



WYDZIAŁ
CHEMII
Uniwersytet Łódzki



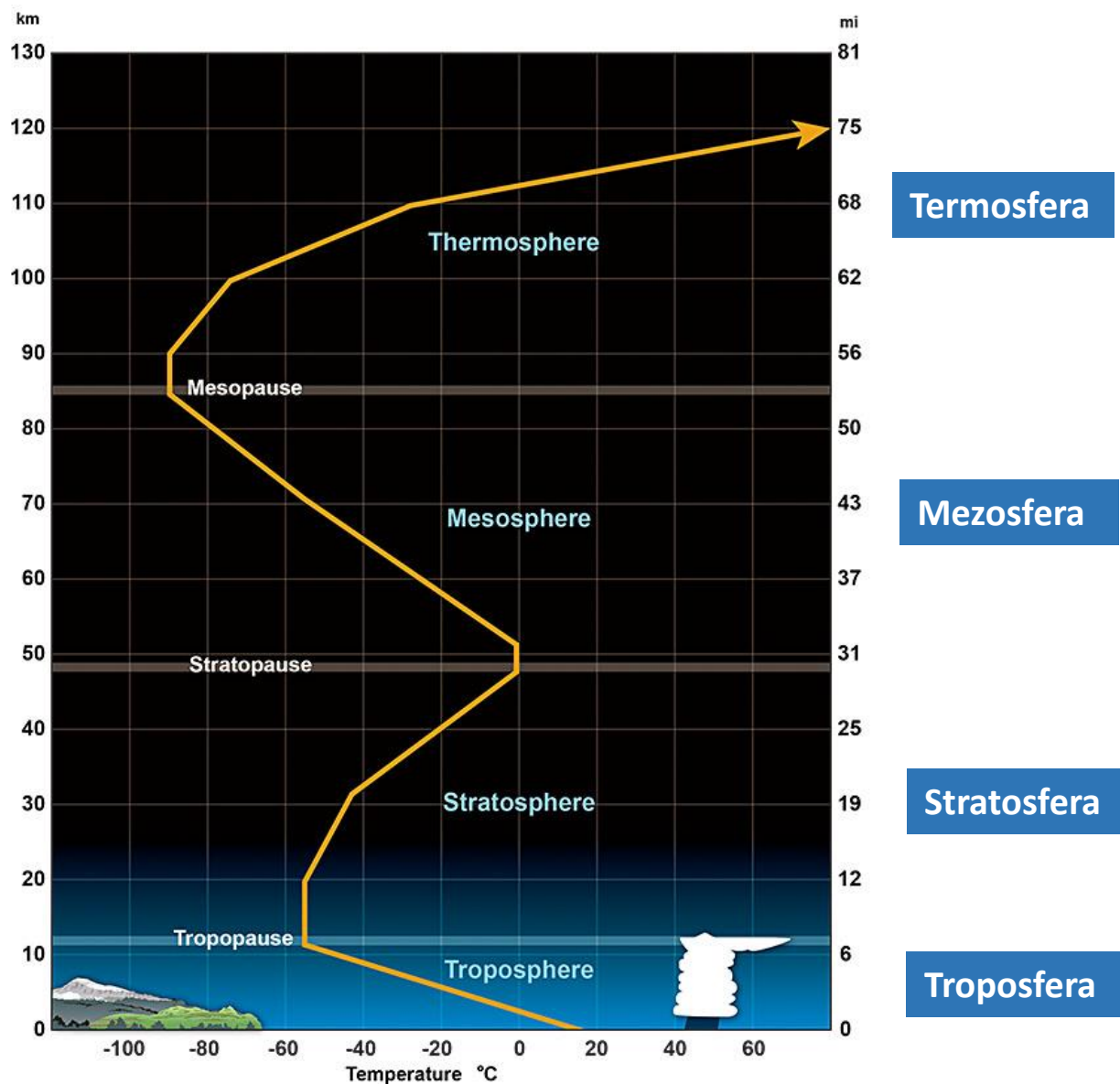
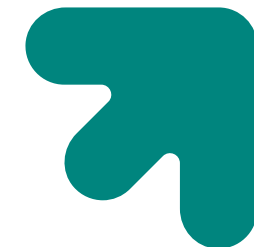
Chemia atmosfery – podstawy podstaw okiem chemika

dr Paweł Urbaniak

Wykład przygotowany na XV edycję Akademii Ciekawej Chemii
Uniwersytetu Łódzkiego

Łódź, 17.04.2024 r.

Atmosfera - struktura



- Atmosfera Ziemi – powłoka gazowa otaczająca Ziemię, utrzymywana przy powierzchni w wyniku działania grawitacji
- Masa atmosfery ziemskiej to około $5 \cdot 10^{15}$ ton, (0,000001 masy Ziemi)
- Atmosfera jest niejednorodna
- Powietrze – mieszanina gazów wchodzących w skład atmosfery

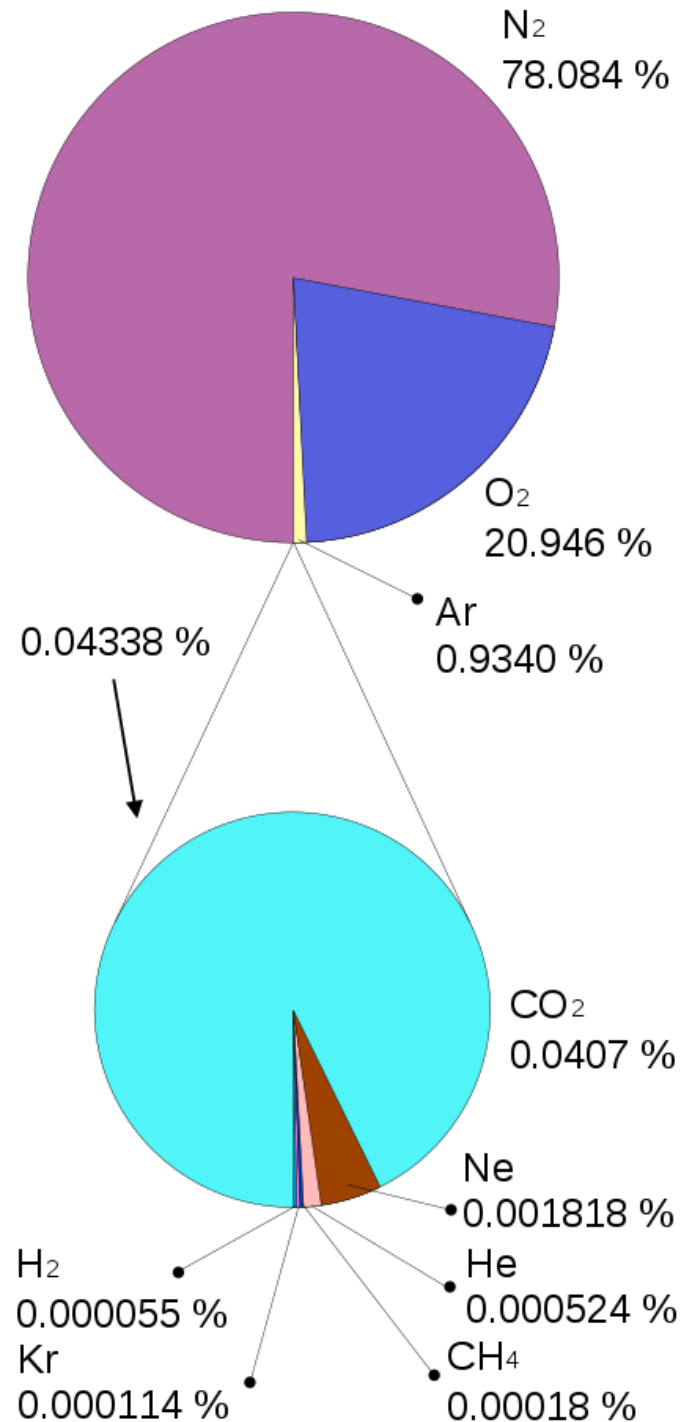


Atmosfera – struktura

- Wielkie naczynie chemiczne, ale o niejednorodnym i niestabilnym składzie
- Układ: otwarty (wymiana energii i masy z otoczeniem), złożony, o zmiennej koncentracji składników (tzw. gradient stężeń) oraz bodźców (czynników wpływających na przebieg procesów)
- Układ bardzo trudny do analizy
- Przedmiot zainteresowań: troposfera (0-12 km n.p.m.) – skład oraz procesy w niej zachodzące, ewentualnie razem z warstwą ozonową (należy do stratosfery, 25-40 km n.p.m.)

