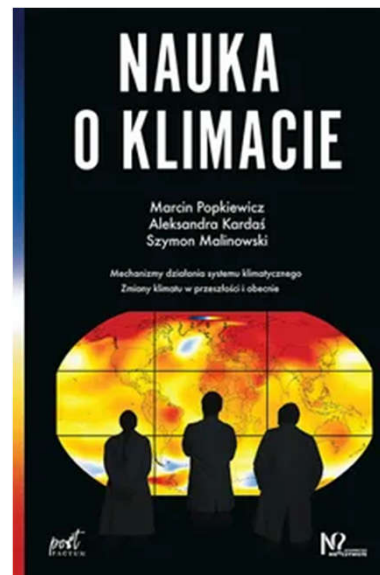
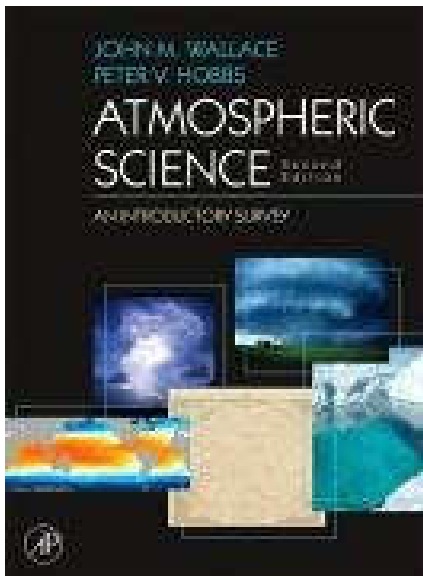


Fizyka i Chemia Atmosfery

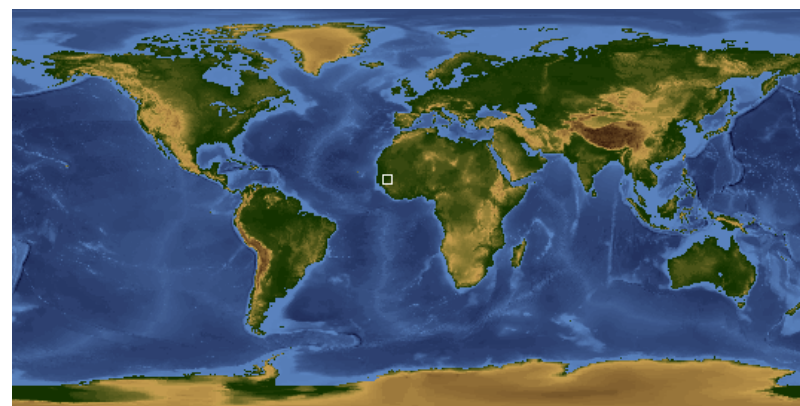
Wykład 6: Struktura atmosfery Część II Globalna cyrkulacja Grzegorz Karwasz



Kompetencje społeczne:

- Dlaczego na Everest wchodzi się w maskach tlenowych?
- Dlaczego pustynie nie są na równiku, gdzie jest najcieplej?
- Czy atmosfera kręci się z Ziemią, czy stoi?
- Dlaczego w Sopocie wieje zawsze z zachodu?
- A w ogóle, to dlaczego ta atmosfera jest tak skomplikowana?

Tropopauza

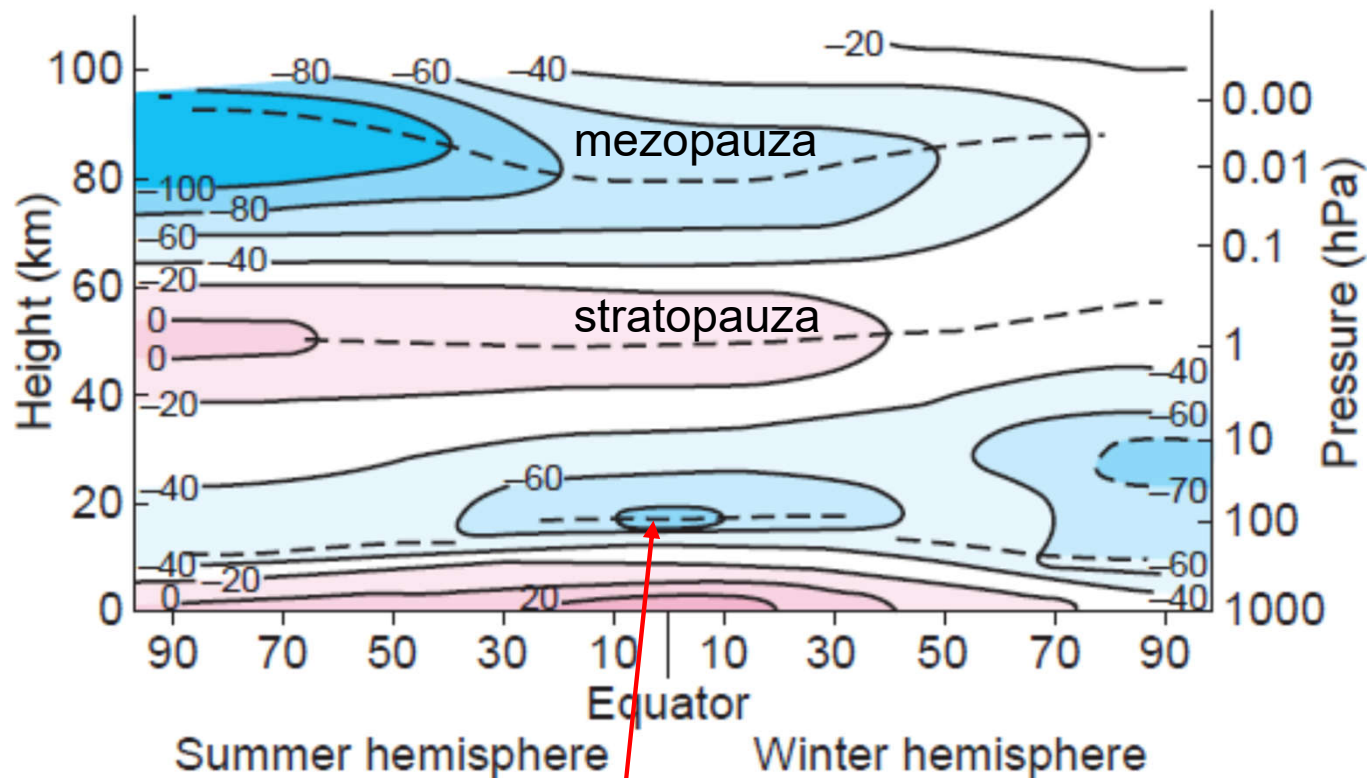


Tropopauza – załamują się prądy wstępujące powietrza ogrzanego przy powierzchni Ziemi: 10 km nad biegunami, 20 km nad równikiem
Zdjęcie samolotowe z rejonów Ghany

<https://eol.jsc.nasa.gov/SearchPhotos/photo.pl?mission=ISS016&roll=E&frame=27426>

