



## **III. Atmosfera**

### **1. Budowa atmosfery**

# Definicja atmosfery

- **Atmosfera** – to gazowa i zewnętrzna powłoka Ziemi.
- Złożona jest ona z mieszaniny gazów.



# Atmosfera ziemska

- **Atmosfera ziemska** to powłoka gazowa otaczająca ze wszystkich stron kulę ziemską i nie mająca ściśle określonego kształtu.
  - Krąży ona wraz z Ziemią w przestrzeni kosmicznej i podlega działaniu siły przyciągania ziemskiego.
  - Atmosfera jest układem dynamicznym.
    - W jej dolnej części, zwanej **troposferą**, zachodzi ciągłe przemieszczanie mas powietrza.
      - Źródłem energii tych procesów jest promieniowanie słoneczne.
    - Atmosfera wraz z magnetosferą chroni nas przed **promieniowaniem ultrafioletowym**, które jest szkodliwe dla organizmów żywych, a także przed nadmiernym wypromieniowaniem ciepła z Ziemi.
    - Przelatujące przez atmosferę **meteory** i inne ciała kosmiczne najczęściej spalają się lub rozpadają na drobny pył.
      - Atmosfera zabezpiecza więc nas przed meteorami.
  - Powszechnie przyjmuje się, że atmosfera sięga na dole do litosfery i hydrosfery.
    - Powietrze przenika jednak znacznie głębiej, wypełnia pory i próżnie skalne w litosferze nawet na głębokości kilku tysięcy metrów.
  - **Górna granica atmosfery** znajduje się w przybliżeniu na wysokości **2000 km** nad powierzchnią Ziemi.



# Powstanie atmosfery

- Badania geologów umożliwiają spojrzenie w przeszłość, kiedy Ziemia rodziła się z pyłów i gazów kosmicznych około **4,6 mld lat temu**.
- Półpłynna gorąca materia młodej Ziemi powoli stygła do około 100°C.
- Ciężkie pierwiastki i ich związki gromadziły się wewnątrz Ziemi.
- Lekkie substancje, które wydobywały się z milionów czynnych wówczas **wulkanów**, tworzyły pierwotną atmosferę, która nie zawierała tlenu.
  - Były to głównie:
    - wodór ( $H_2$ ),
    - hel (He),
    - azot ( $N_2$ ),
    - para wodna ( $H_2O$ ),
    - tlenek i dwutlenek węgla (CO i  $CO_2$ ),
    - związki siarki,
    - metan ( $CH_4$ ).
  - Najlżejsze z nich – wodór i hel uciekły w przestrzeń kosmiczną.



# Formowanie się atmosfery

- Powierzchnia młodej Ziemi – lądy i oceany, jak i jej atmosfera, nie zawierały materii organicznej i wolnego tlenu.
- Pierwszymi formami życia były **bakterie**, które do procesów życiowych nie potrzebowały ani tlenu ani związków organicznych.
- Żyły one w środowiskach silnie zasolonych, zakwaszonych lub alkalicznych oraz w temperaturach nawet powyżej 55°C.
  - Ten rodzaj bakterii żyje współcześnie w złożach węgla kamiennego, ropy naftowej, w rozlewiskach Parku Yellowstone, gejzerach Nowej Zelandii, w gorących wodach wulkanicznych na Sachalinie i na Sycylii.
- W wyniku procesów biochemicznych powstaje siarkowodór, złoża siarki i rudy żelaza.



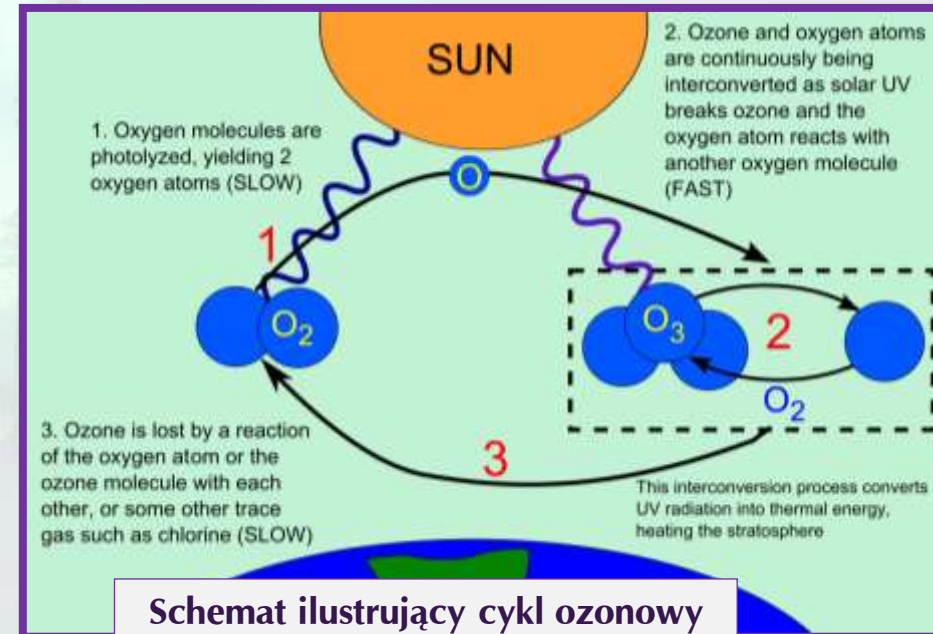
# Formowanie się atmosfery



- Jednak do rozwoju wyższych form życia konieczne było powstawanie nowych układów enzymatycznych, wykorzystujących tlen, a tlenu w atmosferze nie było.
- Stopniowo, **bakterie beztlenowe** wytworzyły mechanizmy wykorzystujące energię słoneczną – ukształtowały się **procesy fotosyntezy**.
  - W komórkach bakterii wytworzył się pigment podobny do chlorofilu, który zawiera kompleks enzymatyczny zdolny do wykorzystania energii słonecznej.
  - W wyniku fotosyntezy do atmosfery uwalnia się tlen.
- Bakterie te stopniowo, w ciągu milionów lat, opanowywały środowiska wodne i lądowe.
- W tym czasie pojawiły się inne fotosyntetyzujące organizmy jednokomórkowe – **sinice**, które oprócz fotosyntezy mają zdolność do fotolizy wody, w czasie której również wyzwala się tlen.
- Sinice wraz z bakteriami tworzyły kolonie na powierzchni wód; następowała impregnacja krzemionką ( $\text{SiO}_2$ ).
- Powstawały z nich najstarsze (około 2,5 mld lat) skały – zawierające **stromatolity**.
- W skałach tych znaleziono skamieniałe bakterie i sinice nie różniące się od współczesnych.

# Formowanie się atmosfery

- Z czasem powstały **glony**, organizmy wyżej zorganizowane od bakterii i sinic, które drogą fotosyntezy wytwarzają tlen ze znacznie większą intensywnością.
- Tlen powstaje również w wyższych warstwach atmosfery w wyniku **fotodysocjacji pary wodnej pod wpływem promieniowania ultrafioletowego**.
  - Uwolniony w tym procesie wodór jako najlżejszy uciekał w przestrzeń kosmiczną.
- Stopniowo pojawiały się inne **organizmy fotosyntetyzujące**: **fitoplankton** w morzach oraz **rośliny wyższe** na lądzie.
  - Organizmy te wytwarzały **około 40 % tlenu**.
- W ciągu mln lat z molekuł tlenu ( $O_2$ ) tworzyła się, pod wpływem promieniowania słonecznego, **warstwa ozonu ( $O_3$ )**.
  - Ozon pochłania ultrafioletowe promienie słoneczne i w ten sposób chroni organizmy przed ich zabójczymi skutkami.
  - Z tego wynika, że niektóre gatunki bakterii i sinic wytwarzające tlen były (i nadal są) odporne na działanie ultrafioletu.



