú ultraibolya fény képes az oxigénmolekulákat atomokra bontani?

Megoldás

$$E_m = 493 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 493\,000 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\lambda = ?$$

A moláris kötési energia definíciója alapján:

$$E_m = \frac{E}{n}.$$

Ha ε_0 az egyetlen oxigénmolekula atomokra bontásához szükséges energiát jelöli, akkor N molekula szétbontásához szükséges energia:

$$E = N \cdot \varepsilon_0.$$

Ezt az előző összefüggésbe beírva, és az Avogadro-állandó definícióját felhasználva:

$$E_m = \frac{N \cdot \varepsilon_0}{n} = N_A \cdot \varepsilon_0.$$

A szükséges ε_0 energiát az ultraibolya fény egy fotonja biztosítja, így:

$$\varepsilon_0 = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}.$$

Ezt az előző összefüggésbe helyettesítve:

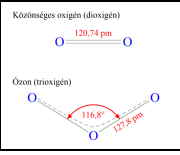
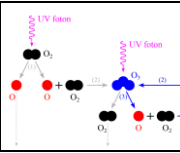
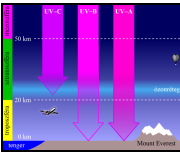
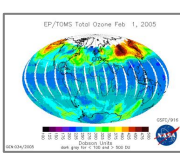
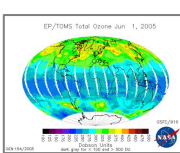
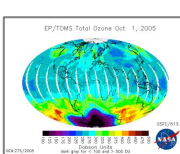
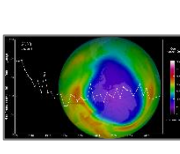
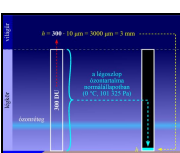
$$E_m = N_A \cdot \varepsilon_0 = N_A \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda}.$$

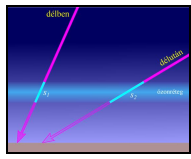

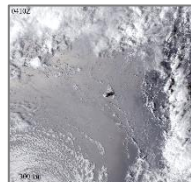
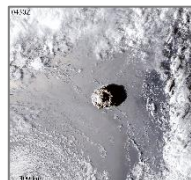

Ebből a keresett határhullámhossz meghatározható:

$$\lambda = \frac{N_A \cdot h \cdot c}{E_m} \approx \frac{6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{493\,000 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} \approx 243 \cdot 10^{-9} \text{ m}.$$

Eszerint az oxigénmolekula szétbontásához szükséges ultraibolya fény hullámhossza 243 nm, vagy ennél rövidebb lehet. (Ez gyakorlatilag megegyezik a 2. bekezdésben megadott értékkel.)

Képek jegyzéke

 <p>Közösleges oxigén (dioxidigén) 120,74 pm</p> <p>Ozón (trioxidigén) 116,8° 127,8 pm</p>	<p>Az oxigénmolekula és az ózónmolekula atomjainak elhelyezkedése</p> <p>© http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0773.svg</p>
 <p>1/λ foton</p> <p>1/λ foton</p>	<p>Az ózón keletkezése és bomlása</p> <p>© http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0774.svg</p>
 <p>UV-C</p> <p>UV-B</p> <p>UV-A</p> <p>50 km</p> <p>20 km</p> <p>Művelészetes területek</p>	<p>Az ultraibolya fény elnyelődése a légkörben</p> <p>© http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0775.svg</p>
 <p>EP/TOMS Total Ozone Feb. 1, 2005</p>	<p>Ózonszint (2005. február)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Niveles_de_ozono,_año_2005,_03.png</p>
 <p>EP/TOMS Total Ozone Jun. 1, 2005</p>	<p>Ózonszint (2005. június)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Niveles_de_ozono,_año_2005,_07.png</p>
 <p>EP/TOMS Total Ozone Oct. 1, 2005</p>	<p>Ózonszint (2005. október)</p> <p>W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Niveles_de_ozono,_año_2005,_11.png</p>
	<p>Az ózonlyuk műholdképe és az ózonréteg változása 1979–2023 közt (videó)</p> <p>© https://www.youtube.com/watch?v=ei-MhNTHgg4</p>
 <p>400 DU</p> <p>1 DU = 0,01 mm (10⁻³ m) oxigén 0°C, 1013 hPa</p>	<p>A Dobson-egység értelmezése</p> <p>© http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0776.svg</p>

	<p>Az ultraibolya fény útja az ózonrétegben délben és délután © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0777.svg</p>
	<p>Ultraibolya fény által okozott károsodás dohánylevélen W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Feuille_de_tabac_nécrosée.JPG</p>
	<p>A Hunga Tonga–Hunga Ha'apai vulkánkitörés (2022-01-15 UTC 04:10) © https://www.fizkapu.hu/fiztan/toletes/t_0055.html</p>
	<p>A Hunga Tonga–Hunga Ha'apai vulkánkitörés (2022-01-15 UTC 04:30) © https://www.fizkapu.hu/fiztan/toletes/t_0055.html</p>
	<p>A Hunga Tonga–Hunga Ha'apai vulkánkitörés (2022-01-15 UTC 05:10) © https://www.fizkapu.hu/fiztan/toletes/t_0055.html</p>

Jelmagyarázat:

© **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.

W A *Wikimedia Commons*-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.