Wysokość troposfery zależy od szerokości geograficznej

12 Introduction and Overview



W rejonie mezopauzy temperatura latem wynosi -100°C , zimą -20°C

Odwrotnie w rejonie stratosfery latem 0°C , zimą -30°C : **chemia atmosfery**

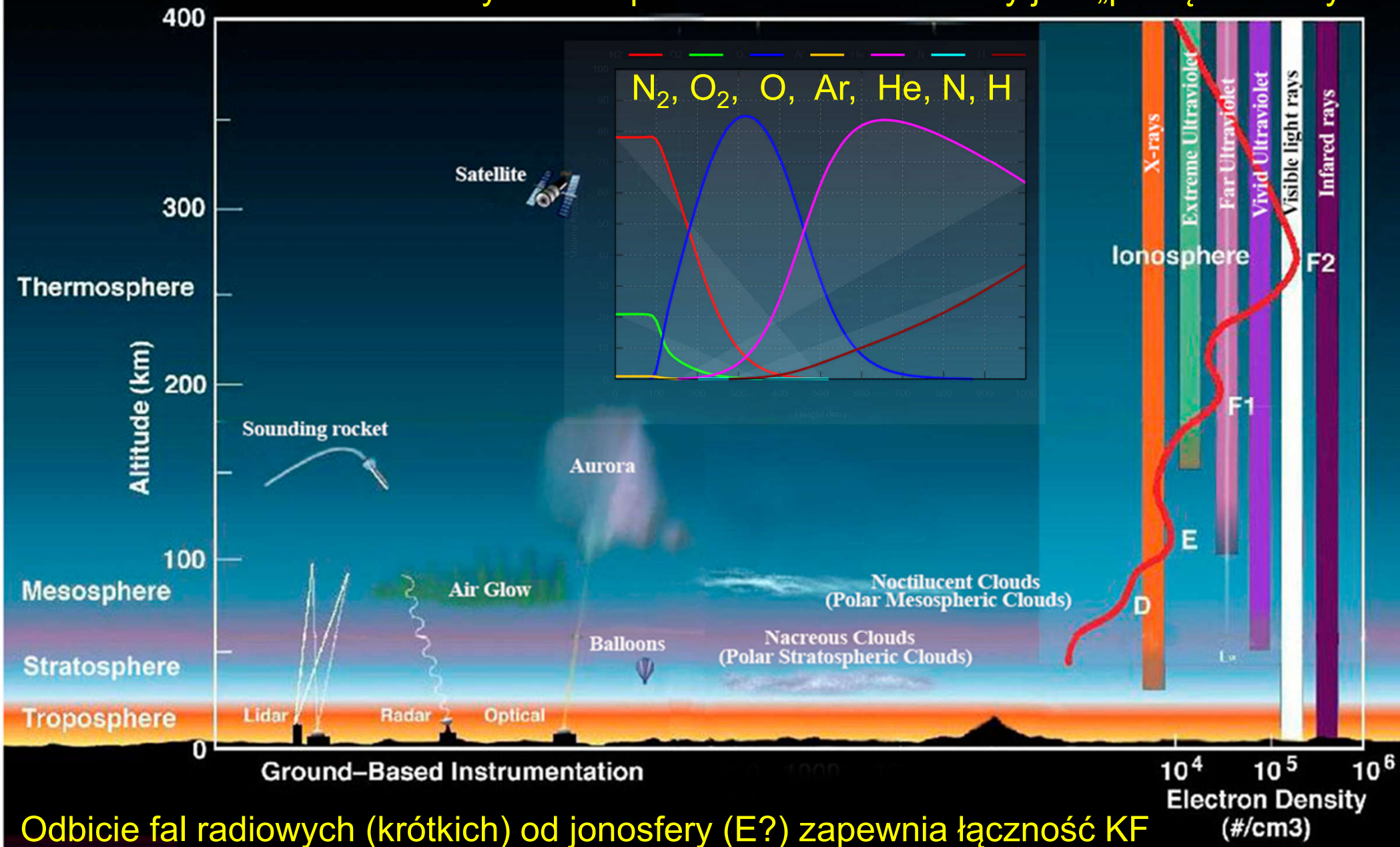
Wysokość stratopauzy nie wykazuje podobnej zależności, ale temperatura zmienia się między latem a zimą (od 0°C do -30°C)

Na równiku troposfera rozciąga się na 15 km

→
Półka na tworzący się ozon

Exosphere

Tylko w troposferze skład atmosfery jest „podręcznikowy”



Odbicie fal radiowych (krótkich) od jonosfery (E?) zapewnia łączność KF

<https://www.nccs.nasa.gov/news-events/nccs-highlights/global-ozone-profile>

Cyrkulacja globalna



Fig. 1.10 A distinctive “anvil cloud” formed by the spreading of cloud particles carried aloft in an intense updraft when they encounter the tropopause. [Photograph courtesy of Rose Toomer and Bureau of Meteorology, Australia.]

Chmury w kształcie kowadła pokazują, gdzie kończą się prądy wznoszące

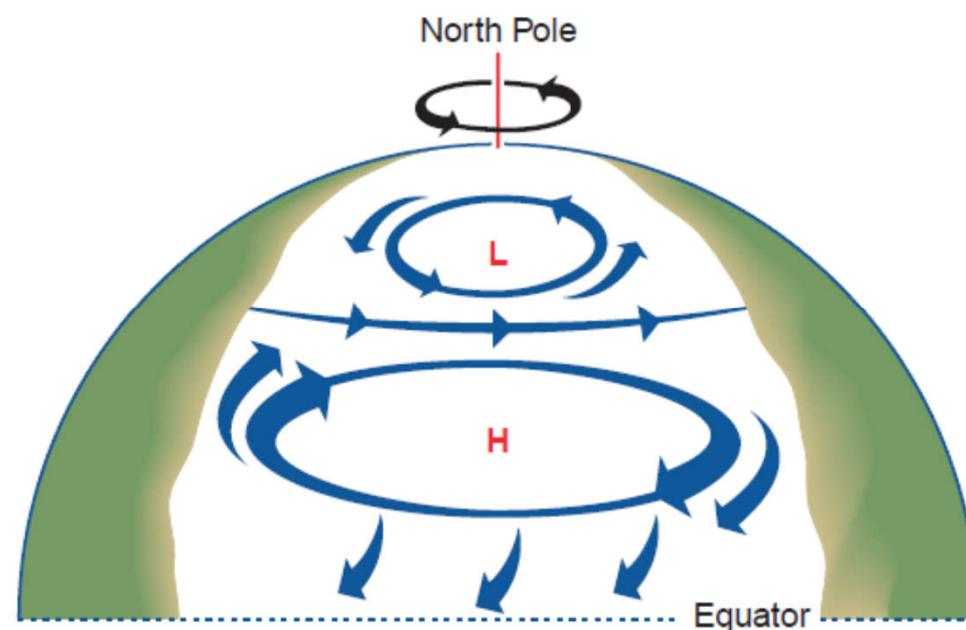


Fig. 1.16 Schematic of the surface winds and sea-level pressure maxima and minima over the Atlantic and Pacific Oceans showing subtropical anticyclones, subpolar lows, the midlatitude westerly belt, and trade winds.

Siła Coriolisa odchyła wiatry, jak powyżej

¹³ From *mausin*, the Arabic word for season.

Kula, i to kręcąca się

Atmospheric Science, str. 14 -15

14 Introduction and Overview

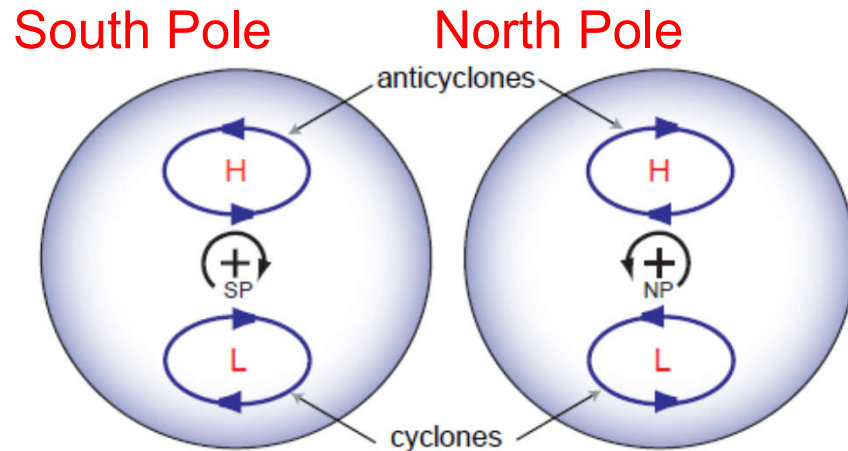
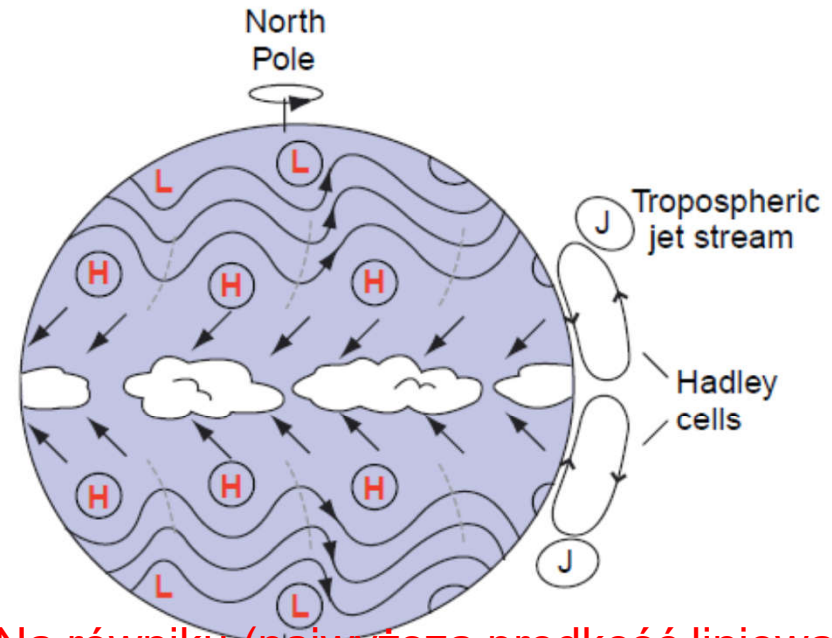


Fig. 1.14 Blue arrows indicate the sense of the circulation around highs (H) and lows (L) in the pressure field, looking down on the South Pole (left) and the North Pole (right). Small arrows encircling the poles indicate the sense of the Earth's rotation.