Troposfera - skład

- Skład powietrza suchego, w pobliżu powierzchni Ziemi
- Substancje niereaktywne lub trudno ulegające reakcjom: azot N_2 , argon Ar, neon Ne, hel He
- Substancje reaktywne: tlen O_2 , tlenek węgla(IV) CO_2 , metan CH_4 .
- Należy też brać pod uwagę wodę (do 4%) oraz zanieczyszczenia (naturalne oraz antropogeniczne)

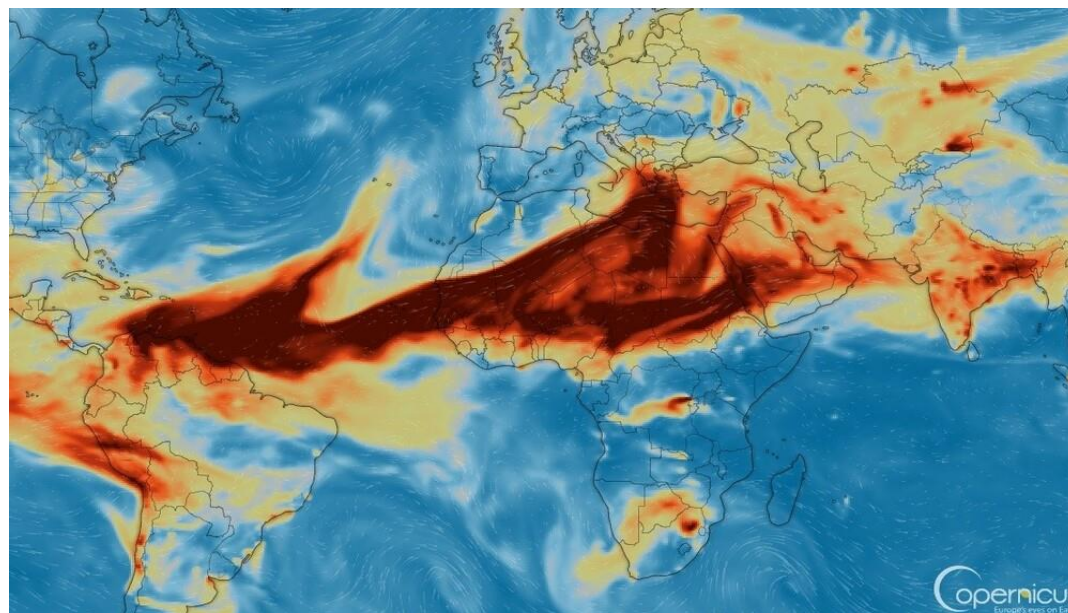


Troposfera - skład

- Źródła zanieczyszczeń naturalnych:
 - a) wybuchy wulkanów – obecnie jest około 450 czynnych wulkanów (popioły i gazy wulkaniczne: ditlenek węgla – CO_2 , ditlenek siarki – SO_2 , siarkowodór - H_2S i in.)
 - b) bagna (metan CH_4 , dwutlenek węgla CO_2 , siarkowodór H_2S , amoniak NH_3)
 - c) wyładowania atmosferyczne (tlenki azotu NO_x)
 - d) pożary lasów, sawann, stepów (ditlenek węgla CO_2 , tlenek węgla(II) CO , pył)
 - e) gejzery (siarkowodór- H_2S , arsen i inne metale ciężkie)
 - f) gleby i skały ulegające erozji , burze piaskowe (pyły)
 - g) bakterie i inne organizmy (metan CH_4 , CO_2)



▲ Wybuch wulkanu La Soufriere na St.Vincent (Karaiby), 9.04.2021r., zdjęcie z 13.04.2021r. ; ▼ Chmura SO_2 , 16.04.2021r.





Troposfera - skład

- Źródła zanieczyszczeń antropogenicznych:
 - a) energetyczne – na które składają się procesy wydobywania (kopalnie, szyby wiertnicze) i spalania paliw.
 - b) przemysłowe – przemysł ciężki (przeróbka ropy naftowej, hutnictwo, cementownie, przemysł chemii organicznej), metalurgiczny, przemysł chemiczny (np. produkcja i stosowanie rozpuszczalników), przemysł spożywczy, przemysł farmaceutyczny
 - c) komunikacyjne – transport lądowy (samochodowy, kolejowy), powietrzny i wodny
 - d) komunalno-bytowe – paleniska domowe, kotłownie lokalne, gospodarstwa rolne, gromadzenie i utylizacja odpadów stałych i ścieków (wysypiska, oczyszczalnie)



Troposfera - skład

- Zanieczyszczenia powietrza można podzielić na:
 - a) zanieczyszczenia pierwotne - występują w powietrzu w takiej postaci, w jakiej zostały uwolnione do atmosfery
 - b) zanieczyszczenia wtórne - są produktami przemian fizycznych i reakcji chemicznych, zachodzących między składnikami atmosfery i jej zanieczyszczeniem oraz pyłami uniesionymi ponownie do atmosfery po wcześniejszym osadzeniu na powierzchni ziemi;

Zanieczyszczenia wtórne mogą być bardziej szkodliwe od zanieczyszczeń pierwotnych.



Troposfera - skład

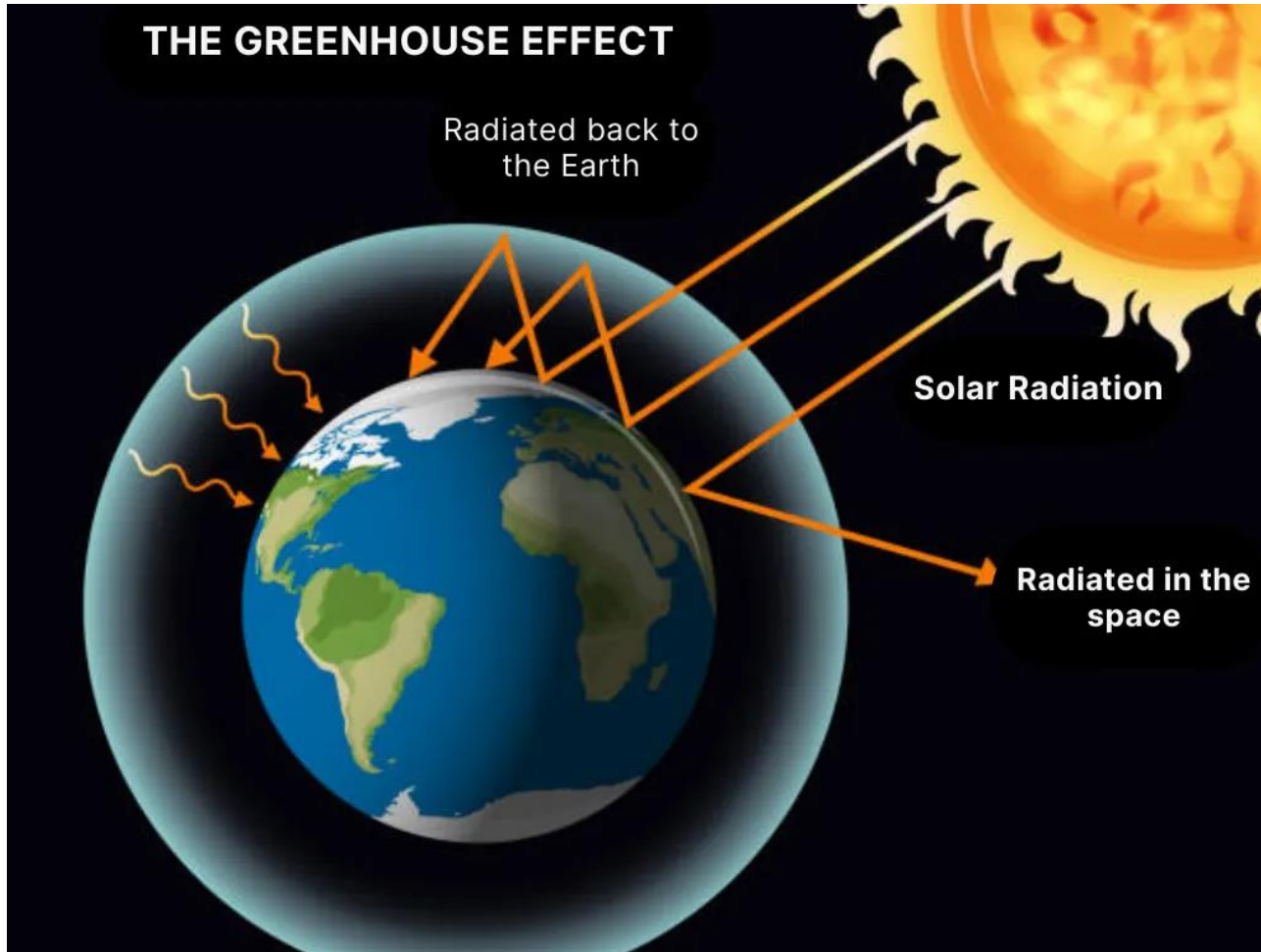
- Skład powietrza w troposferze cały czas się zmienia.
- Niektóre substancje znajdujące się w powietrzu są bardzo reaktywne tzn. mają większą skłonność do wchodzenia w reakcję z innymi substancjami w celu tworzenia nowych związków.
- Katalizatorem, który sprzyja procesom reakcji chemicznej lub je wywołuje, jest promieniowanie elektromagnetyczne, w tym promieniowanie wytwarzane przez Słońce.
- Jednym z najważniejszych typów reakcji przebiegających w atmosferze są reakcje rodnikowe