Schemat ilustrujący cykl ozonowy

# Formowanie się atmosfery

- **Atmosfera ziemska** składa się z mieszaniny gazów zwanej **powietrzem**.
- Grawitacyjne oddziaływanie Ziemi powoduje, że najwięcej powietrza znajduje się w dolnej, przypowierzchniowej warstwie atmosfery.
- Żyjemy jakby na dnie wielkiego "**powietrznego oceanu**".
- Prawie połowa ogólnej masy powietrza znajduje się w przyziemnej warstwie o grubości 5 km, zaś prawie cała masa (99,99%) w warstwie sięgającej do 100 km wysokości.



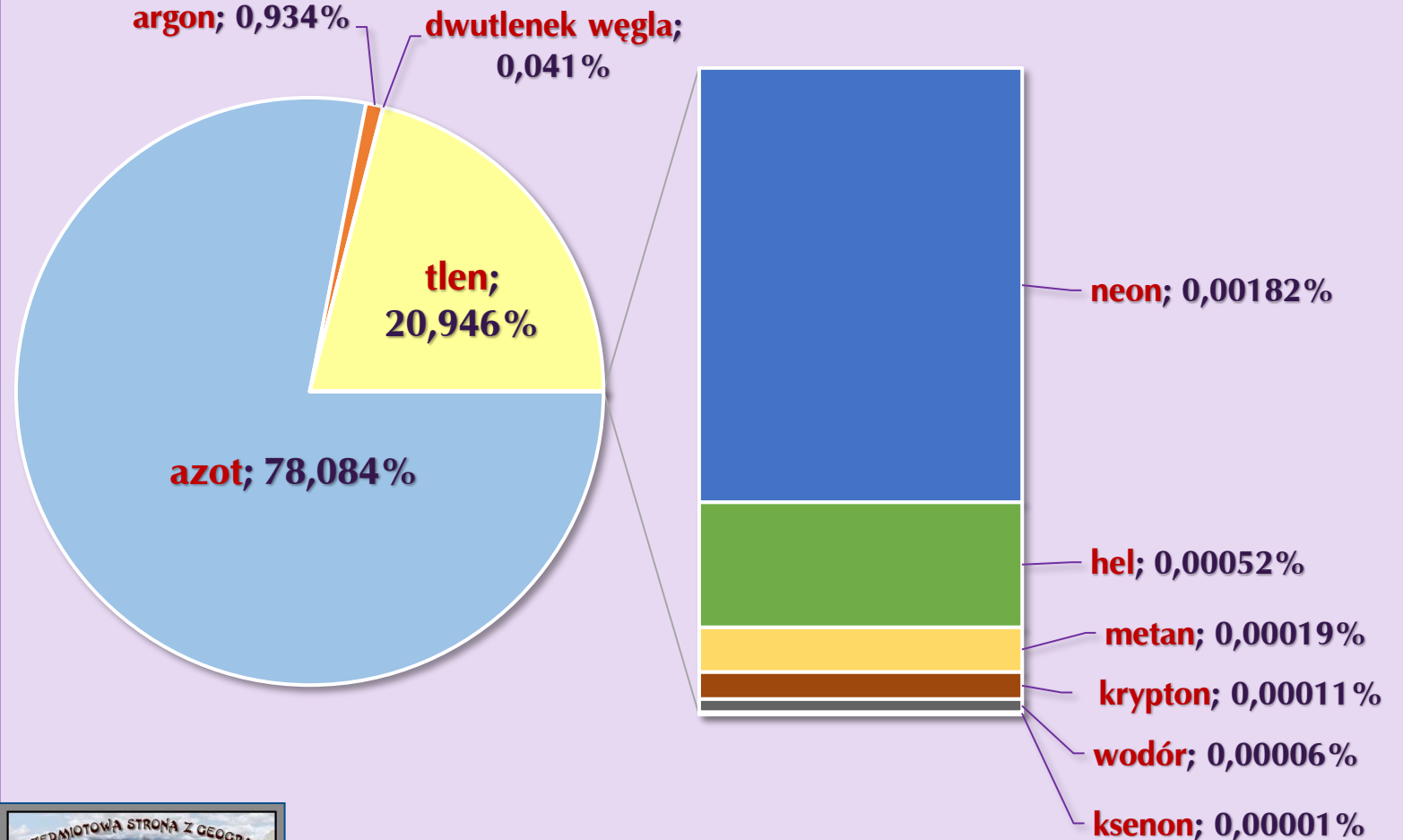


# Główne składniki suchego i czystego powietrza przy powierzchni Ziemi

## Skład atmosfery przy powierzchni Ziemi:

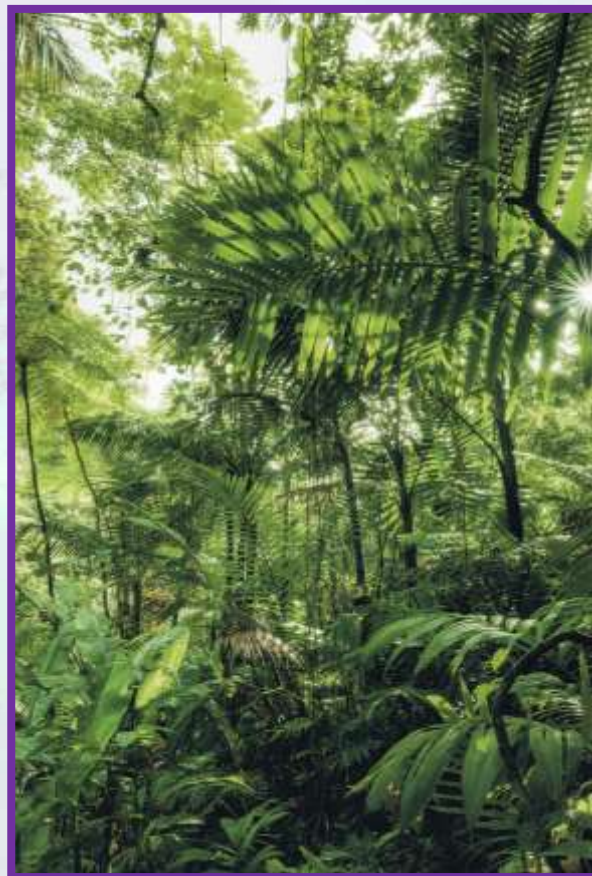
- **azot** (78,08% ogólnej objętości);
- **tlen** (20,95% ogólnej objętości);
- **argon** (0,93%);
- **dwutlenek węgla** (około 0,041%; udział wzrasta);
- **inne rzadkie gazy** (0,01%):
  - **neon,**
  - **wodór,**
  - **hel,**
  - **metan,**
  - **ozon,**
  - **kсенon,**
  - **krypton.**

## Główne składniki powietrza atmosferycznego przy powierzchni Ziemi



# Składniki powietrza: stałe i zmienne

- Do wysokości około **100 km** nad powierzchnią Ziemi zawartość poszczególnych składników w powietrzu, poza dwutlenkiem węgla i ozonem, **nie zmienia się**.
- Gazy, których zawartość nie zmienia się, nazywamy ***stałymi składnikami powietrza***,
  - m.in.: **azot, tlen, argon, neon, hel, krypton, wodór**.
- Stężenie niektórych gazów w powietrzu często ulega zmianie – te nazywamy ***zmiennymi składnikami powietrza***,
  - m.in.: **para wodna, ozon, CO<sub>2</sub>, dwutlenek i trójtlenek siarki, tlenki azotu**.



# Składniki powietrza

- **Skład chemiczny atmosfery** jest zróżnicowany w **zależności od wysokości**.
- **Przy powierzchni Ziemi** dominują **gazy cięższe (azot, tlen)**,
- natomiast na wysokościach **powyżej 1000 km** – **gazy lżejsze, głównie hel i wodór**.