Cyklony (ośrodki niskiego ciśnienia) kręcą się zgodnie z kierunkiem obrotu kuli ziemskiej (widzianej z bieguna)

“counterclockwise” with the terms *cyclonic* and *anticyclonic* (i.e., in the same or in the opposite sense as the Earth's rotation, looking down on the pole). A *cyclonic circulation* denotes a counterclockwise

Wynika to z siły Coriolisa, zob. schemat na następnych stronach

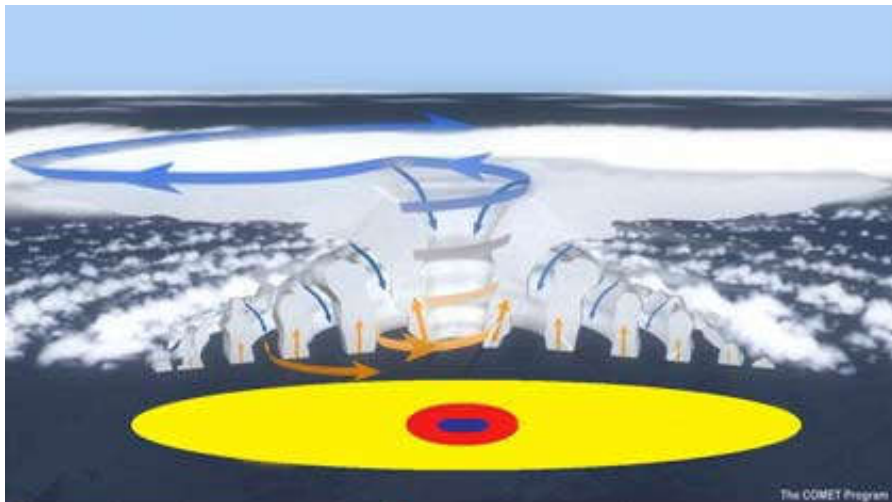


Na równiku (najwyższa prędkość liniowa) troposfera *spóźnia się*: wiatry ze wschodu

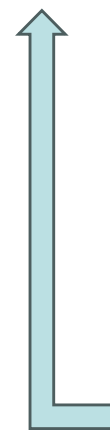
Fig. 1.15 Schematic depiction of sea-level pressure isobars and surface winds on an idealized *aqua planet*, with the sun directly overhead on the equator. The rows of H's denote the subtropical high-pressure belts, and the rows of L's denote the subpolar low-pressure belt. Hadley cells and tropospheric jet streams (J) are also indicated.

Dodatkowe komplikacje wynikają z konwekcji (pionowej) pary wodnej (komórki Hadleya)

Jak powstaje tropikalny cyklon?

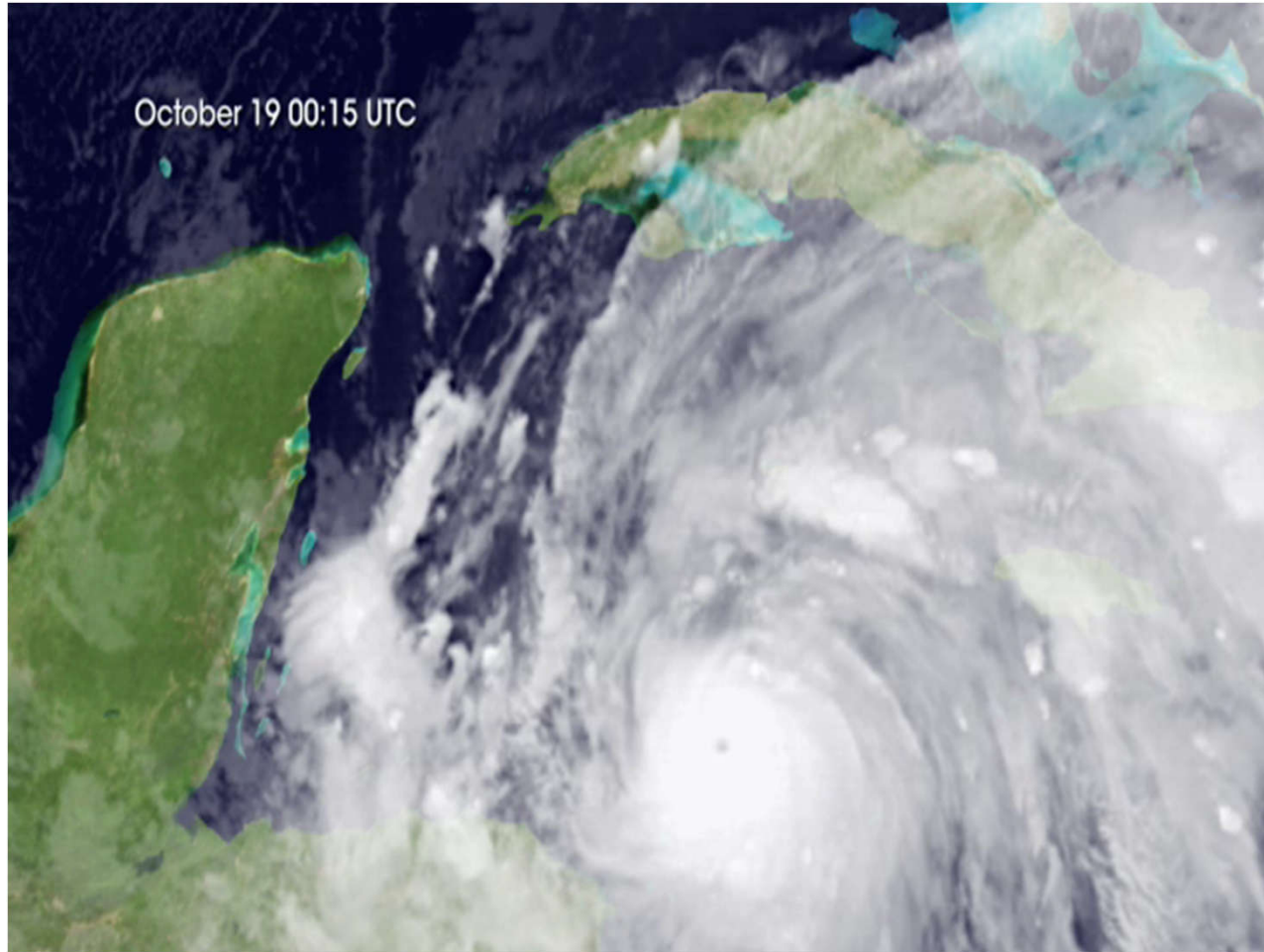


- Light Winds
- Very Strong Winds
- Transition from very strong winds to light winds at the outer edge



Ciepło kondensacji 540 cal/g →
Wydziela się ciepło →
Rośnie konwekcja →
Rośnie parowanie →
Niskie ciśnienie & Coriolis →
Silny wiatr →
wzrost parowania

Cyklon (między Kubą a Florydą)



The cyclone's lowest [barometric pressure](#) occurs in the eye and can be as much as 15 percent lower than the pressure outside the storm.

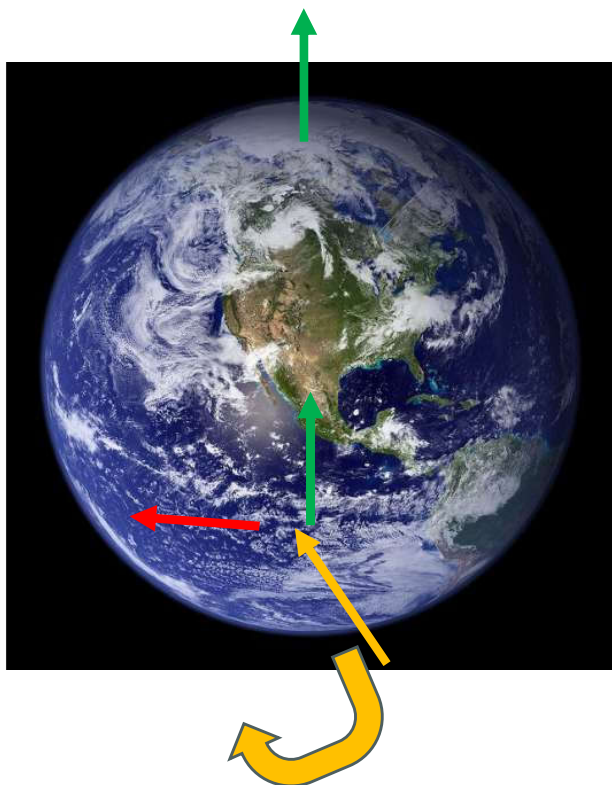
The cause of eye formation is still **not fully understood**. It is probably related to the combination of "the conservation of angular momentum" and centrifugal force. [...]
<https://www.noaa.gov/jetstream/tropical/tropical-cyclone-introduction/tropical-cyclone-structure>

Atmosphere: Coriolis force



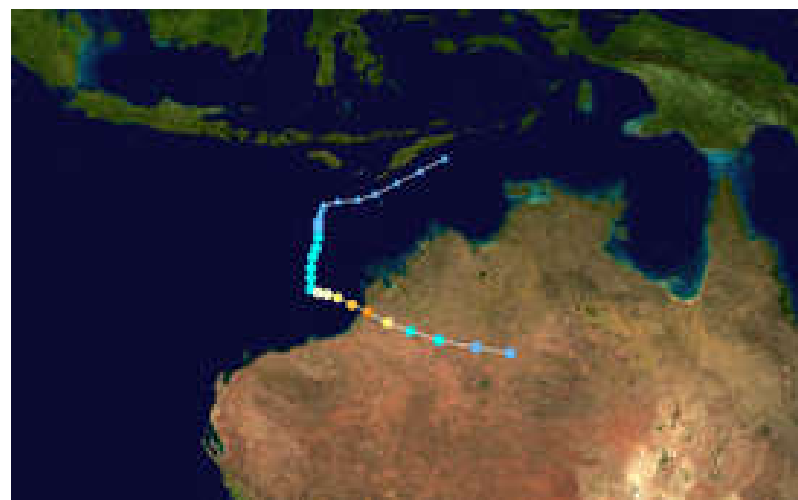
Nad Australią (półkula południowa) cyklony obracają się zgodnie z ruchem wskazówek zegara