Troposfera - skład



cząsteczka	średni czas życia
O ₃	25 godzin
CO ₂	50 – 200 lat
N ₂ O	114 -120 lat
SF ₆	3200 lat
CH ₄	12 - 15 lat
CHCl ₂ F	1,7 lat
CHClF ₂	11,9 lat
CHF ₃	270 lat
CCl ₃ F	45 lat
CCl ₂ F ₂	100 lat
CH ₂ F-CF ₃	14 lat
H ₂ O – para wodna	4 – 10 dni (dłużej w tropikalnych rejonach oraz latem)

Efekt cieplarniany








- Wynik występowania atmosfery — średnia temperatura powierzchni Ziemi wynosi np. 14–15°C, bez atmosfery byłaby niższa o ok. 44°C.
- Atmosfera przepuszcza do powierzchni Ziemi znaczną część promieniowania słonecznego (promieniowanie krótkofalowe, od 0,1 do 4 μm), a zatrzymuje znaczną część promieniowania wysyłanego przez powierzchnię Ziemi (promieniowanie długofalowe, od 4 do 80 μm).
- Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi jest przez nią pochłaniane (niewielka część zostaje odbita) i zamieniane na ciepło, a ogrzana powierzchnia Ziemi emituje promieniowanie
- Energia przekazana atmosferze jest przez nią wypromieniowywana (w postaci promieniowania długofalowego) głównie z powrotem w stronę Ziemi (tzw. promieniowanie zwrotne)

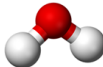

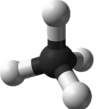

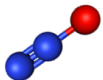
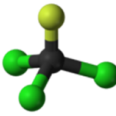
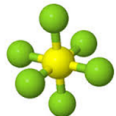


Efekt cieplarniany

Gazy niepochlaniające promieniowania długofalowego

Molekuła	Gaz	Koncentracja
	N ₂ azot	78%
	O ₂ tlen	21%
	Ar argon	0,93%
	H ₂ wodór	śladowa
	He hel	śladowa

Gazy pochłaniające promieniowanie długofalowe

Molekuła	Gaz	Koncentracja
	H ₂ O para wodna	zmienna – śr. w atmosf. 4000 ppm
	CO ₂ dwutlenek węgla	400 ppm
	CH ₄ metan	2 ppm
	O ₃ ozon	0,6 ppm
	N ₂ O podtlenek azotu	0,3 ppm
	CCl ₃ F trichlorofluorometan przykład CFC/HFC	śladowa
	SF ₆ sześćfluorek siarki przykł. inny gaz przemysłowy	śladowa

- Efekt cieplarniany sam w sobie NIE JEST NIEKORZYSTNY
- Niekorzystny jest jego gwałtowny, niekontrolowany wzrost
- Takie działanie atmosfery jest możliwe dzięki obecnym w niej cząsteczkom trój- i więcej atomowym
- Zwiększanie liczby takich cząsteczek powoduje wzrost pochłaniania energii ciepłej emitowanej przez Ziemię, a tym samym wzrost efektu cieplarnianego



Rodniki

Troposfera (powietrze) z punktu widzenia CHEMIKA

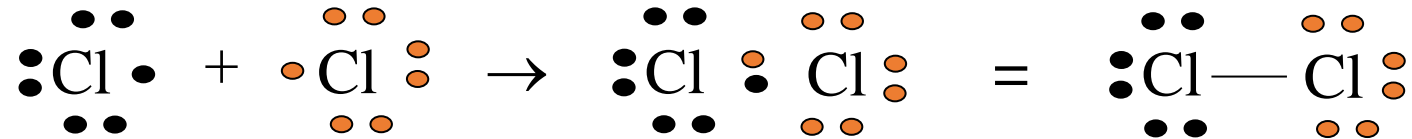
- Atmosfera – olbrzymi zbiornik o nieostro zaznaczonych granicach, w którym przebiegają zróżnicowane procesy fizyko-chemiczne
- Wśród reakcji przebiegających w atmosferze bardzo ważną rolę odgrywają reakcje z udziałem rodników (reakcje rodnikowe)



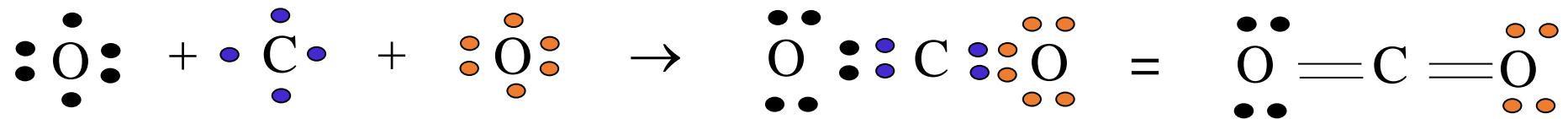
Rodniki w atmosferze

Wiązanie kowalencyjne jest tworzone poprzez uwspólnienie par elektronowych

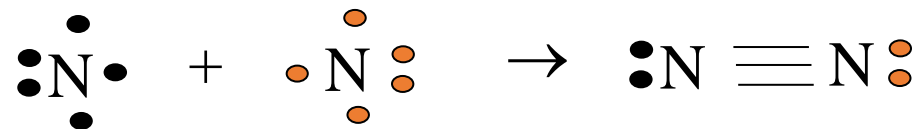
Wiązanie pojedyncze



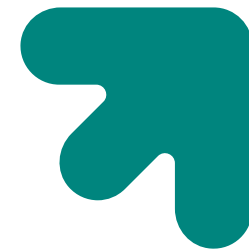
Wiązanie podwójne



Wiązanie potrójne



Rodniki w atmosferze



- Dzięki temu powstające cząsteczki są trwalsze (mają niższą energię)
- Takie wiązanie może zostać rozerwane, wtedy gdy do cząsteczki zostanie dostarczona odpowiednia porcja energii. W naszym przypadku: w postaci fali elektromagnetycznej
- Mogą wtedy powstać tzw. wolne rodniki. Posiadają one NIESPAROWANE elektrony
- Takie rodniki są bardzo reaktywne.