# Składniki powietrza

- Wskutek różnych procesów zachodzących na Ziemi do atmosfery dostają się zanieczyszczenia naturalne oraz sztuczne, powstałe w wyniku działalności gospodarczej.
- Dlatego powietrze w przy powierzchniowej warstwie atmosfery zawiera:
  - domieszki ciekłe i stałe, zwane **aerozolami**, którymi są:
    - pyłki roślin, bakterie, drobne cząsteczki dymu, popioły wulkaniczne i przemysłowe, cząsteczki soli oraz pyły glebowe;
  - **parę wodną**, która występuje w atmosferze w zmiennych ilościach:
    - od 0,00001% objętości suchego powietrza w strefach okołobiegunowych do 4% w strefie równikowej,
    - zwykle zawartość pary wodnej w powietrzu waha się od 0,2 do 2,5%.



# Składniki powietrza



- Rola różnych składników atmosfery jest odmienna.
- Obecny w atmosferze **azot** obniża stężenie tlenu, co wpływa na spowolnienie procesów spalania i przemiany materii.
  - Bierze on udział w procesie wytwarzania białka w roślinach,
    - np. rośliny motylkowe mają zdolność pobierania azotu bezpośrednio z atmosfery (przy pomocy bakterii symbiotycznych).
- **Tlen** jest gazem niezbędnym dla przebiegu wielu procesów,
  - m.in.: oddychania, spalania oraz butwienia.
- **Zmienne składniki atmosfery** pełnią także bardzo ważną rolę w procesach zachodzących w atmosferze, np. w powstawaniu opadów atmosferycznych, powstawaniu efektu cieplarnianego.
- Większa zawartość określonych gazów (czy aerozoli) może wpływać m.in. na **kształtowanie i tempo procesów geomorfologicznych**, np.:
  - większa zawartość  $\text{CO}_2$ , zwiększa intensywność procesów krasowych,
  - większy udział tlenków siarki i azotu warunkuje rozwój wietrzenia i procesów glebotwórczych.

# Składniki powietrza: CO<sub>2</sub>

- Zawartość zmiennych składników atmosfery kształtowana jest przez procesy naturalne i antropogeniczne.
- **Źródłem CO<sub>2</sub>** w atmosferze są wybuchy wulkanów, spalanie paliw, takich jak węgiel, ropa naftowa, gaz, a także oddychanie i gnicie.
- Zawartość CO<sub>2</sub> w atmosferze waha się od 0,02 do 0,04%, a w wielkich aglomeracjach może dochodzić nawet do 0,08%.
- Od rewolucji przemysłowej, kiedy rozpoczęło się powszechne wykorzystywanie węgla, a następnie ropy naftowej, zawartość tego gazu w dolnej warstwie atmosfery systematycznie, acz bardzo powoli, rośnie.
  - Na szczęście CO<sub>2</sub> pobierany jest z powietrza przez rośliny zielone do procesu fotosyntezy oraz magazynowany przez wody oceanów.
- **Stać kontrola zawartości CO<sub>2</sub>** jest bardzo ważna, gdyż gaz ten zaliczany jest do grupy **gazów szklarniowych**.
  - Gazy te odpowiedzialne są za **efekt cieplarniany**, prowadzący do ocieplania klimatu Ziemi.
    - Efekt cieplarniany polega na pochłanianiu długofalowego, podczerwonego promieniowania Ziemi przez gazy i aerozole występujące w atmosferze (CO<sub>2</sub>, metan, ozon, a także parę wodną i chmury).





**Budowa atmosfery**

# Budowa atmosfery

→ Atmosfera ziemska ma **budowę warstwową**.

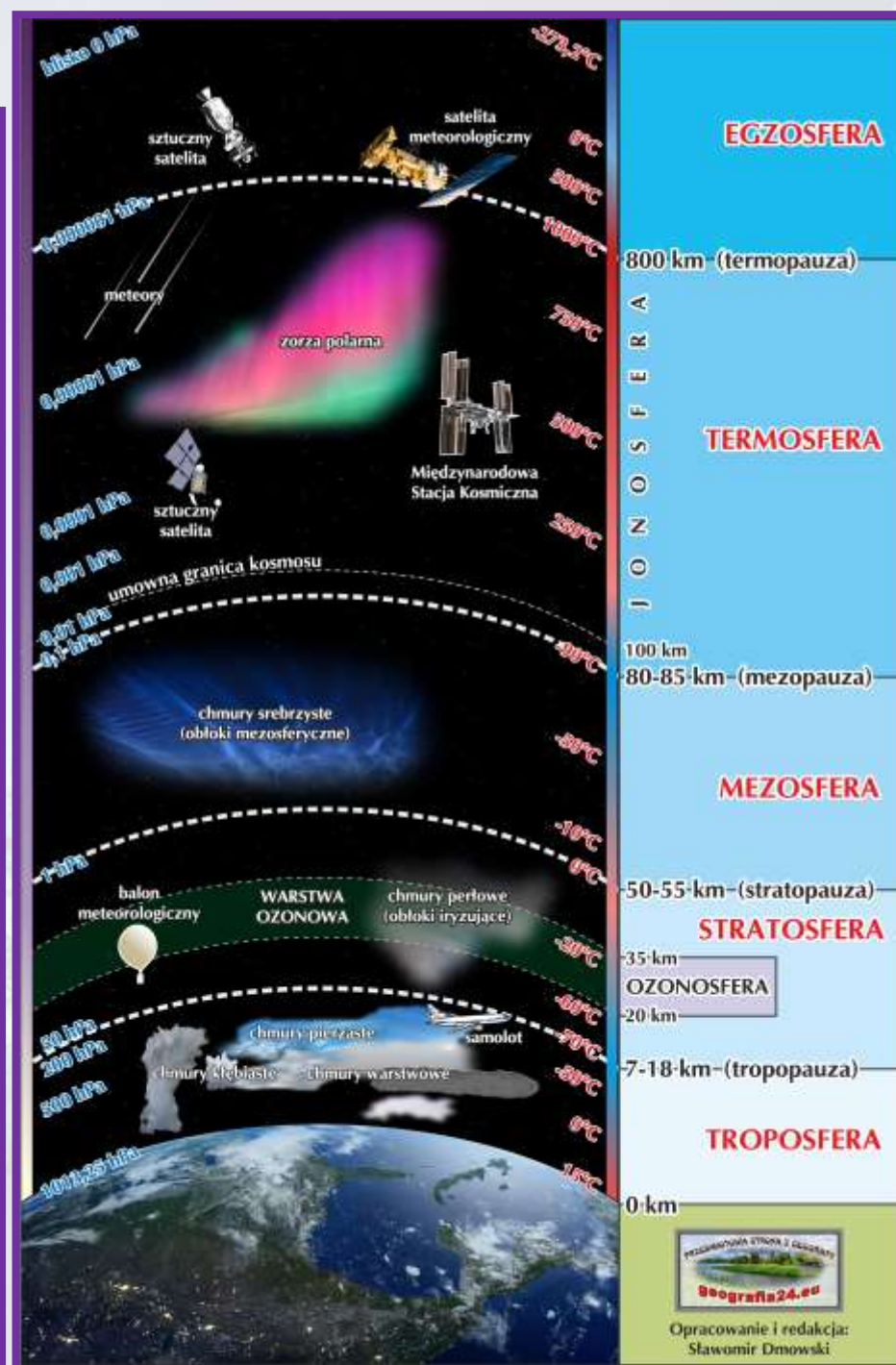
- Podstawą jej podziału na warstwy zwane sferami, są panujące w niej warunki termiczne.
- Każda z warstw cechuje się specyficznym dla siebie przebiegiem temperatury.
- Ponadto poszczególne sfery różnią się między sobą składem chemicznym, panującym tam ciśnieniem oraz zachodzącymi zjawiskami fizycznymi.