Siła Coriolisa ($F = -2\omega \times v$)

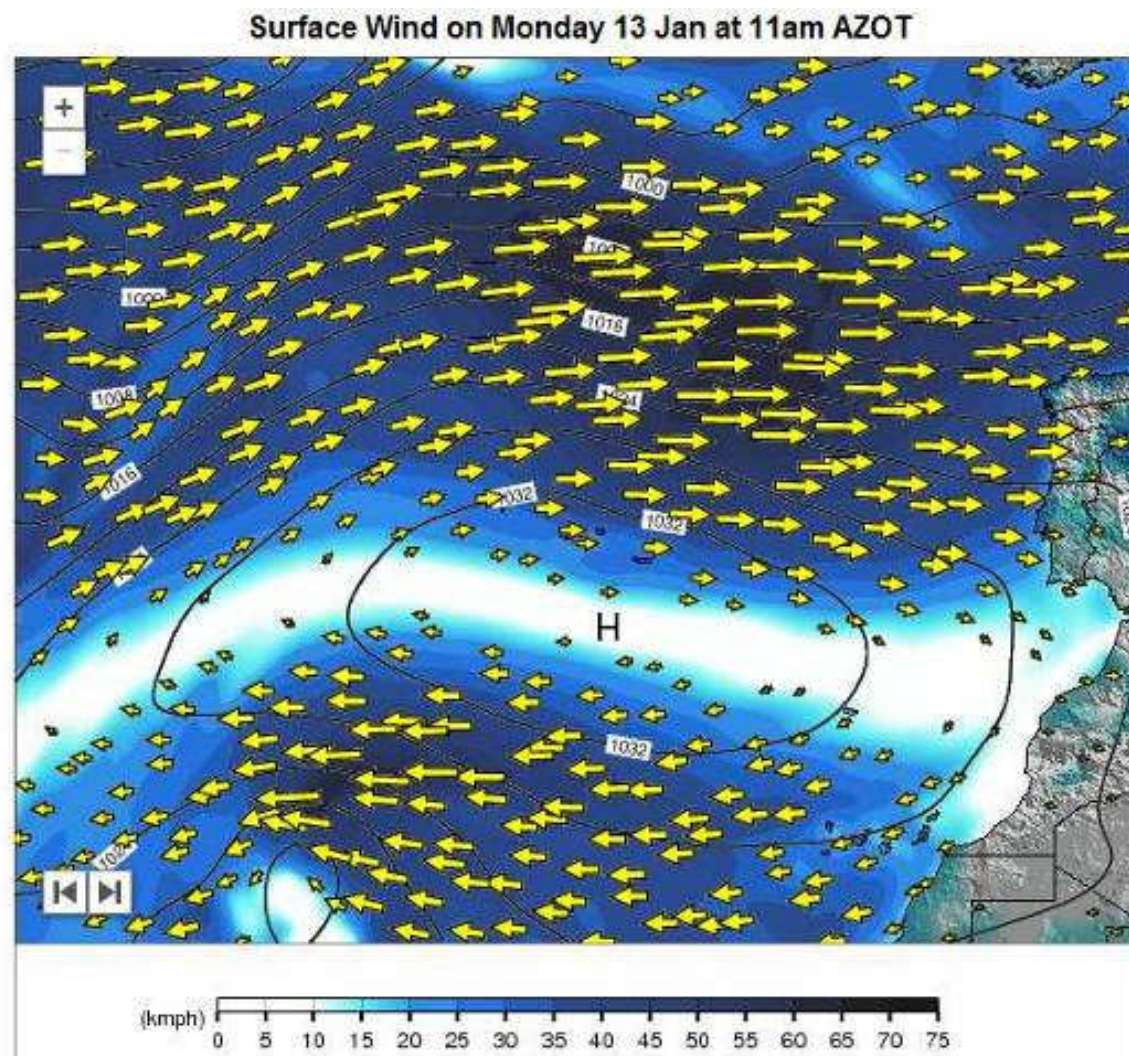


Na półkuli południowej, wiatry *wpływające* radialnie (do centrum niżowego) skręcają zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek

Huragany tropikalne na półkuli południowej wirują odwrotnie, niż na półkuli północnej, inny kierunek ma też ich ścieżka migracji.
https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclone_Rosita

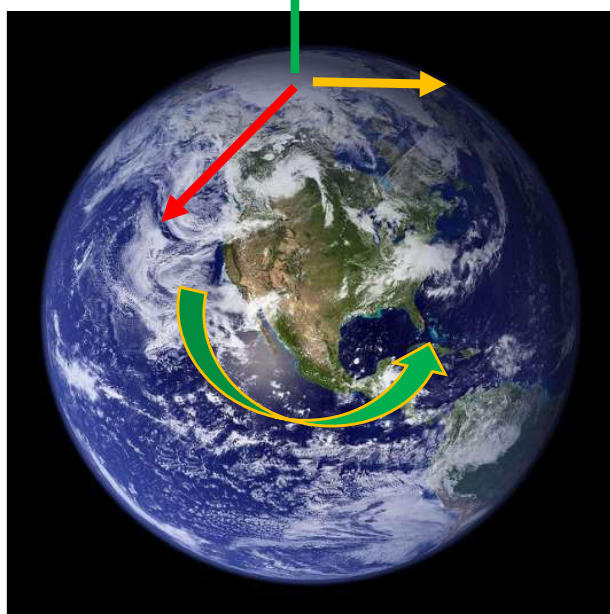
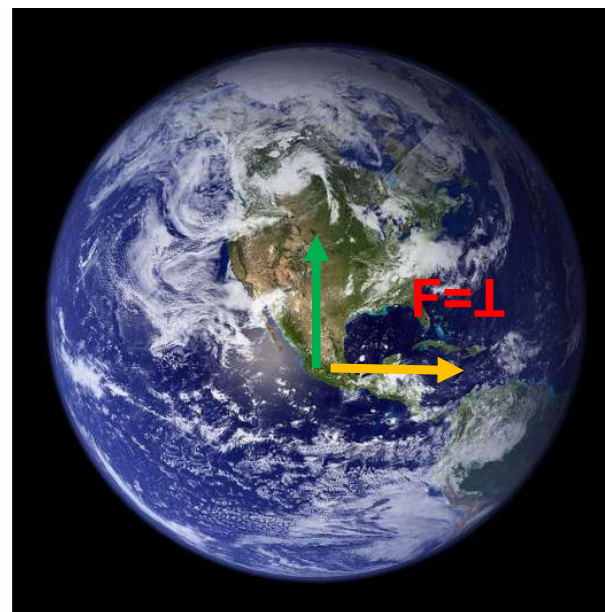
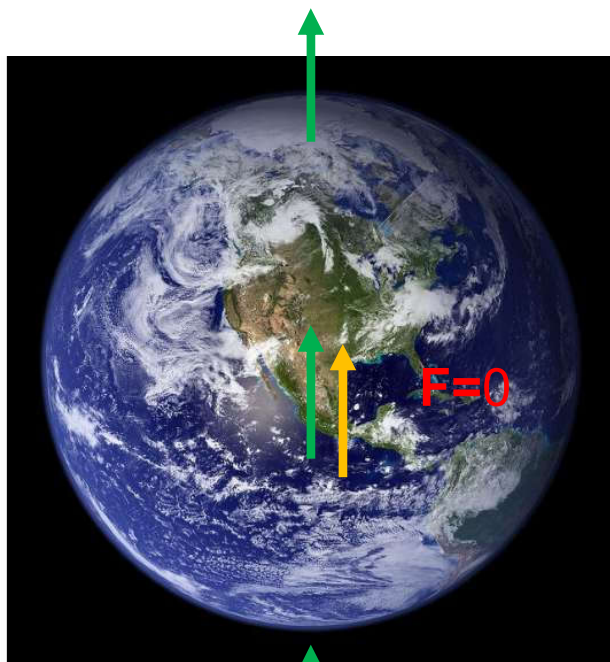


Pogoda wyżowa: Azory



Ta sama siła, związana z wirowaniem Ziemi (siła Coriolisa), która powoduje obrót huraganów (czyli ośrodków niżowych) w lewo (na półkuli północnej), powoduje wokół ośrodków wyżowych wiatry zgodne z kierunkiem wskazówek zegara. Tu prawdziwa mapa z Wysp Azorskich ze 13 stycznia 2014 roku.