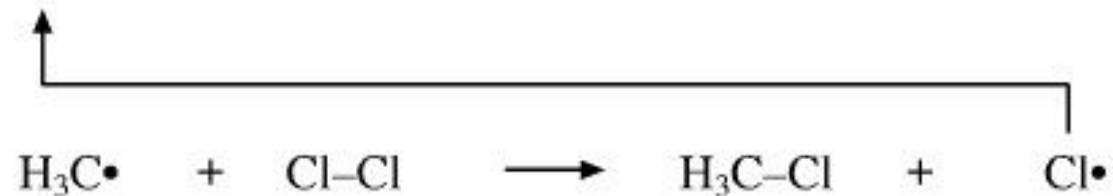
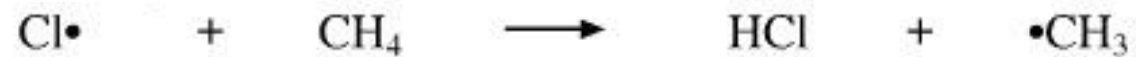
Rodniki w atmosferze

- Przykład procesu przemian rodnikowych (nie jest to proces bardzo istotny dla atmosfery, natomiast jest ważny na maturze z chemii):

Inicjacja



Propagacja



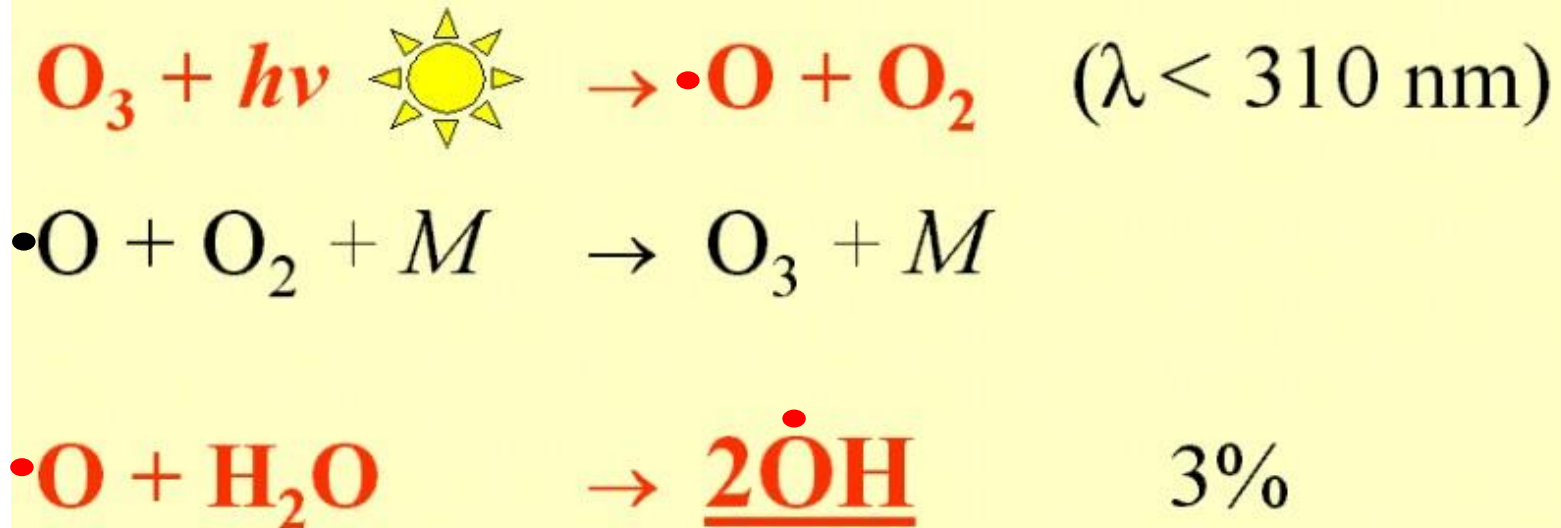
Terminacja





Rodniki w atmosferze

- Reakcje z udziałem rodników są bardzo ważnymi procesami chemicznymi biegnącymi w atmosferze.
- Bardzo istotną rolę pełni w atmosferze rodnik hydroksylowy $\bullet\text{OH}$



M – symbolizuje cząsteczkę, która przejęła nadmiar energii podczas reakcji



Utleniający charakter atmosfery

- Atmosfera – środowisko w którym dominują utleniacze
 - Utleniacz – pierwiastek lub związek, który w reakcjach polegających na wymianie elektronów - przyłącza je*
- Główne utleniacze, które występują w atmosferze to:
 - rodnik hydroksylowy $\cdot\text{OH}$ – najważniejszy utleniacz w atmosferze,
 - rodnik azotanowy $\cdot\text{NO}_3$,
 - cząsteczka ozonu O_3
- stężenie $\cdot\text{OH}$ w nocy jest bliskie zeru (powód: brak promieniowania słonecznego, niezbędnego do jego tworzenia się).
- W nocy i w okresach niedoboru światła słonecznego ważniejszą rolę pełnią procesy chemiczne z udziałem rodnika azotanowego $\cdot\text{NO}_3$ i ozonu O_3 .



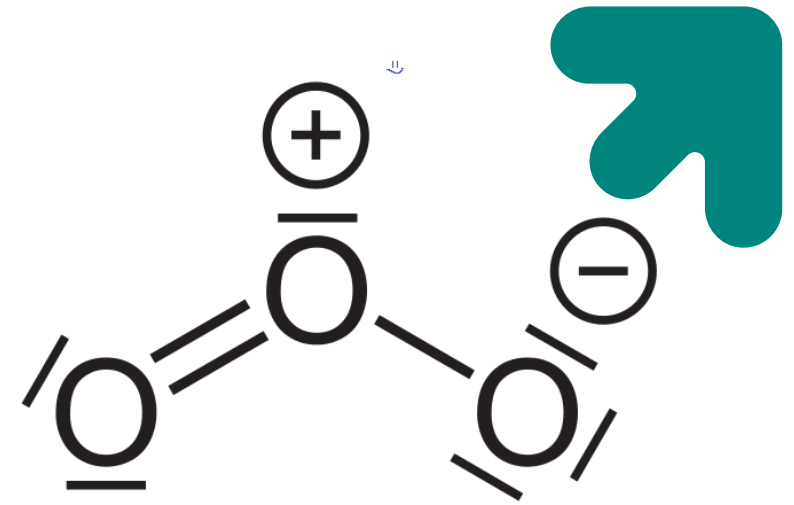
Utleniający charakter atmosfery

- Niektóre związki chemiczne (nieliczne), są bardzo trwałe i nie wchodzą w reakcje z $\cdot\text{OH}$ lub też reagują bardzo wolno
- Przykłady: chlorofluorowęglowodory CFCs (np. freon CF_2Cl_2), tlenek diazotu N_2O oraz ditlenek węgla CO_2 .
- Metan CH_4 reaguje 100-1000 razy wolniej w porównaniu z innymi związkami organicznymi. Stąd stężenie metanu w atmosferze (około 1,7 ppm = 1,7 $\mu\text{mol/mol}$) może być dość wysokie, natomiast większość śladowych gazów organicznych osiąga stężenia poniżej 1 ppb (1 nmol/mol)

1 ppm = 1 cząsteczka na milion cząsteczek ($1/10^6$)

1 ppb = 1 cząsteczka na miliard cząsteczek ($1/10^9$)