→ Atmosferę ziemską podzielono na:

- troposferę,
- stratosferę,
- mezosferę,
- termosferę,
- egzosferę.

→ Poszczególne warstwy atmosfery rozdzielają strefy przejściowe:

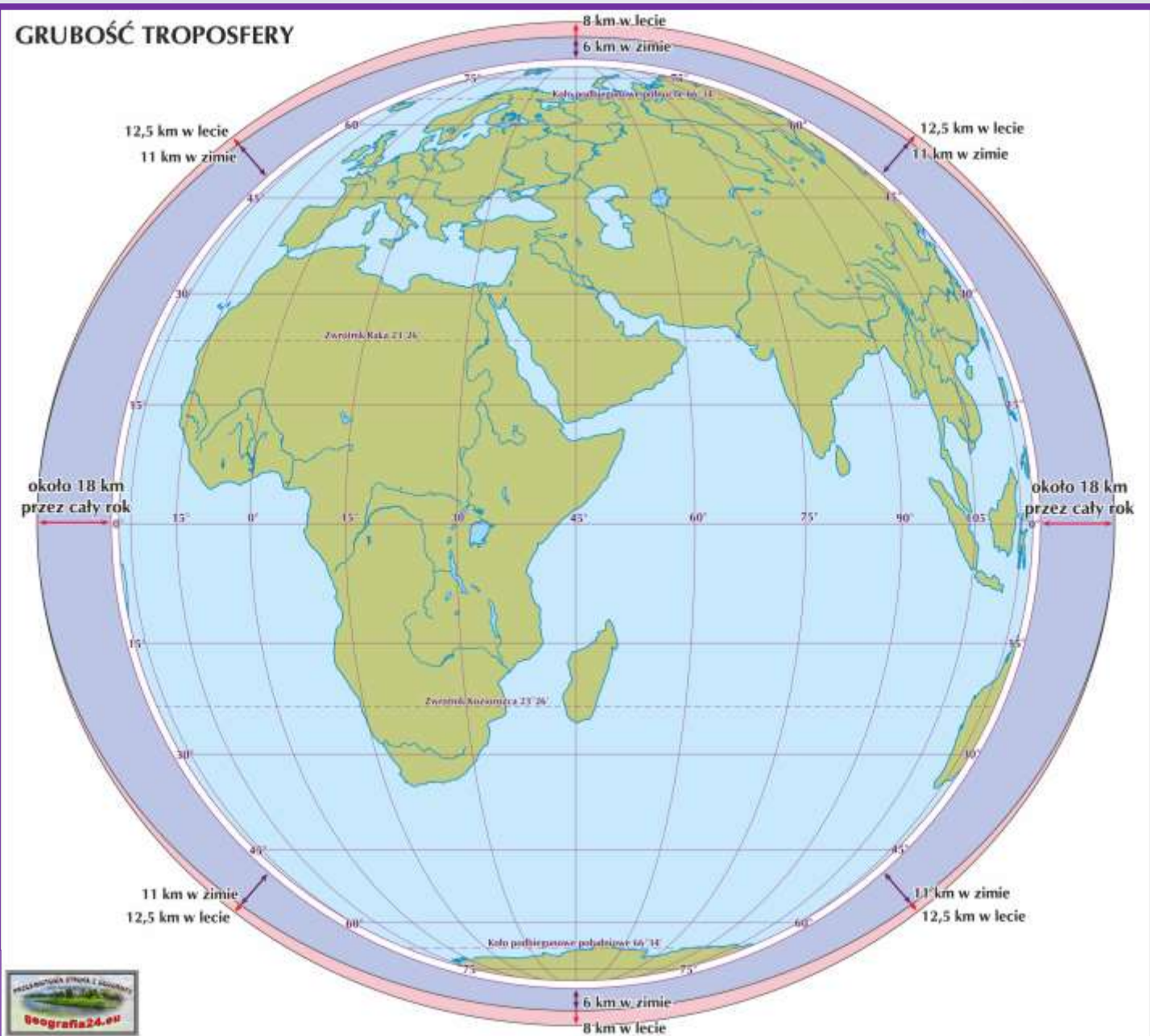
- tropopauza, stratopauza i mezopauza.





# 1. Troposfera

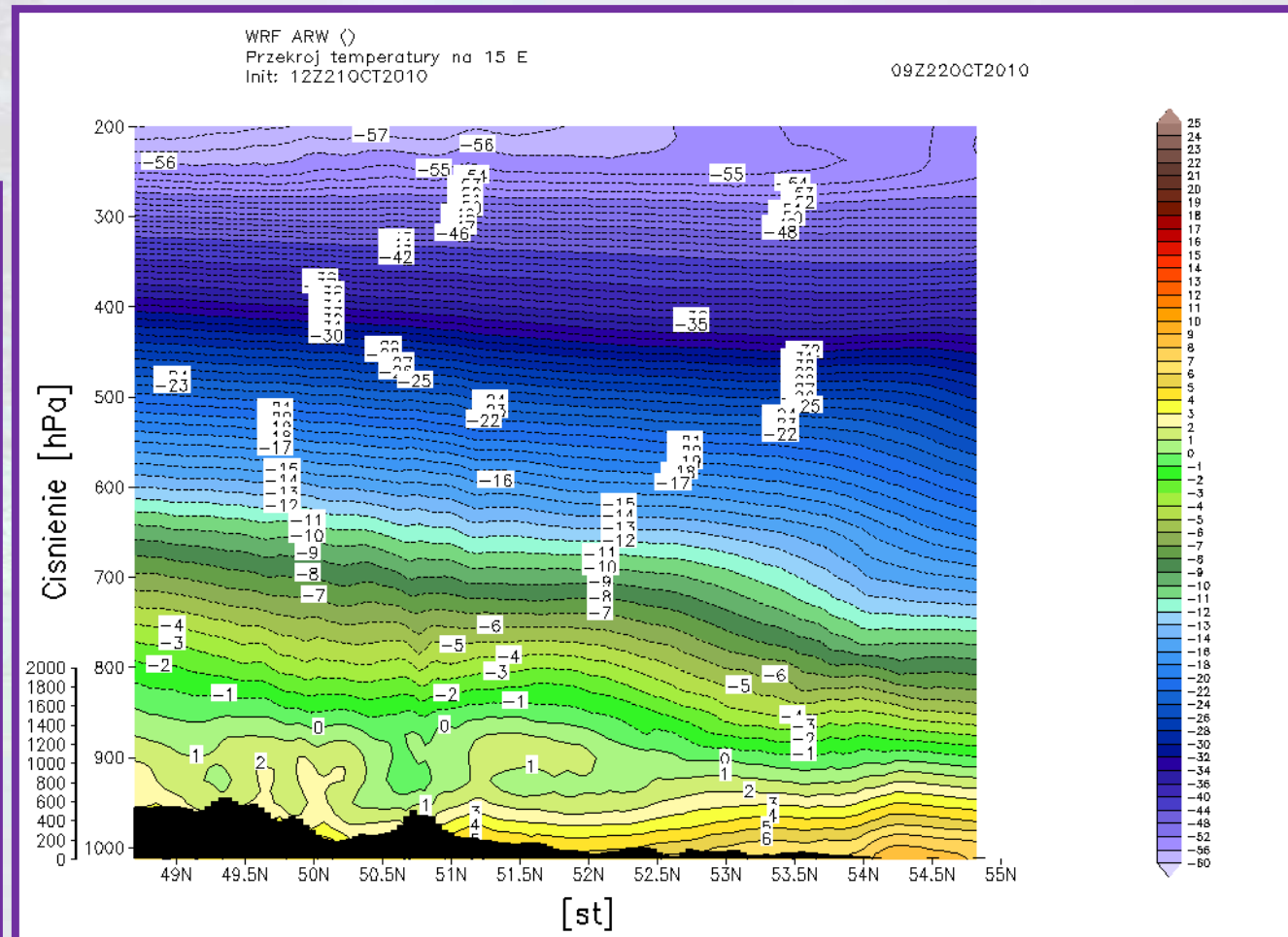
- **Troposfera** – jest najniższą i najcieńszą warstwą atmosfery.
- Górna jej granica zmienia się w zależności od szerokości geograficznej i pory roku.
  - Nad biegunami sięga ona do około 6 km w zimie i do 8 km w lecie.
  - W umiarkowanych szerokościach geograficznych od 11 km w zimie do 12,5 km w lecie.
  - Nad równikiem zasięg troposfery wynosi około 18 km w ciągu całego roku.
- Zróżnicowana grubość troposfery wynika z niejednakowego nagrzewania się obszarów leżących na różnych szerokościach geograficznych oraz różnej wartości siły odśrodkowej, działającej na cząsteczki powietrza.