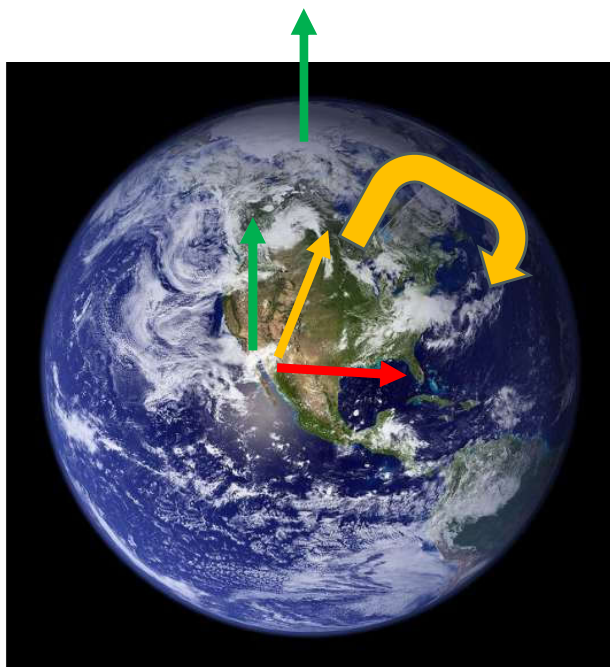
Siła Coriolisa ($F = -2\omega \times v$)



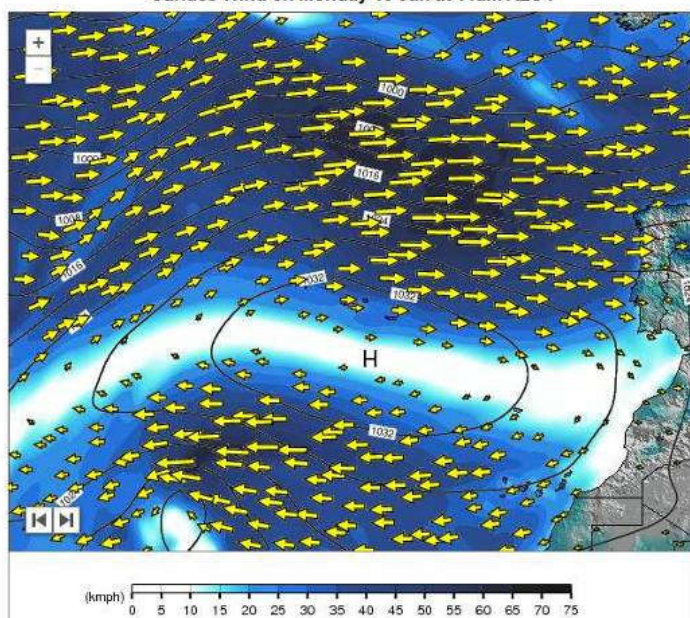
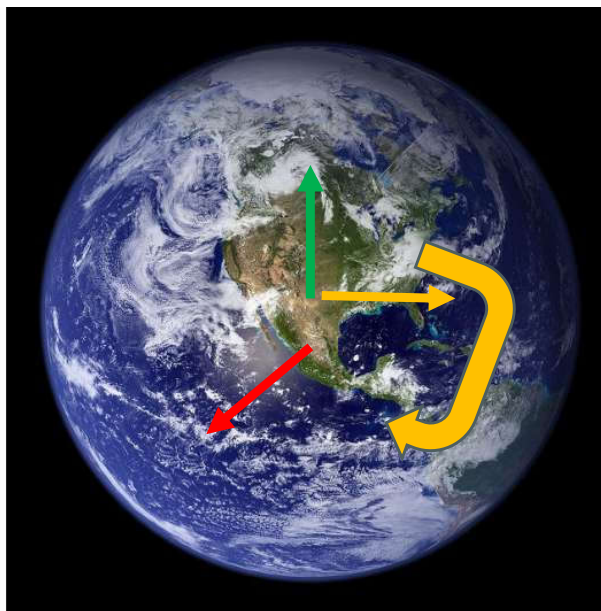
(a, b) Na równiku siła Coriolisa nie działa (na masy atmosfery) – wynosi zero lub jest prostopadła do powierzchni Ziemi

Na biegunie, pocisk wystrzelony z prędkością 1 km/s, do celu odległego o 1 km, mijają go z prawej strony o 7,24 cm.
Ziemia w międzyczasie o tyle się okręciła

Siła Coriolisa ($F = -2\omega \times v$): wyże



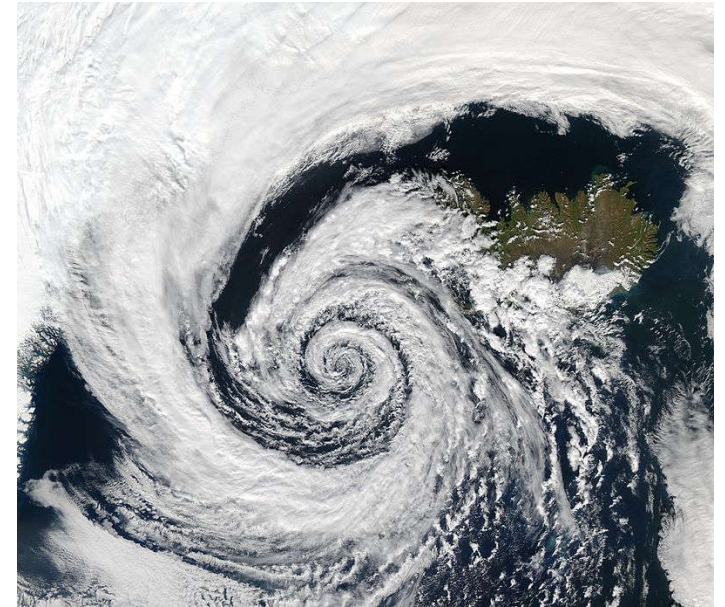
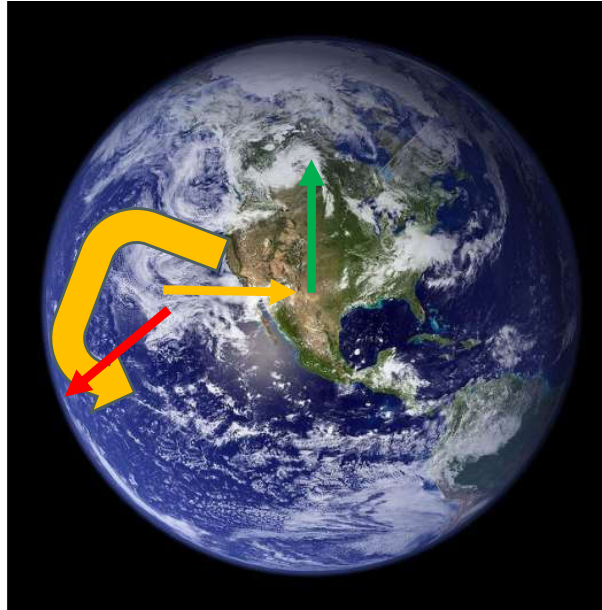
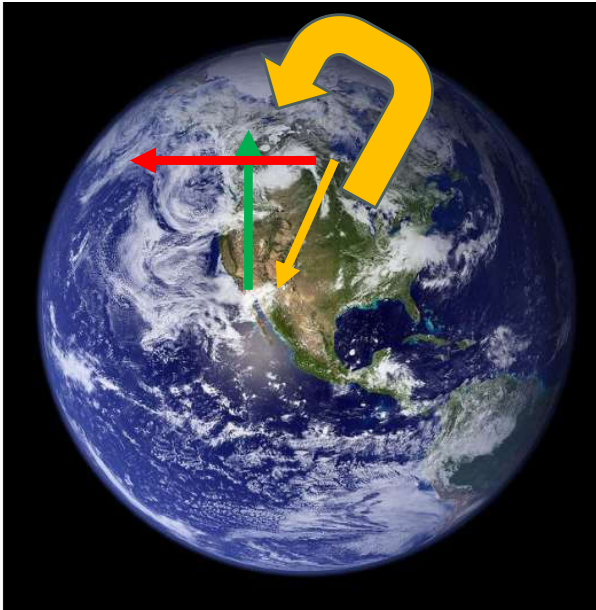
Surface Wind on Monday 13 Jan at 11am AZOT



Na półkuli północnej, wiatry *wyptywające* radialnie (z centrum wyżowego) skręcają zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara (mówimy o kierunku *anty-cyklonu*) „Zaczepony” jest punkt *wyptywu* z wyżu

Obok *anty-cyklon* znad wysp azorskich („*wyż azorski*”) 13/01/2014

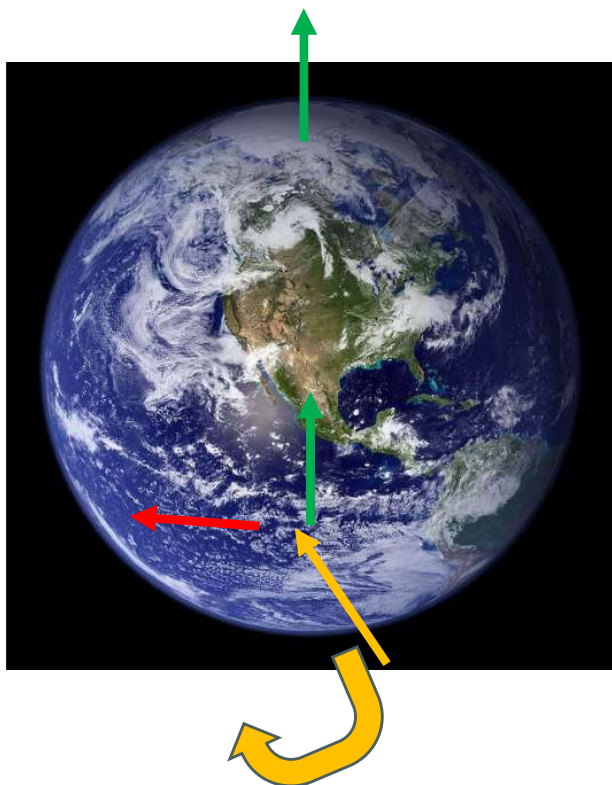
Siła Coriolisa ($\mathbf{F} = -2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}$): niżej



Na półkuli północnej, wiatry *wpływające* radialnie (do centrum niżowego) skręcają w kierunku odwrotnym do ruchu wskazówek zegara (mówimy o „cyklonie”). „Zaczepony” jest punkt wpływu powietrza do centrum niżu. Obraca się „ogon” wektora.