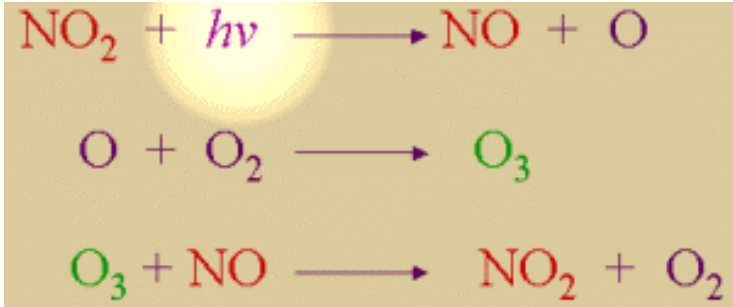
Ozon



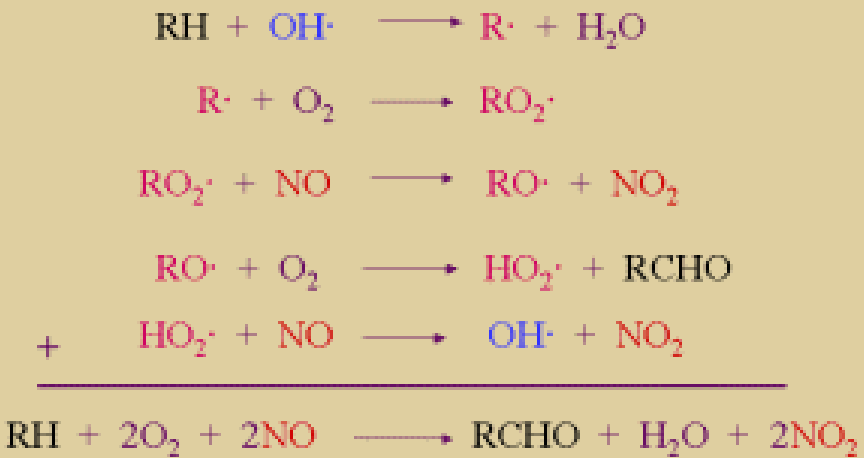
- Ozon to odmiana alotropowa tlenu.
- Jest silnym utleniaczem fotochemicznym
- W stratosferze (90% całości) tworzy tzw. warstwę ozonową - absorbuje prawie całkowicie szkodliwe dla organizmów żywych, promieniowanie ultrafioletowe o długości fali $\lambda < 295$ nm
- W troposferze (10% całości) jest zanieczyszczeniem powietrza.
- Ozon powstający przy powierzchni ziemi jest zanieczyszczeniem wtórnym i powstaje w wyniku reakcji fotochemicznych tlenków azotu i lotnych związków organicznych w atmosferze
- Powstawaniu ozonu sprzyja słoneczna pogoda i wysoka temperatura powietrza.



Ozon



- Cykl tworzenia i rozpadu ozonu. Nie ma ani żadnej jego produkcji ani zużycia.

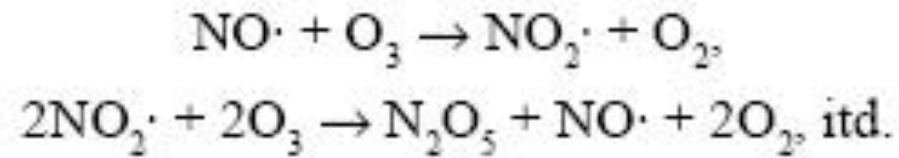


- Gdy w powietrzu znajdują się też lotne związki organiczne (VOC), reagują one z rodnikami $\cdot\text{OH}$, tworząc rodniki nadtlenowe $\cdot\text{RO}_2$, które z kolei utleniają tlenek azotu(II) NO
- Reakcja ta konkuruje ze reakcją powodującą rozpad ozonu, stąd w obecności VOC powstaje więcej ozonu niż ulegnie rozpadowi

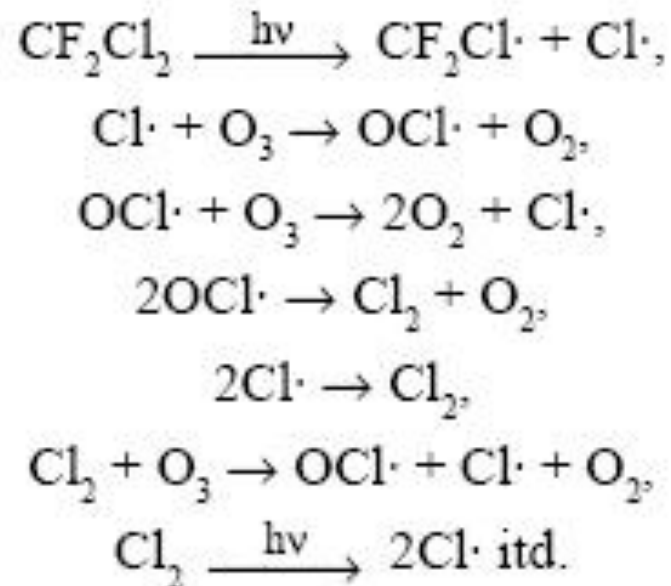


Ozon

- Rola ozonu w wyższych warstwach troposfery



oraz



- Współdział w powstawaniu kwaśnych opadów
- Reakcje z chlorofluoropochodnymi węglowodorów (przykład: freon)

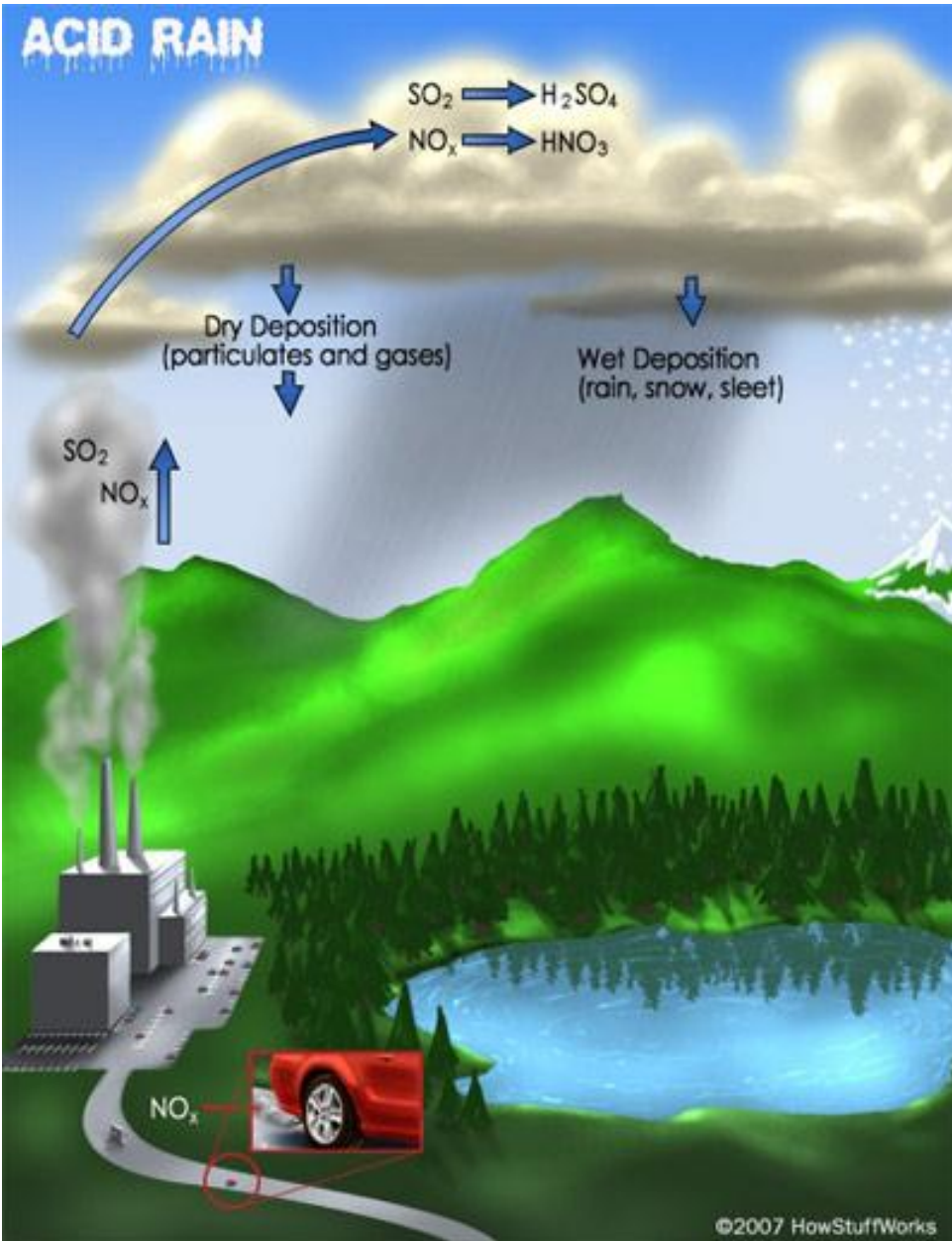


Kwaśne deszcze

- Idealnie czysta woda destylowana pH = 7
- Czysty deszcz – pH = 5,6 – wynika to z obecności w nim ditlenku węgla CO₂.