Zróżnicowanie zasięgu troposfery w zależności od szerokości geograficznej i pory roku

# Troposfera

- Charakterystyczną cechą troposfery jest **ciągły spadek temperatury wraz ze wzrostem wysokości**, przeciętnie **0,65° na 100 m** (średnia temperatura Ziemi to około 15°C).
  - na granicy z tropopauzą temperatura nad zworotnikami waha się od -70 do -80°C,
  - natomiast nad biegunami od -70°C zimą do -45°C latem.
- **Ciśnienie atmosferyczne maleje** wraz ze wzrostem wysokości (przeciętnie **11,5 hPa/100 m**):
  - od średnio 1013,25 hPa na poziomie morza,
  - do około 200 hPa na granicy z tropopauzą.



# Troposfera

→ W troposferze zachodzą:

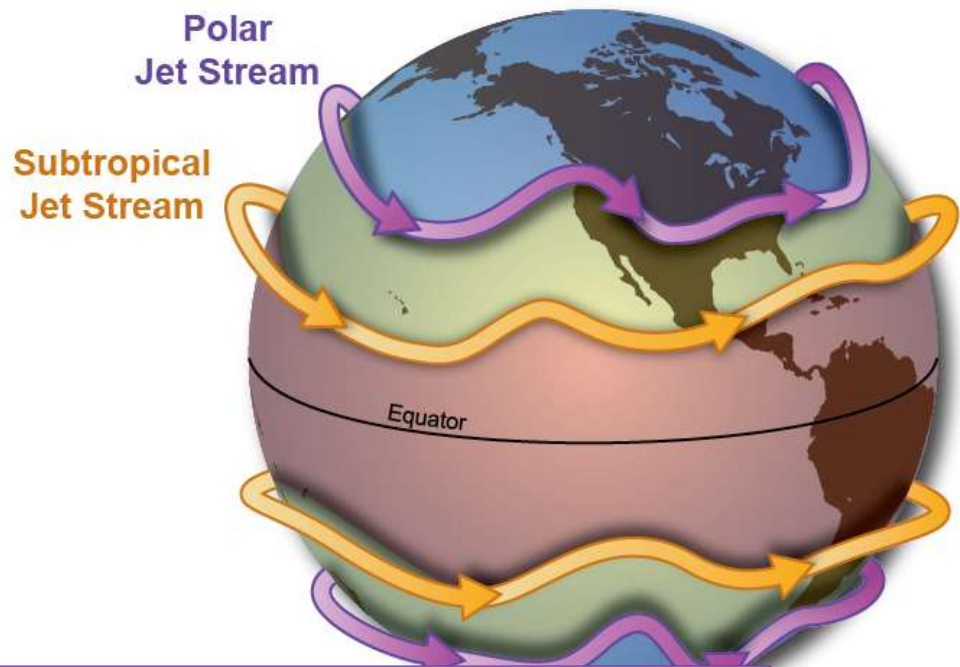
- częste **turbulencje powietrza** – burzliwy ruch powietrza w warstwie przygruntowej wywołany tarciem wiatru o podłoże,
- **najważniejsze procesy kształtujące pogodę i klimat** na Ziemi.

→ W górnej troposferze – między 35° a 65° szerokości geograficznej na obu półkulach formują się **prądy strumieniowe**.

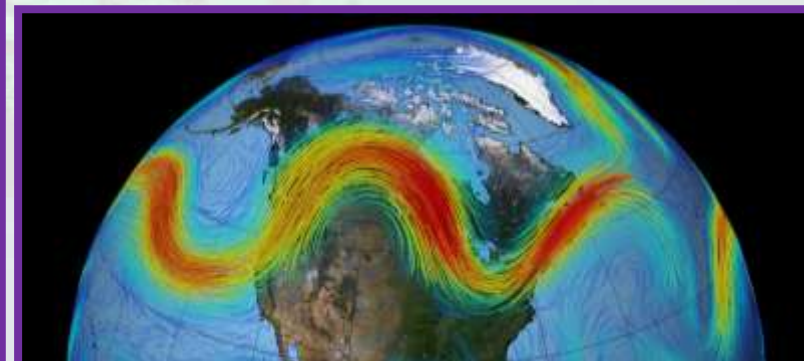
- Są to silne prądy powietrza na granicy troposfery i stratosfery, przekraczające 300 km/h (wykorzystują je samoloty odrzutowe).

→ Strefa ta **gromadzi 80% ogólnej masy powietrza** oraz **prawie całą parę wodną i zanieczyszczenia**.

→ W troposferze **prowadzi się badania meteorologiczne i klimatologiczne**.