Przykładem są subtropikalne huragany, pojawiające się pod koniec lata, kiedy z nagrzanego oceanu trafia do atmosfery mnóstwo (lekkiej) pary wodnej, co powoduje powstanie ośrodka niżowego.

Siła Coriolisa ($F = -2\omega \times v$)

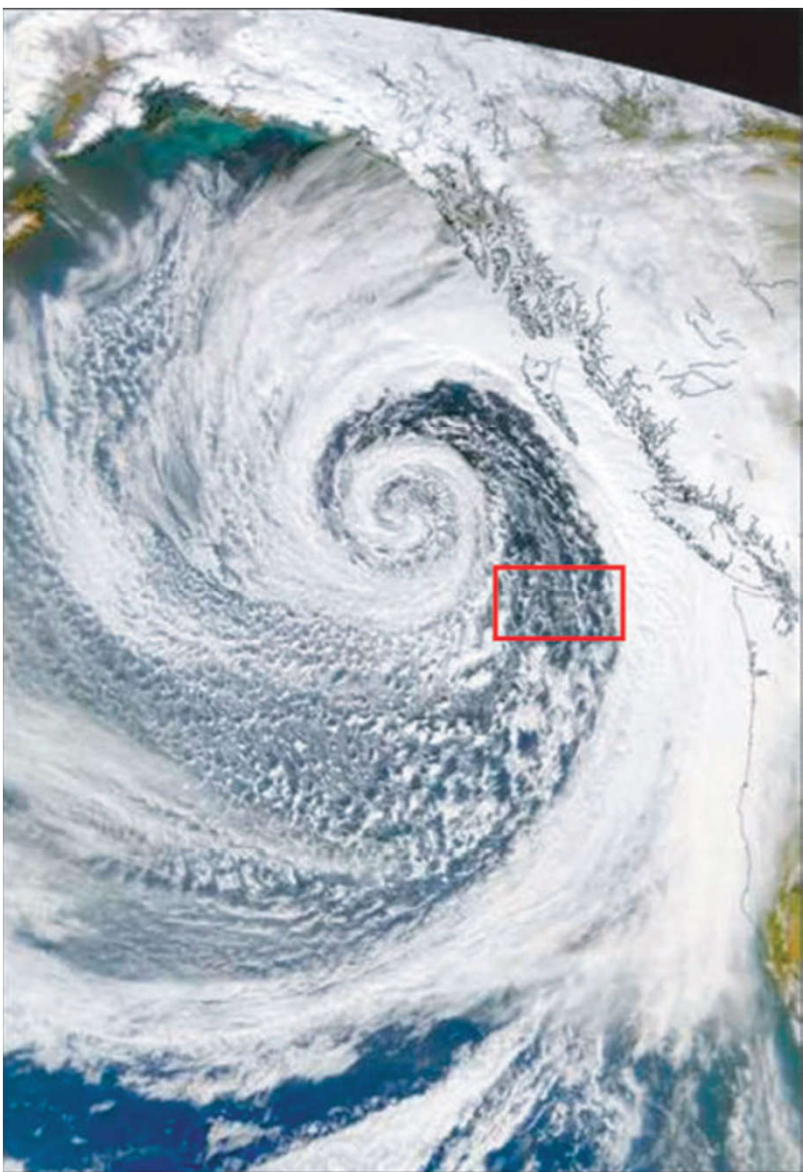


Na półkuli południowej, wiatry *wpływające* radialnie (do centrum niżowego) skręcają zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek

Huragany tropikalne na półkuli południowej wirują odwrotnie, niż na półkuli północnej, inny kierunek ma też ich ścieżka migracji.
https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclone_Rosita



I te dwa przeciwne kierunki obrotów powodują...



Ośrodek niżowy, o rozmiarach 2000 km, nad Pacyfikiem
Wallace, Hoobs, str. 14

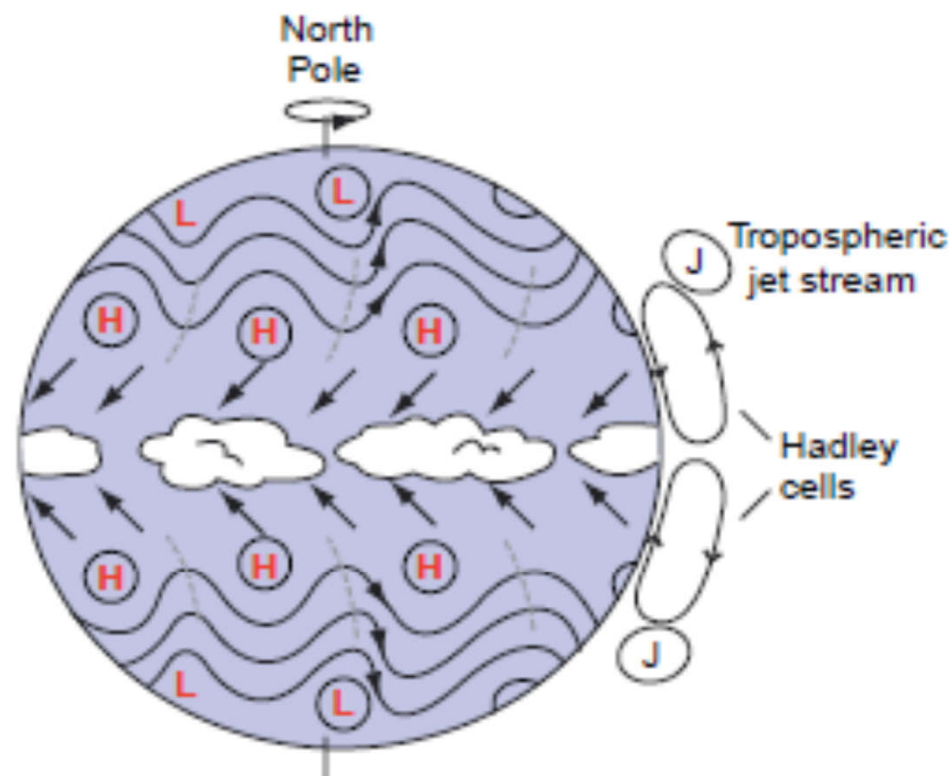


Fig. 1.15 Schematic depiction of sea-level pressure isobars and surface winds on an idealized *aqua planet*, with the sun directly overhead on the equator. The rows of H's denote the subtropical high-pressure belts, and the rows of L's denote the subpolar low-pressure belt. Hadley cells and tropospheric jet streams (J) are also indicated.

że nad idealną, pokrytą wodą (jak chciał Kopernik) kulą wiatry wieją „zygzakami”