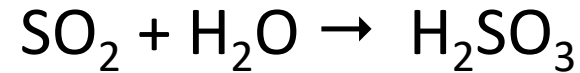


- W krajach uprzemysłowionych pH opadów zawiera się w granicach 3-5, a nawet poniżej 3
- W Szkocji w roku 1974 spadł deszcz o pH 2,4
- pH kwaśnych opadów w Polsce jest rzędu wielkości 4,2-4,6.

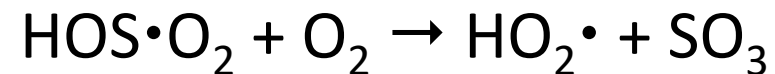
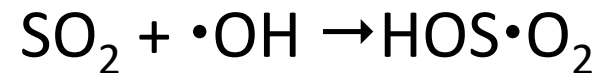


Kwaśne deszcze

- Emitowane: SO_2 , CO_2 , NO_x – zanieczyszczenia pierwotne



- Jak powstaje kwas H_2SO_4 ?

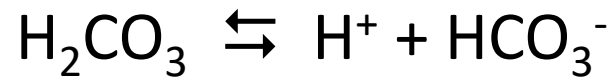


W procesie tym bierze udział rodnik hydroksylowy $\cdot\text{OH}$



Inne kwasy znajdujące się w opadach atmosferycznych

- Kwas solny HCl – mocny kwas, stosunkowo nieduża ilość w opadach, pochodzi ze źródeł antropogenicznych oraz z naturalnych (wulkany)
- Kwas węglowy H_2CO_3 – słaby kwas o znikomym wpływie na pH opadów
- Kwas siarkowy(IV) H_2SO_3 - słaby kwas o znikomym wpływie na pH opadów

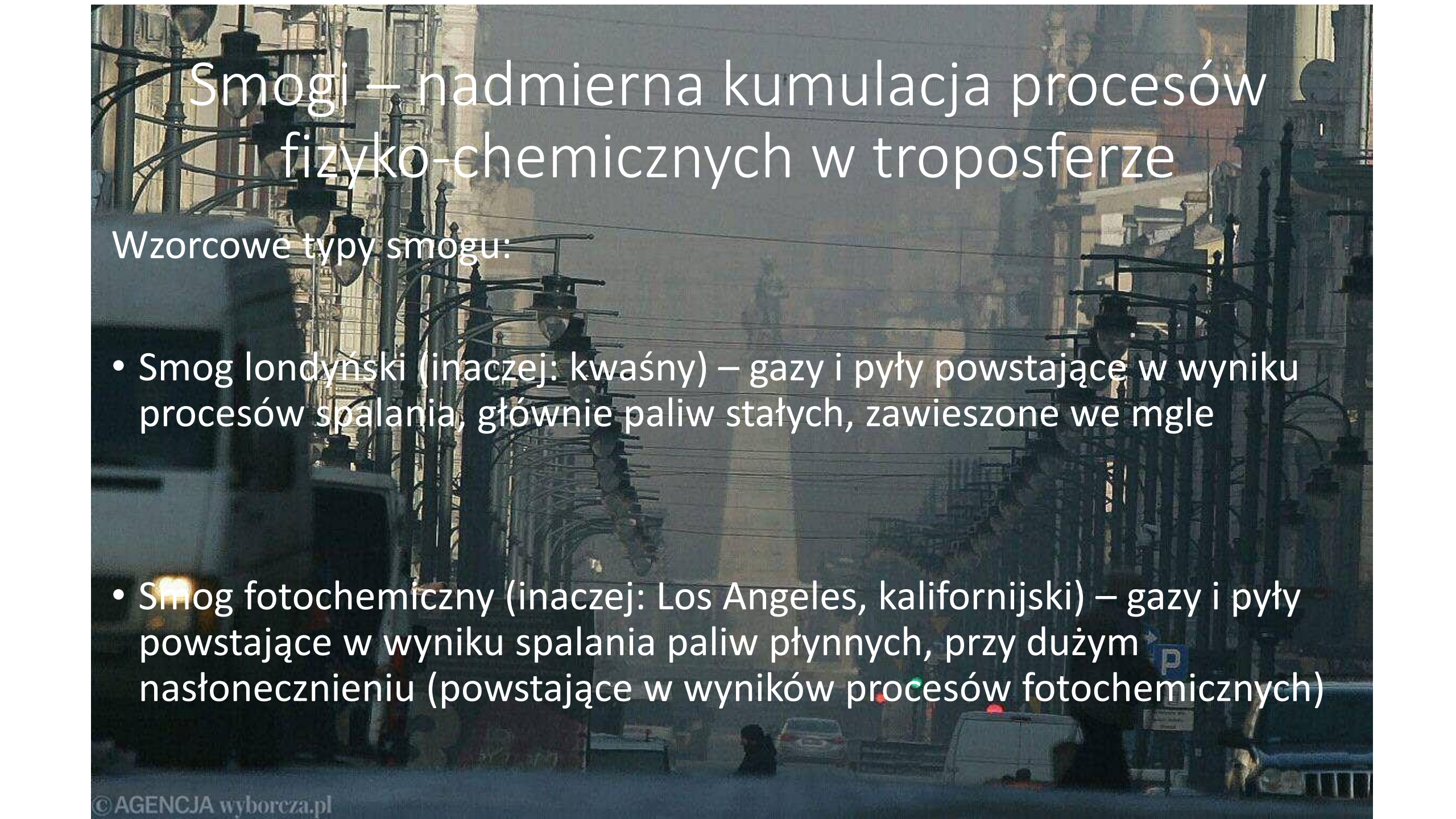


- Kwas metanowy (mrówkowy) HCOOH – najczęściej spotykany w opadach atmosferycznych kwas organiczny, produkt wtórnych przemian w atmosferze
- Kwas etanowy (octowy) CH_3COOH – produkt uboczny reakcji rozkładu fotochemicznego



Kwaśne deszcze - następstwa

- zakwaszenie gleby i uszkodzenie korzeni roślin oraz zwiększenie ich wrażliwości na czynniki atmosferyczne
- niszczenie naturalnych miejsc bytowania zwierząt wodnych i lądowych
- wypłukiwanie metali ciężkich z gleby, poprzez rozpuszczanie ich soli (które w rezultacie trafiają do wody)
- rozpuszczanie wapienia (kamień wapienny, marmur)
$$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ (rozpuszczalny w wodzie)}$$
- Przyspieszenie korozji tworzyw sztucznych i metali (metale reagują z kwasami)



Smogi – nadmierna kumulacja procesów fizyko-chemicznych w troposferze

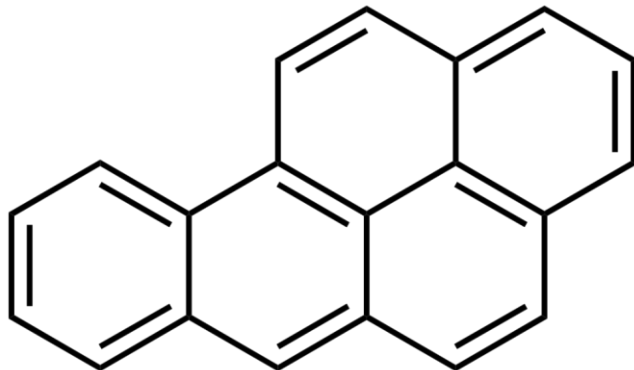
Wzorcowe typy smogu:

- Smog londyński (inaczej: kwaśny) – gazy i pyły powstające w wyniku procesów spalania, głównie paliw stałych, zawieszane we mgle
- Smog fotochemiczny (inaczej: Los Angeles, kalifornijski) – gazy i pyły powstające w wyniku spalania paliw płynnych, przy dużym nasłonecznieniu (powstające w wyniku procesów fotochemicznych)