Prądy strumieniowe (Jet Stream) nad Ziemią



# Tropopauza

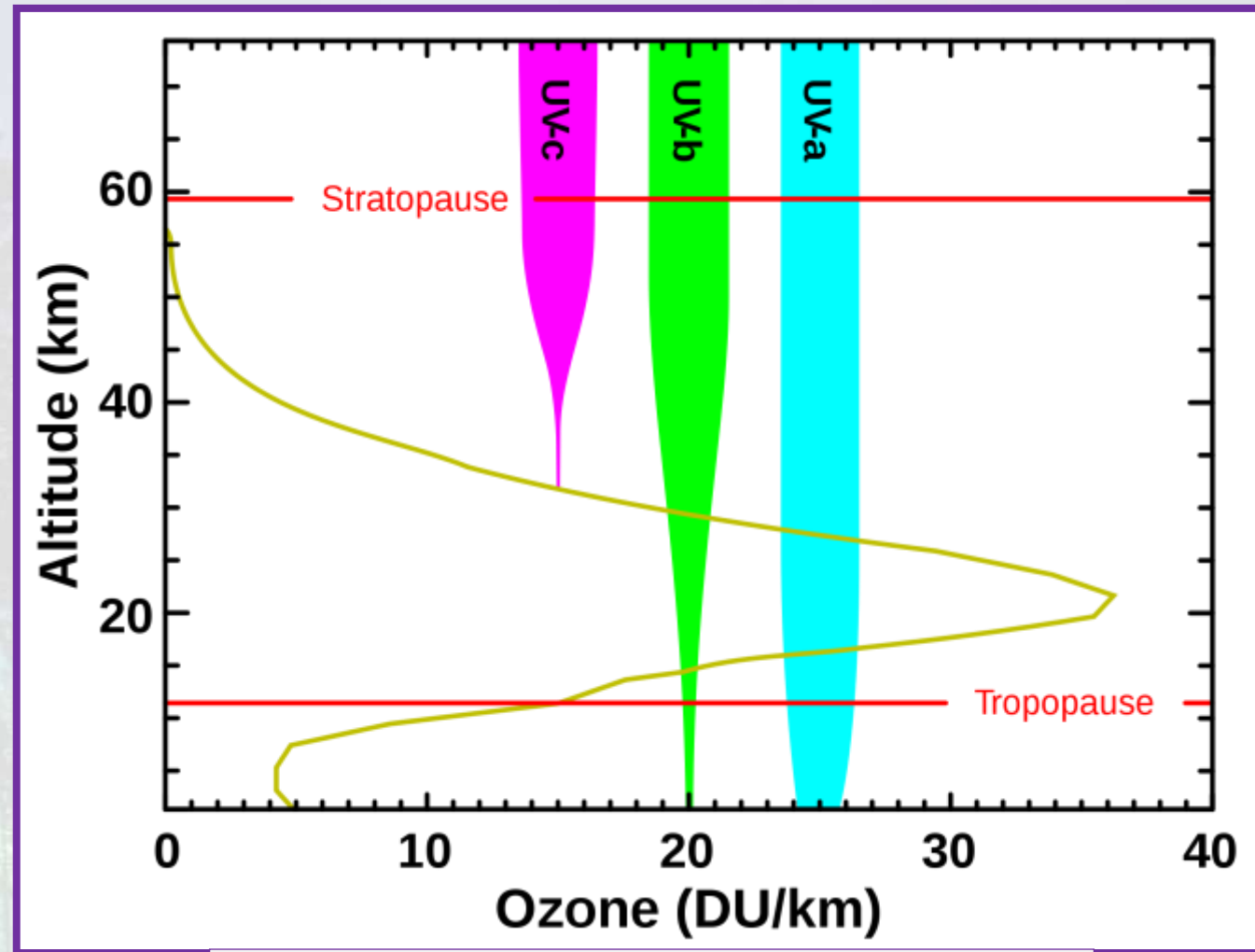
- Jest strefą przejściową **między troposferą a stratosferą** o grubości od 0,5 km do 2 km.
  - Tropopauza leży na wysokości około 18 km nad równikiem i około 7 km nad biegunami.
  - W ciągu roku wysokość strefy nieznacznie się zmienia.
- Warstwa ta cechuje się **jednakową temperaturą w przekroju pionowym**.
  - W strefie międzyzwrotnikowej wynosi ona  $-80^{\circ}\text{C}$ ,
  - nad biegunami zaś waha się od  $-45^{\circ}\text{C}$  do  $-70^{\circ}\text{C}$ .
  - Różnice temperatury uzależnione są od pory roku.
  - Ciśnienie atmosferyczne waha się od 100 do 200 hPa,
    - w zależności od szerokości geograficznej i pory roku.



Kolor czerwono-pomarańczowy – troposfera (zamyka ją tropopauza),  
biała – stratosfera, zaś blado niebieska - mezosfera

## 2. Stratosfera

- **Stratosfera** – rozciąga się między **tropopauzą** a **stratopauzą** i sięga do około 50-55 km od powierzchni Ziemi.
- W dolnej części tej warstwy do wysokości około 25 km utrzymuje się stała temperatura  $-60^{\circ}\text{C}$ .
- W wyższych warstwach tej sfery zachodzi wzrost temperatury wraz z wysokością i 50 km nad Ziemią wynosi ona około  $0^{\circ}\text{C}$ .
- **Ciśnienie atmosferyczne maleje** ze wzrostem wysokości od kilkudziesięciu hPa do około 1 hPa.
- **Szybki wzrost temperatury** jest wynikiem pochłaniania promieniowania słonecznego (głównie nadfioletowego i rentgenowskiego) przez ozon.
- W stratosferze występuje prawie cały **ozon atmosferyczny** a jego największa koncentracja znajduje się na wysokościach od 20 do 35 km nad Ziemią.
- Warstwa zwana **ozonosferą**, pochłania prawie całe promieniowanie nadfioletowe Słońca, chroniąc nas przed jego szkodliwym działaniem.



Poziomy ozonu na różnych wysokościach ( DU / km ) i związane z tym blokowanie kilku rodzajów promieniowania ultrafioletowego .

## 2. Stratosfera

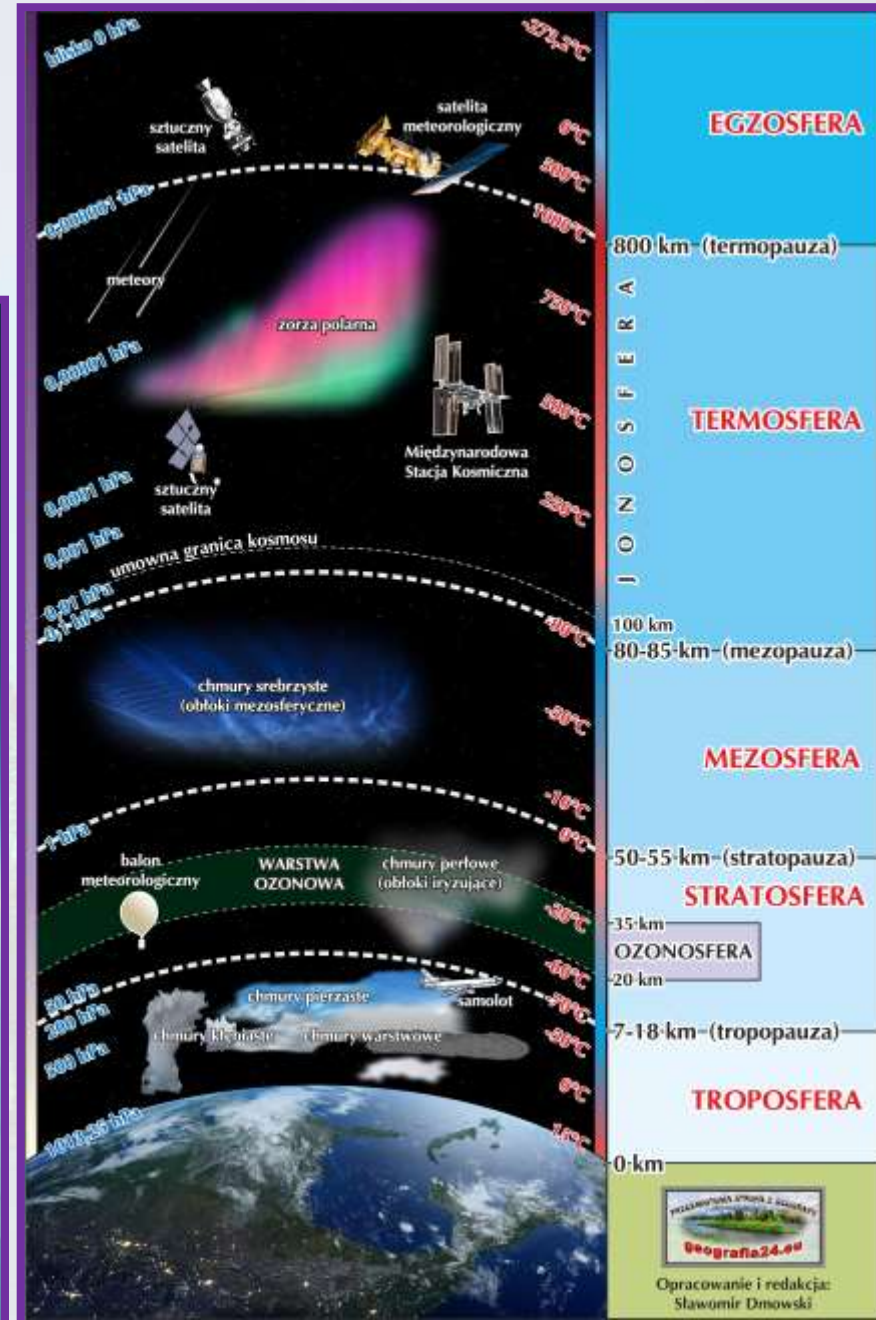
- W zimie w stratosferze powstają **chmury perłowe (obłoki iryzujące)** – zbudowane z bardzo drobnych kryształków lodu – oświetla je światło słoneczne dobrze po zachodzie lub długo przed wschodem Słońca, gdy niżej leżące chmury ogarnia jeszcze ciemność.
  - Kolor obłoków jest taki jak barwa nieba podczas zachodu Słońca, którego natężenie zmienia się od pasma do pasma.
  - Barwy obłoków powstają w wyniku **dyfrakcji światła słonecznego** na cząsteczkach lodu.
  - Najczystsze występują wtedy, gdy wszystkie cząsteczki mają tę samą wielkość.
  - Kolorowe obłoki perłowe powstają w wyniku ruchów powietrza prowadzących do nagłego zamarzania pary wodnej.