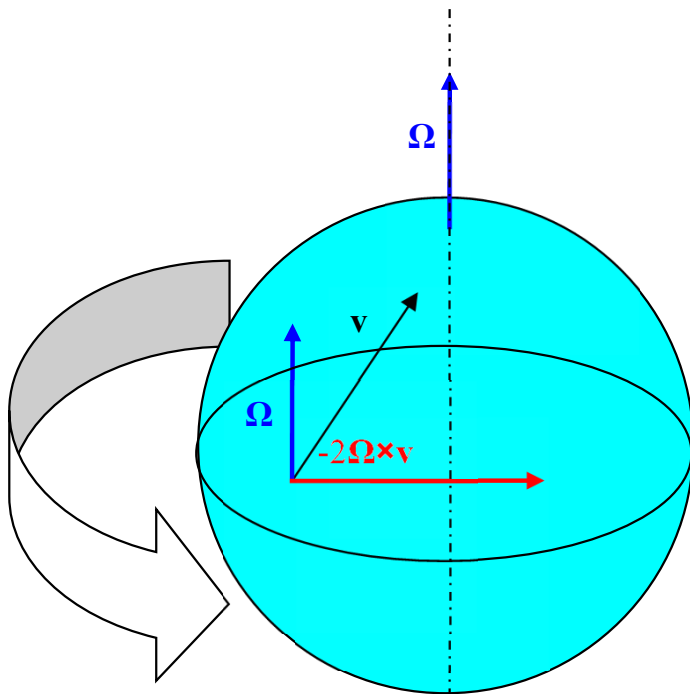
Dwa (trzy) prawa fizyki gazów

1. Prawo gazu doskonałego $pV = nRT$, gdzie n – ilość moli
 - 1a. Stąd różne przemiany gazowe

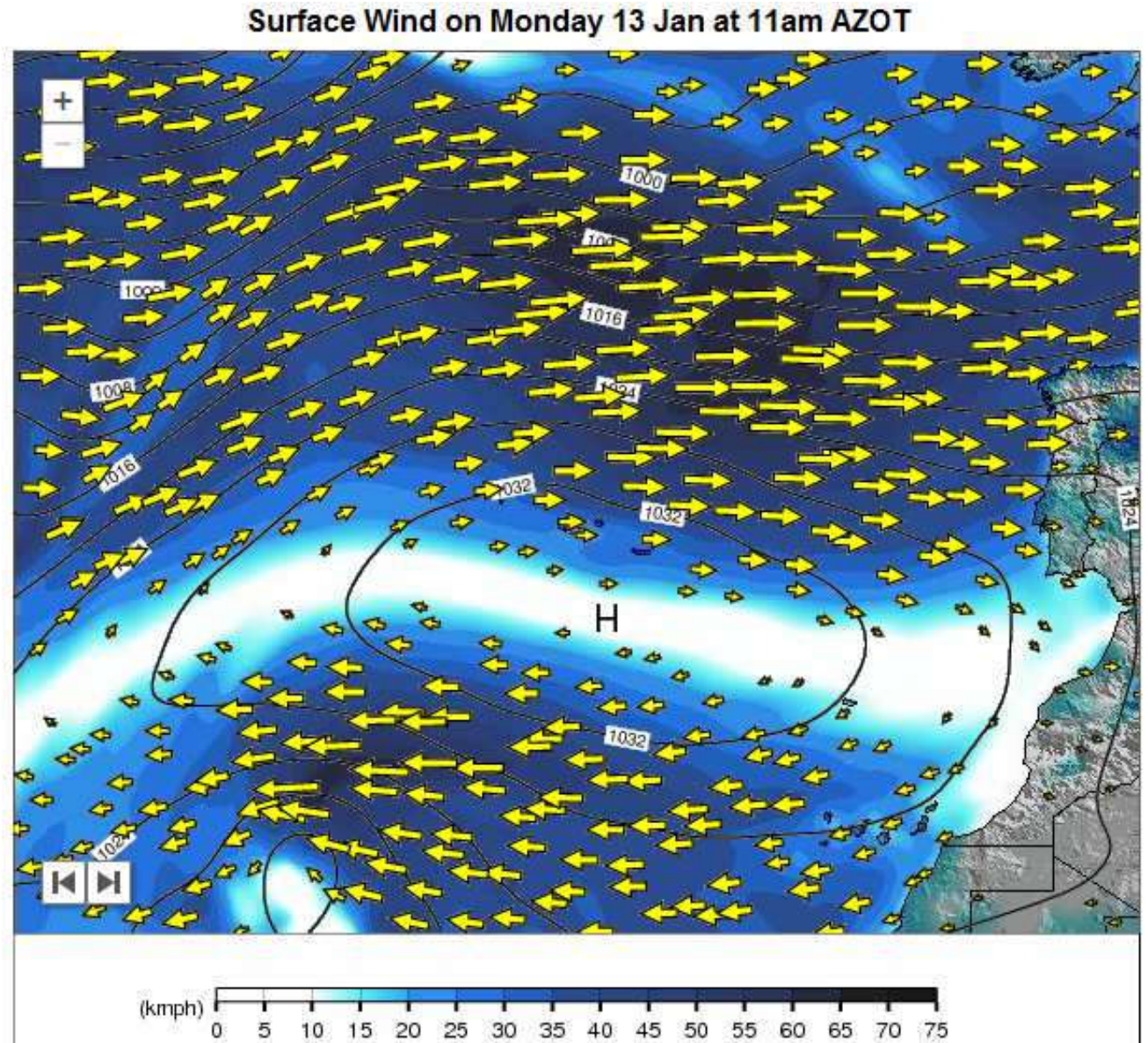
2. Prawo Daltona: każdy mol gazu (doskonałego) daje taki sam wkład do ciśnienia
 - 2a. Mówimy o ciśnieniach parcjalnych gazów

3. Średnia gęstość gazu, przy danym ciśnieniu, jest proporcjonalna do masy molowej składników (i ich ciśnień parcjalnych)
 - 3a. Stąd wynika, że wilgotne powietrze (tzn. zawierające parę wodną, ale nie kropelki wody) jest lżejsze niż powietrze suche (N_2 masa molowa 28, H_2O – 18)
 - 3b. **Wilgotne powietrze** oznacza więc atmosferyczny *niż*.

'Anticiclone di Azzorre'

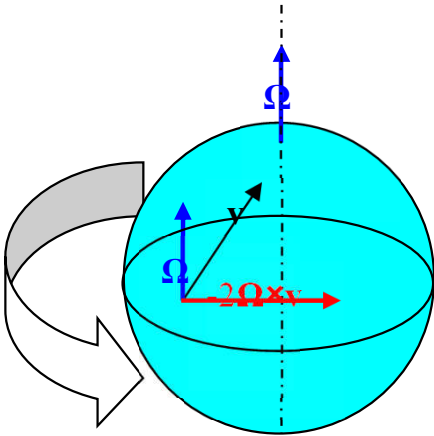


Nad Azorami tworzy się wysokie ciśnienie (suche powietrze jest cięższe od wilgotnego). Siła Coriolisa (która jest konsekwencją ruchu obrotowego Ziemi) obraca wiatry zgodnie z ruchem wskazówek zegara, czyli antycyklonem



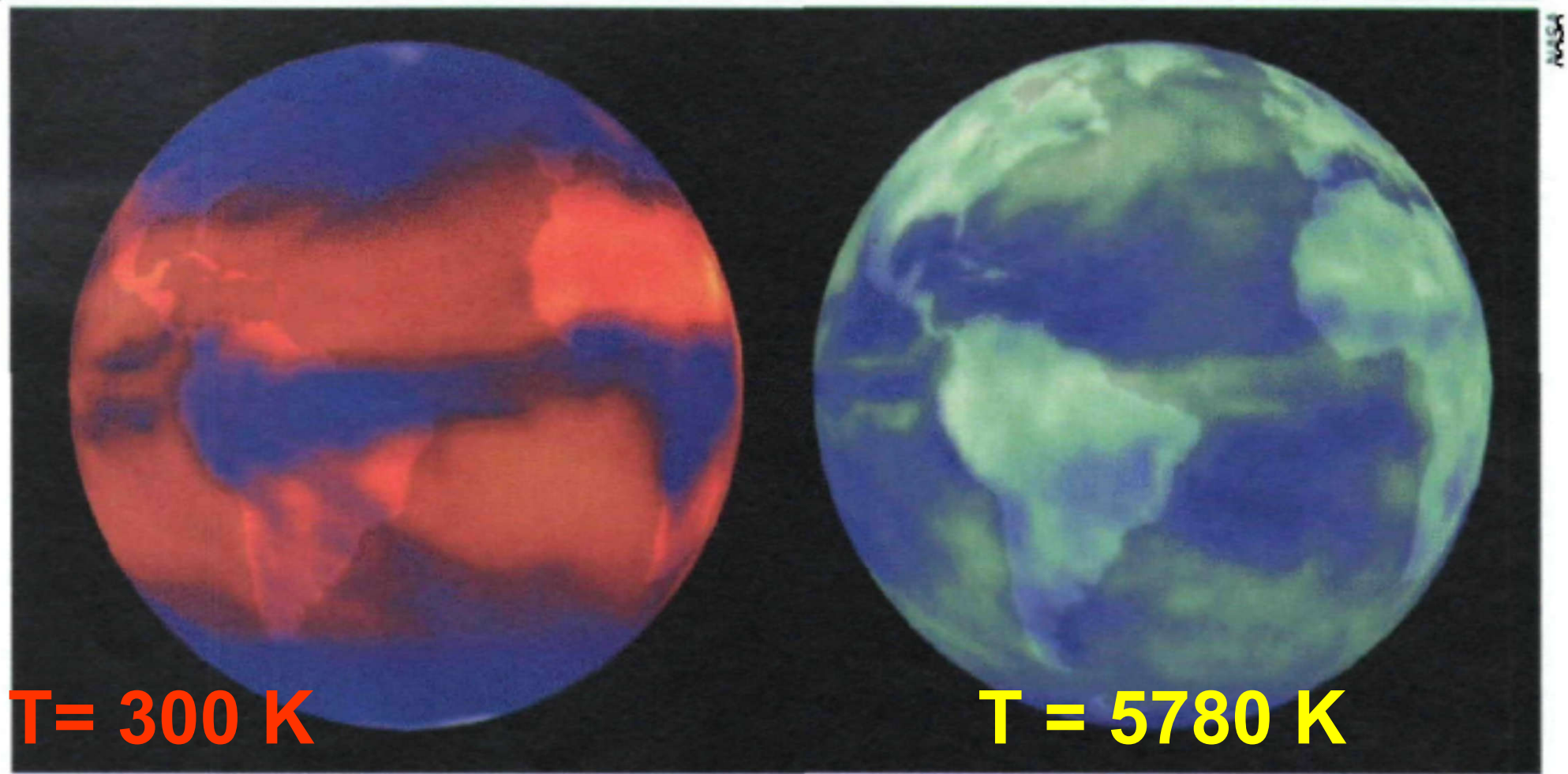
Screenshot GK 13-01-2014

Atmosfera: Coriolis force



Cyklon natomiast skręca w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (na półkuli północnej)