Smog londyński

- Nazwa pochodzi od ekstremalnie intensywnego smogu zarejestrowanego w Londynie w dniach od 5 do 9 grudnia 1952 roku
- Skład: wysokie stężenia CO_2 , SO_2 , poza tym CO, pyły (sadza, WWA – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne)
- Występująca inwersja temperatury blokuje przemieszczanie się (wymianę) mas powietrza – powietrze i jego zanieczyszczenia zostają zablokowane w określonej przestrzeni

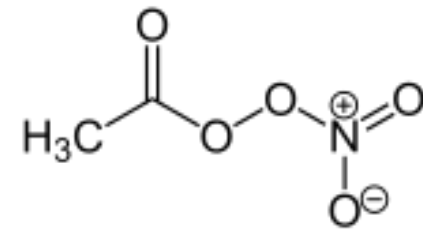


benzo[a]piren - przykład związku WWA – wielopierścieniowego węglowodoru aromatycznego



Smog fotochemiczny

- Smog fotochemiczny – bardziej narażone strefy subtropikalne, sprzyja lato, wysoka temperatura, duże nasłonecznienie
- Charakterystyczna brunatnoczerwona barwa
- Skład: pierwotne zanieczyszczenia - tlenki azotu NO_x , węglowodory C_xH_y (i inne lotne związki organiczne VOCs), wtórne zanieczyszczenia - ozon O_3 , azotan(V) peroksyacetylu (PAN)



azotan (V)
peroksyacetylu

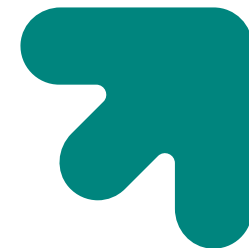
UWAGA: Lotne związki organiczne VOCs to także perfumy, składniki odświeżaczy powietrza, środków czystości, farb ale też pestycydów, pozostałości materiałów wybuchowych.

Smog



- W Europie Środkowej (w tym w Polsce) i Turcji na ogół smog ma charakter pośredni pomiędzy wzorcowymi – zawiera zarówno elementy smogu londyńskiego jak i fotochemicznego

Nieprzyjemny zapach też jest zanieczyszczeniem



- Odoranty, to substancje (czyste związki chemiczne albo określone lub nieokreślone mieszaniny związków chemicznych) pobudzające system węchowy człowieka, tak że odczuwa on zapach (przyjemny lub nieprzyjemny)
- Przyjmuje się, że na terenach zamieszkałych zapach nie powinien występować – jako rozpoznawalny - częściej niż przez kilka procent czasu roku



Odoranty – zanieczyszczenia powietrza substancjami o swoistym zapachu

- Pochodzenie odorów, które powodują najwięcej dolegliwości:
 - a) produkcja zwierzęca
 - b) przemysł utylizacji odpadów zwierzęcych
 - c) niszczenie i składowanie odpadów (zwłaszcza szlamów ściekowych i nawozów zwierzęcych)
 - d) niektóre procesy przemysłowe
- Nawet przyjemne zapachy mogą być uciążliwe w nadmiernym natężeniu.



Odoranty – zanieczyszczenia powietrza substancjami o swoistym zapachu

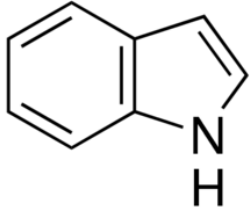
- Parametry zapachów:
 - a) natężenie (poziom odczuwania zapachu),
 - b) charakter zapachu (właściwości umożliwiające rozróżnienie substancji – rozpoznawalne zapachy są najbardziej dokuczliwe),
 - c) stopień przyjemności (poziom przyjemnego lub nieprzyjemnego wrażenia w zależności od specyficznej sytuacji)
 - d) częstość i długotrwałość emisji.
- Wiele zapachów można wykryć powonieniem przy bardzo małych stężeniach (propenotiol – zapach czosnku – 0,05 ppb – 0,00005 mg/dm³, SO₂ – 0,009 mg/dm³, NH₃ – 0,37 mg/dm³).

Rodzaj emitowanych zanieczyszczeń z różnych źródeł. O – oczyszczalnia ścieków komunalnych, W – składowisko odpadów biologicznych, C – chlewnia, S – smażalnia ryb; S_{PWW} - progi węchowej wyczuwalności [ppm]

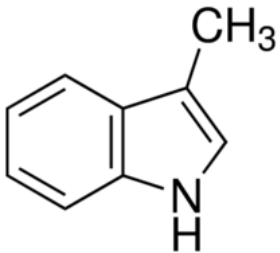
Związek	O	W	C	S	Zapach	$S_{PWW}^{21, 22)}$
Siarkowodór H_2S	+	+	+		zgniłych jaj	0,018
Disiarczek węgla CS_2	+					
Metanotiol CH_3SH	+	+			gnijących warzyw	0,001
Etanotiol CH_3CH_2SH	+	+			gnijących warzyw	0,0011
Propanotiol $CH_3(CH_2)_2SH$	+				wydzielin skunksa	0,001
Pentanotiol $CH_3(CH_2)_4SH$		+			czosnku	0,000121
Siarczek dimetylu CH_3SCH_3		+		+	gnijących warzyw	0,0023
Disiarczek dimetylu CH_3SSCH_3	+	+		+	gnijących warzyw	
Siarczek Dietylu $C_2H_5SC_2H_5$	+	+			gnijących warzyw	0,004
Trisiarczek dimetylu CH_3SSSCH_3	+			+	mdły	
Amoniak NH_3	+		+		gryzący	5,75
Metyloamina CH_3NH_2	+				zepsutych ryb	0,02
Etyloamina $CH_3CH_2NH_2$	+				zepsutych ryb	0,002
Propyloamina $CH_3(CH_2)_2NH_2$	+				zepsutych ryb	
Dimetyloamina $(CH_3)_2NH$	+				zepsutych ryb	
Trimetyloamina $(CH_3)_3N$	+			+	zepsutych ryb	
Indol $C_6H_4(CH_2)_2NH$	+		+		fekalny	0,000032
Skatol C_9H_9N	+		+		fekalny, mdły	0,000565
2-Amino-acetofenon $H_2NC_6H_4COCH_3$			+			
Kwas octowy CH_3COOH	+		+		gryzący	0,145
Kwas propionowy CH_3CH_2COOH			+		zjelczały, ostry	0,16
Kwas butanowy $CH_3(CH_2)_2COOH$	+	+	+		zjelczonego masła	0,004
Kwas pentanowy $CH_3(CH_2)_3COOH$	+		+		potu, waleriany	0,05
Kwas <i>izo</i> -pentanowy $(CH_3)_2CHCH_2COOH$			+		potu, waleriany	
Kwas heksanowy $CH_3(CH_2)_4COOH$			+		cierpki, potu	0,012
Kwas <i>izo</i> -heksanowy $(CH_3)_2CH(CH_2)_2COOH$			+		cierpki, potu	
Kwas heptanowy $CH_3(CH_2)_5COOH$			+		cierpki, zjelczały	0,027



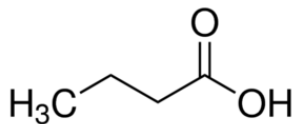
Odoranty – przykłady związków



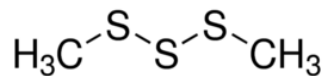
Indol – zapach fekaliiów



Skatol – zapach fekaliiów



Kwas butanowy (masłowy) – zapach zjełczałego masła



Trisiarczek dimetylu – zapach rozkładającego się mięsa



Pyły zawieszane PM_{2,5} oraz PM₁₀

- Pył zawieszony jest mieszaniną substancji organicznych i nieorganicznych
- Ziarna pyłu nie są jednolite pod względem składu chemicznego
- Proste substancje mineralne (nieorganiczne) stanowią mniej niż połowę składników drobin aerozolu
- Struktura: zarodek pyłu jest obudowany innymi substancjami
- Skład pyłu jest uzależniony od obszarów na którym występuje