Chmury perłowe

# Stratopauza

- Stratopauza jest cienką strefą przejściową między **stratosferą a mezosferą**:
  - o **stałej temperaturze** około  $0^{\circ}\text{C}$ ,
  - **bardzo niskim ciśnieniu atmosferycznym** około 1 hPa.
- Zawiera ona między innymi ozon.



### 3. Mezosfera

- **Mezosfera** – rozciąga się między **stratopauzą a mezopauzą** i sięga do wysokości 80-85 km od powierzchni Ziemi.
  - Jej przeciętna miąższość to 35 km.
  - W warstwie tej występuje **gwałtowny spadek temperatury** wraz z wysokością od około 0°C do -90°C (czasem nawet do -120°C).
  - Ciśnienie atmosferyczne wynosi tu około 1 hPa.
  - W strefie tej występuje **silna turbulencja powietrza**.
  - W jej górnej części tworzą się **chmury srebrzyste (obłoki mezosferyczne)**.
    - Obłoki te mają srebrzystobiały lub lekko żółtawy kolor i są najlepiej widoczne o północy, gdy wznoszą się nad zorzą wieczorną, rozciągając się ku biegunowi.
    - Przypominają leżące niżej cirrusy, ale podobnie jak obłoki perłowe powstają jako efekt ruchów w najwyższych warstwach atmosfery.

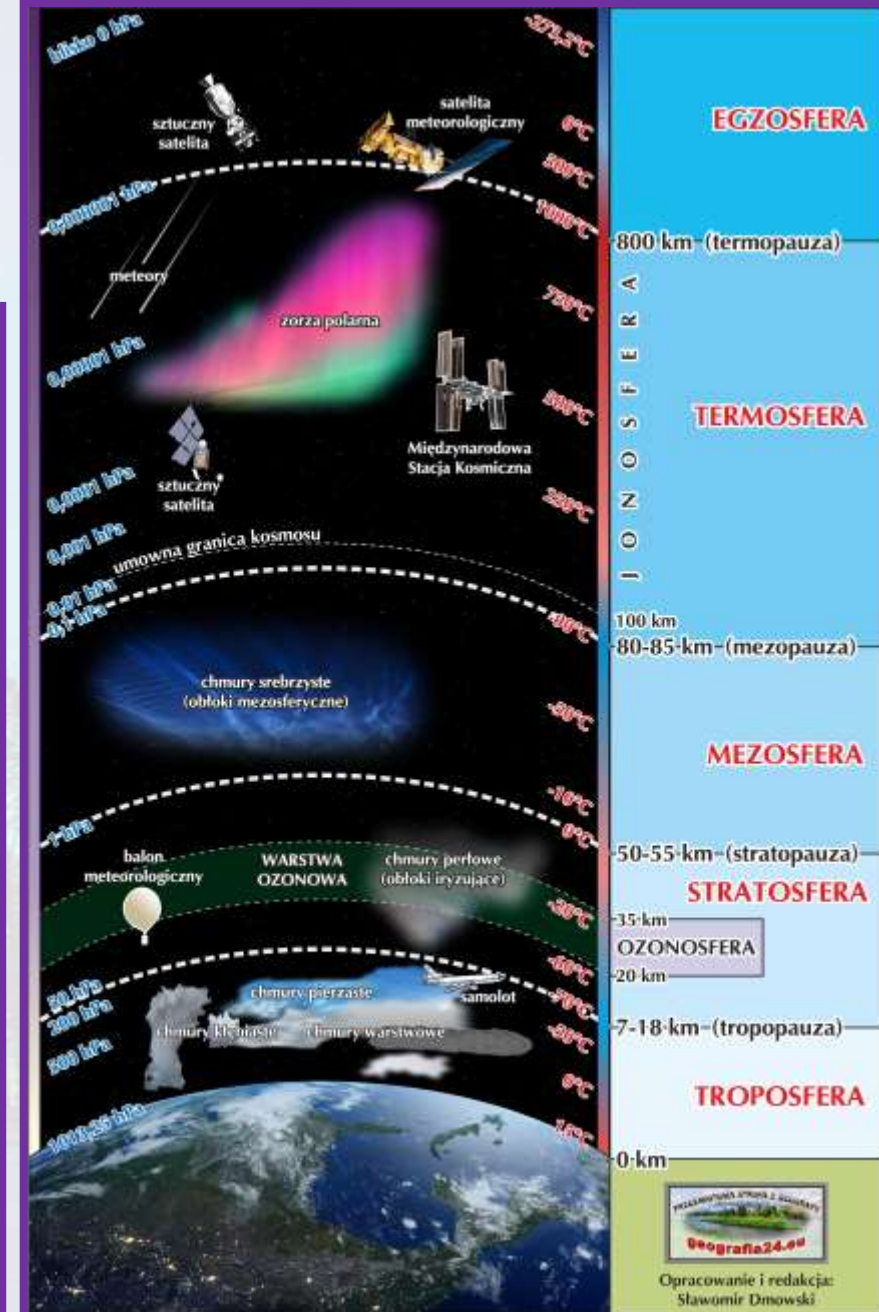


Chmury srebrzyste (obłoki mezosferyczne)



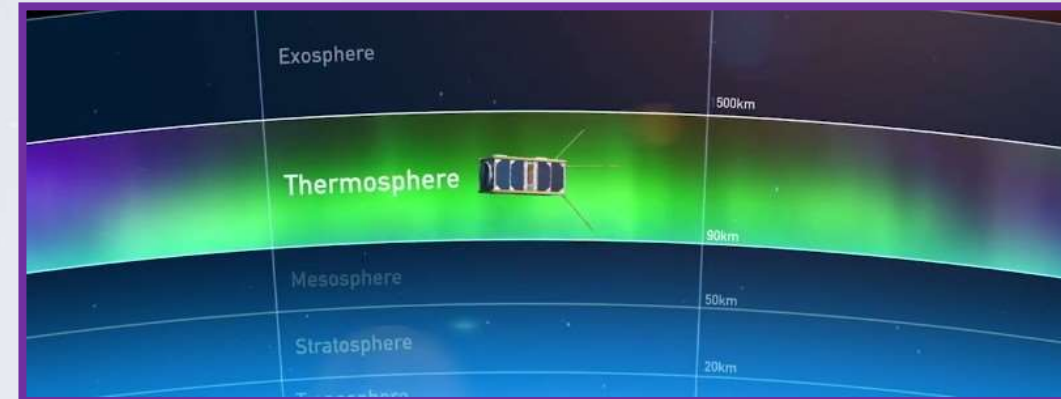
# Mezopauza

- Jest strefą przejściową między **mezosferą a termosferą**:
  - o stałej temperaturze około  $-90^{\circ}\text{C}$ ,
  - bardzo niskim ciśnieniu atmosferycznym około  $0,1\text{ hPa}$ .
- Rozciąga się na wysokości około  $85\text{ km}$  nad powierzchnią Ziemi.