źródło: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

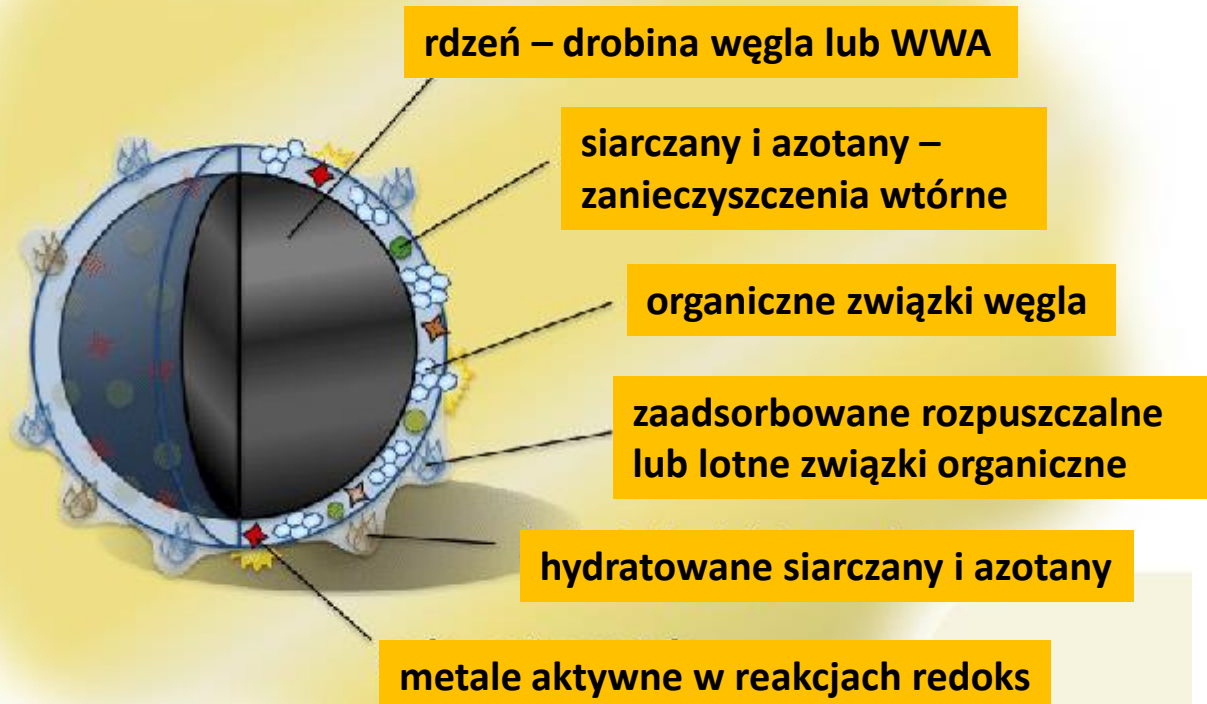


Pyły zawieszone PM_{2,5} oraz PM₁₀

- Frakcje pyłu zawieszonego:
 - a) pył PM₁₀ – składa się z cząsteczek o średnicy do 10 μm,
 - b) pył PM_{2,5} – złożony z cząsteczek o średnicy do 2,5 μm.
 - c) czasem wyróżnia się jeszcze pył zawieszony PM₁, złożony z cząsteczek o średnicy do 1 μm oraz PM_{0,1} o cząsteczkach o średnicy poniżej 0,1 μm
- Dopuszczalne stężenie to w Polsce:
 - dla pyłu PM₁₀ – 50 μg/m³, (dobowe, średnia roczna 40 μg/m³)
 - dla pyłu PM_{2,5} – 25 μg/m³.



Pyły zawieszzone

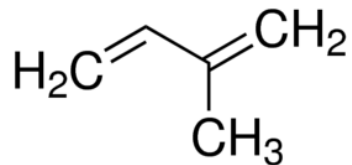


- Schemat budowy drobiny pyłu zawieszonego – na powierzchni drobiny zaadsorbowane mogą być różne substancje

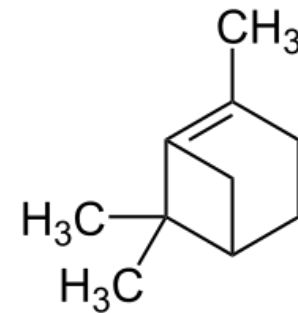


Pyły zawieszone

- Na terenach miejskich dominuje pył zbudowany na zarodkach (rdzeniach) nieorganicznych.
- Rolę zarodków, wyłapujących kolejne substancje chemiczne z otoczenia, pełnią m.in. kurz oraz kancerogenne drobiny sadzy powstającej wskutek procesów spalania śmieci i zawarte w spalinach
- Na terenach wiejskich często zarodkami są silnie lotne substancje, które otaczają roślinę ochronną otoczką gazów (głównie izopren w przypadku drzew liściastych i α -pinen w przypadku iglastych). Cząsteczki tych związków pełnią rolę zarodków, wokół których kondensują m.in. szkodliwe substancje chemiczne pochodzące z działalności człowieka.



Izopren



α -pinen



Pyły zawieszane

- Niektóre substancje mogą pełnić rolę zarówno zarodków, tworząc rdzeń jak i być zaadsorbowane na jego powierzchni:
 - a) wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) – grupa obejmująca ponad 200 policyklicznych węglowodorów aromatycznych, z których znaczna część ma potwierdzone działanie rakotwórcze i toksyczne (najbardziej znanym, a zarazem najgroźniejszym WWA jest benzo(a)piren)
 - b) metale ciężkie, m.in. arsen, kadm, nikiel i ołów
 - c) inne substancje: siarka, azbest, cement, kwarc.



Pyły zawieszzone

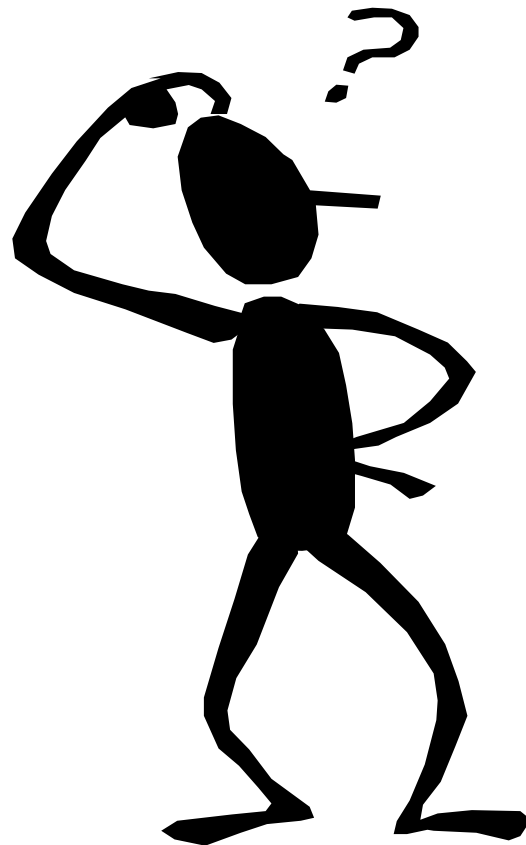
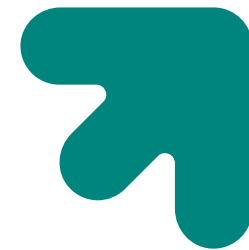
- Pyły mogą być podłożem katalizującym przebieg wielu reakcji chemicznych
- Stanowią bezpośrednie zagrożenie dla naszego zdrowia
- Mogą powodować straty w gospodarce czy przemyśle, np. poprzez uszkodzenie urządzeń
- Wymuszają stosowanie odpowiednich zabezpieczeń, np. filtrów



Podsumowanie

- Atmosfera jest dla chemika wielkim zbiornikiem o złożonej zawartości, w którym przebiegają skomplikowane procesy chemiczne
- Badania chemii atmosfery są bardzo trudne
- Zadanie dla chemii: poznanie zależności pomiędzy substancjami zawartymi w atmosferze, badanie jak dana substancja może wpływać na procesy biegnące w powietrzu
- Nie mniej ważne: analiza składu atmosfery, a także wskazanie tendencji zachodzących w niej zmian

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!



CZY SĄ PYTANIA?