## 4. Termosfera

- **Termosfera** – sięga do wysokości około 800 km od powierzchni Ziemi.
- W warstwie tej **temperatura rośnie** wraz z wysokością,
  - w jej górnej części osiąga  $1200^{\circ}\text{C}$  (czasem nawet  $1500^{\circ}\text{C}$ ).
- **Ciśnienie atmosferyczne maleje**:
  - osiąga tu bardzo niskie wartości:
    - na wysokości 200 km  $0,0001\text{ hPa}$ ,
    - na wysokości 500 km  $0,000001\text{ hPa}$ .
- W termosferze zlokalizowane zostały liczne sztuczne satelity, poruszające się wraz z obracającą się Ziemią.
- W **dolnej części** termosfery znajduje się **jonosfera**.
  - Powietrze jest w niej bardzo rozrzedzone i silnie naelektryzowane.
  - W jonosferze występują warstwy od których **odbijają się fale radiowe** o różnej długości.
    - Dzięki temu istnieje możliwość odbierania sygnałów radiowych nawet w odległości kilku tysięcy kilometrów od miejsca, skąd zostały nadane.
  - W warstwie tej powstają **zorze polarne**.



## Termosfera: **jonosfera**

- **Zorza polarne** – zjawisko świetlne obserwowane na wysokich szerokościach geograficznych,
  - występuje głównie za kołem podbiegunowym, chociaż w sprzyjających warunkach bywa widoczna nawet w okolicach 50. równoleżnika (zdarza się, że obserwowane są one nawet w krajach śródziemnomorskich).



**Zorza polarna** – nazywana jest na półkuli północnej jako **Aurora Borealis**, zaś na południowej zwana jest **Aurora Australis**

# Termosfera: **jonosfera**

- Powstawanie zorzy polarnej związane jest ze zjawiskami elektrycznymi zachodzącymi w **jonosferze**.
- Słońce emituje wysokoenergetyczne, pędzące z dużą prędkością elektrony i protony wchodzące w skład wiatru słonecznego, które zostają odchylone przez ziemskie pole magnetyczne i poruszają się po liniach śrubowych niemalże wzdłuż linii pola magnetycznego.
- Atmosfera na dużych wysokościach jest zjonizowana.
- Oddziaływanie plazmy jonosfery i plazmy wiatru słonecznego w ziemskim polu magnetycznym indukuje napięcia, które wywołują przepływ prądu w rozrzedzonych obszarach atmosfery.
- Wiatr słoneczny deformuje pole magnetyczne Ziemi, w okresach dużej aktywności Słońca szybkie zmiany pola magnetycznego mogą wywołać zorze nawet na średnich szerokościach geograficznych.

**Zorza polarna** – składa się ze smug o jasnoblękitnych, zielonych, fioletowych lub czerwonych barwach. Kolor jest uzależniony od warstwy w atmosferze, w której ona powstaje.



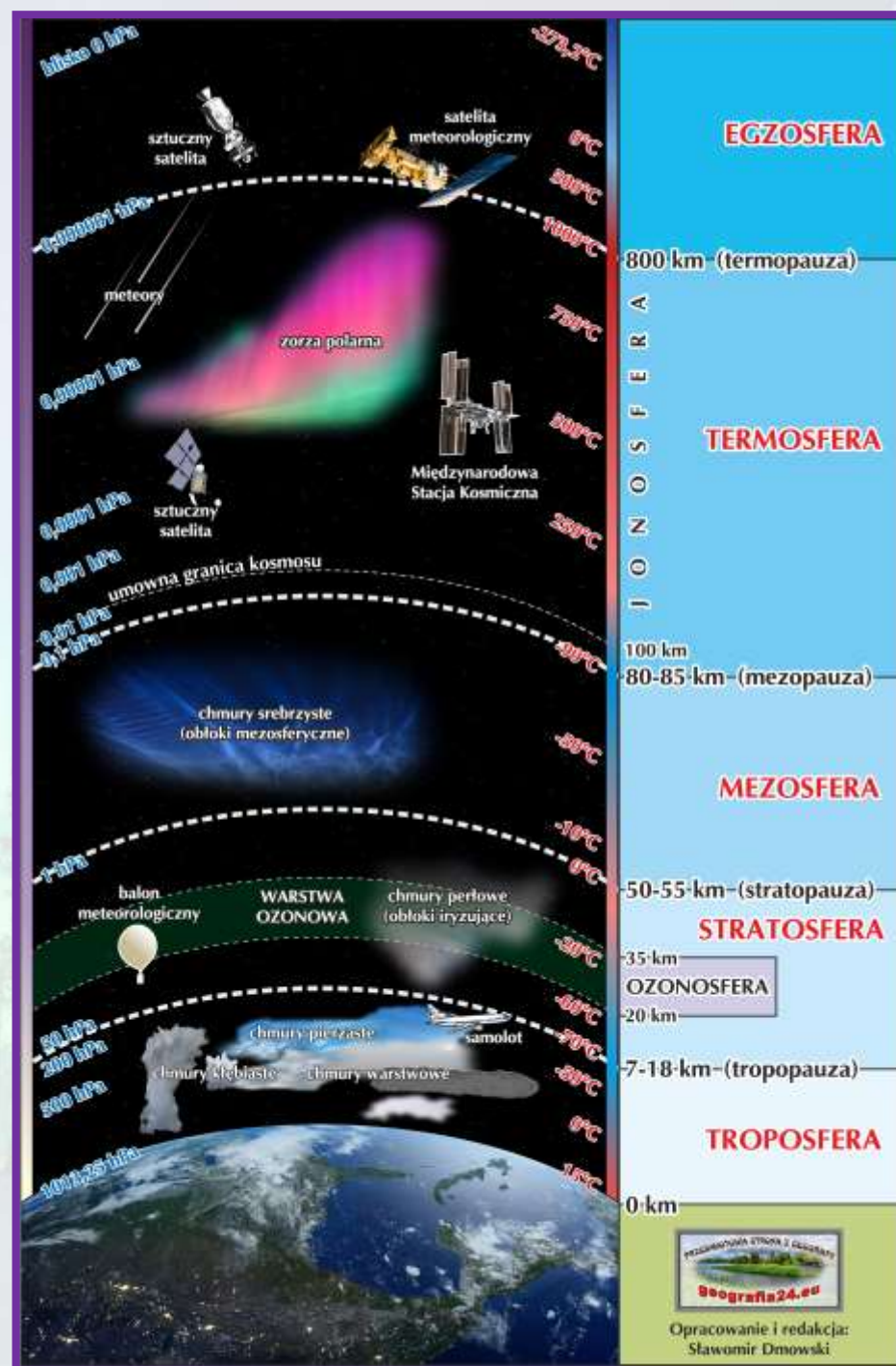
## 5. Egzosfera

- Stanowi zewnętrzną warstwę atmosfery ziemskiej powyżej 800 km od powierzchni Ziemi.
- Powietrze jest tu bardzo silnie rozrzedzone.
  - Cząsteczki gazów poruszają się z dużą prędkością, dochodzącą do 11,2 km/s.
  - Czasem nawet opuszczają atmosferę i ulatują w przestrzeń kosmiczną – są to głównie wodór i hel.
- **Temperatura** w egzosferze **gwałtownie spada**, osiągając w strefie przejściowej do przestrzeni kosmicznej  $-273,2^{\circ}\text{C}$ .
- Ciśnienie jest mniejsze niż 0,000001 hPa.



# Budowa atmosfery – podsumowanie

- **Atmosfera ziemska** nie ma wyraźnej granicy zewnętrznej.
- Na pewnej wysokości brak już jest praktycznie cząstek gazów i płynnie przechodzi w **przestrzeń kosmiczną**,
- Zachodzi to na wysokości pomiędzy 1000 a 2000 km nad ziemią.



# KONIEC



**Materiały pomocnicze do nauki**  
**Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)**

Opracowanie i redakcja: *Sławomir Dmowski*  
Kontakt: *kontakt@geografia24.eu*

**WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE**  
**- KOPIOWANIE ZABRONIONE -**