Emisja w IR, absorpcja w VIS



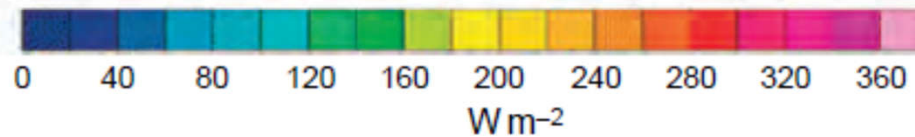
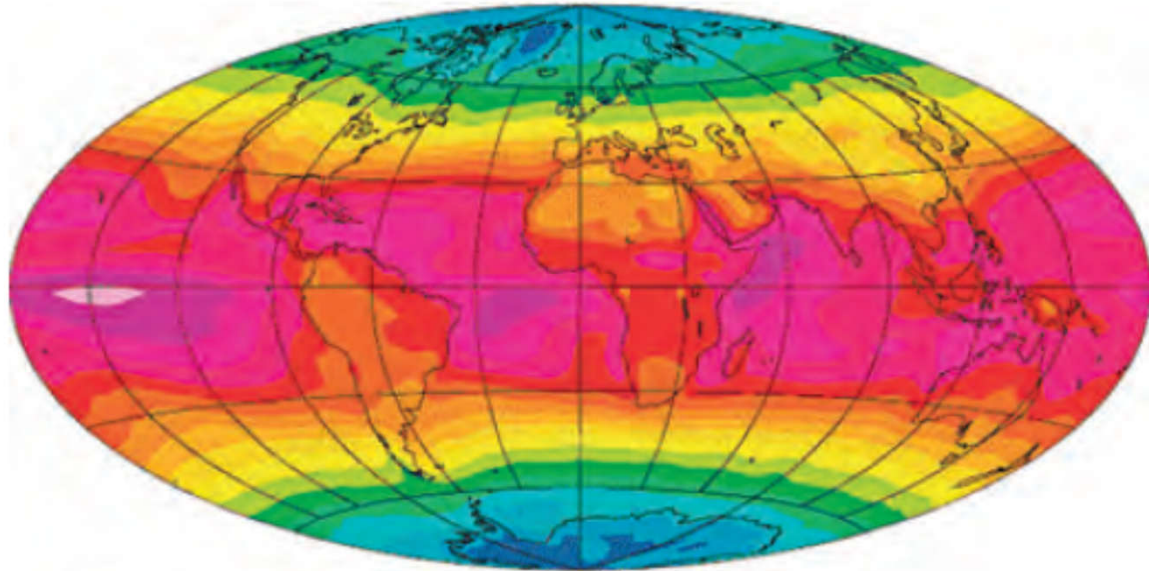
Satellite instruments measure the thermal radiation (left) emitted into space from the Earth's surface and atmosphere together with the sunlight (right) reflected by the ocean, land, clouds and aerosols.

Source: Physics Today

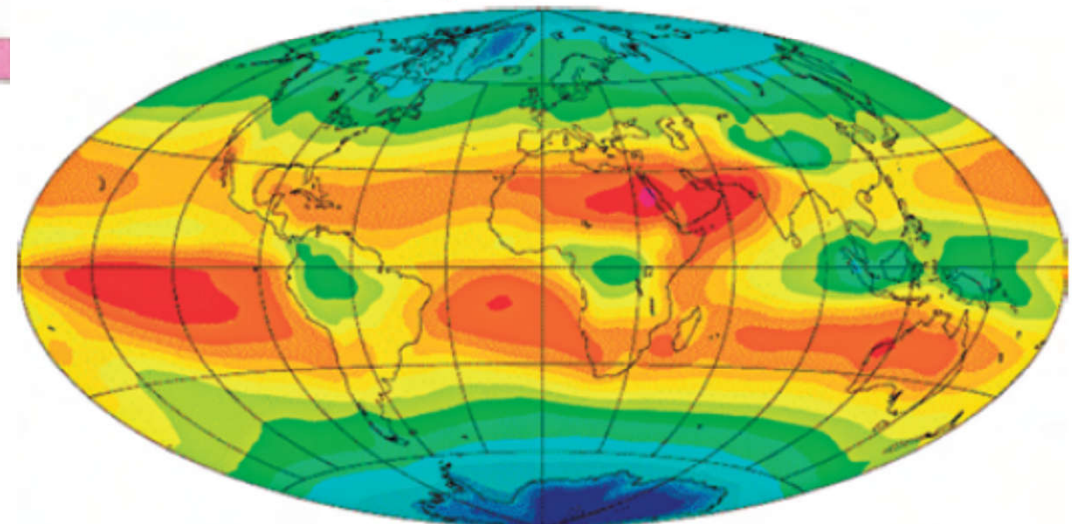
„strefa wyżów zwrotnikowych jest więc obszarem o dużym nasłonecznieniu i skąpych opadach. Wysokie położenie Słońca w połączeniu z bezchmurnym niebem powoduje najwyższe temperatury na Ziemi” (NoK, s. 113)

Bilans energii: absorpcja VIS, emisja IR

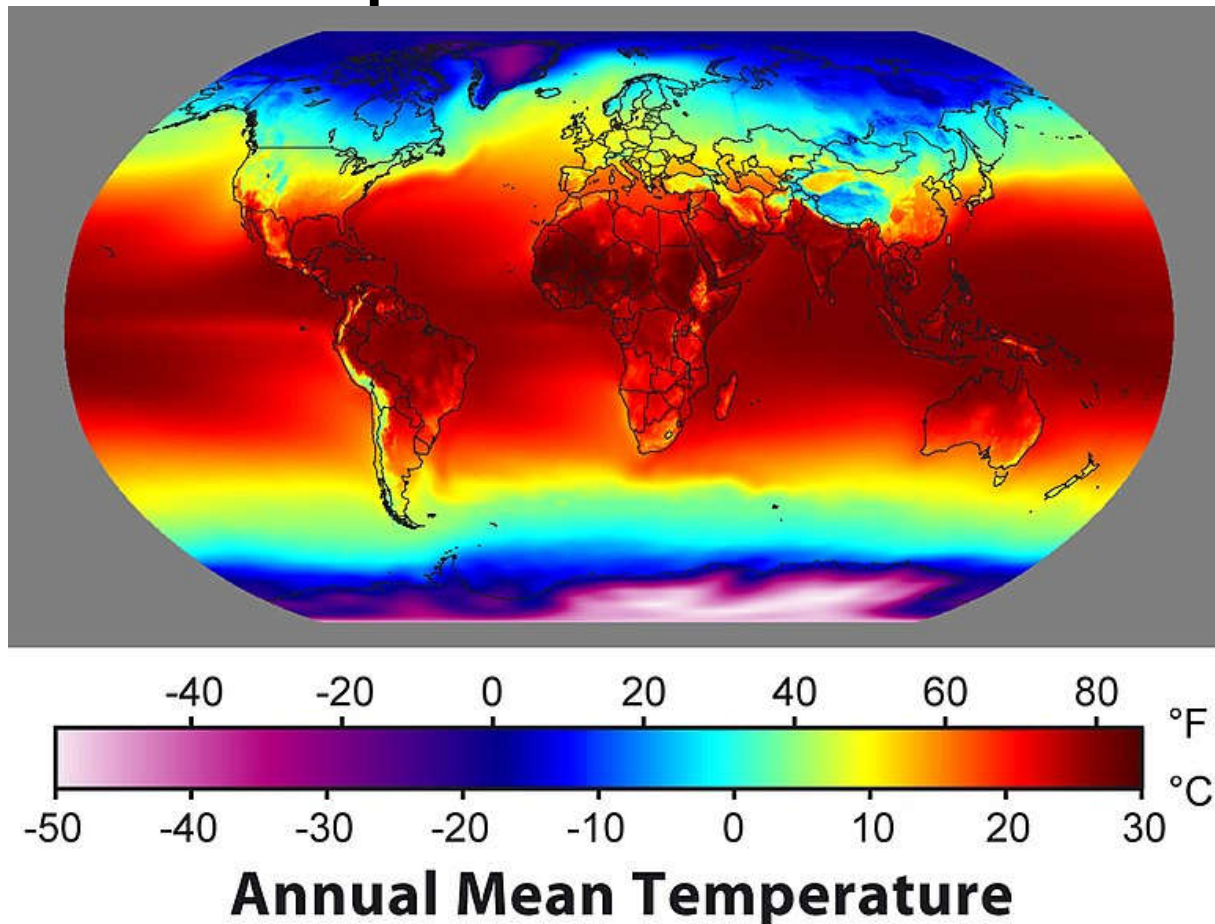
Absorbed Solar Radiation



Outgoing Longwave Radiation



Temperatura średnia

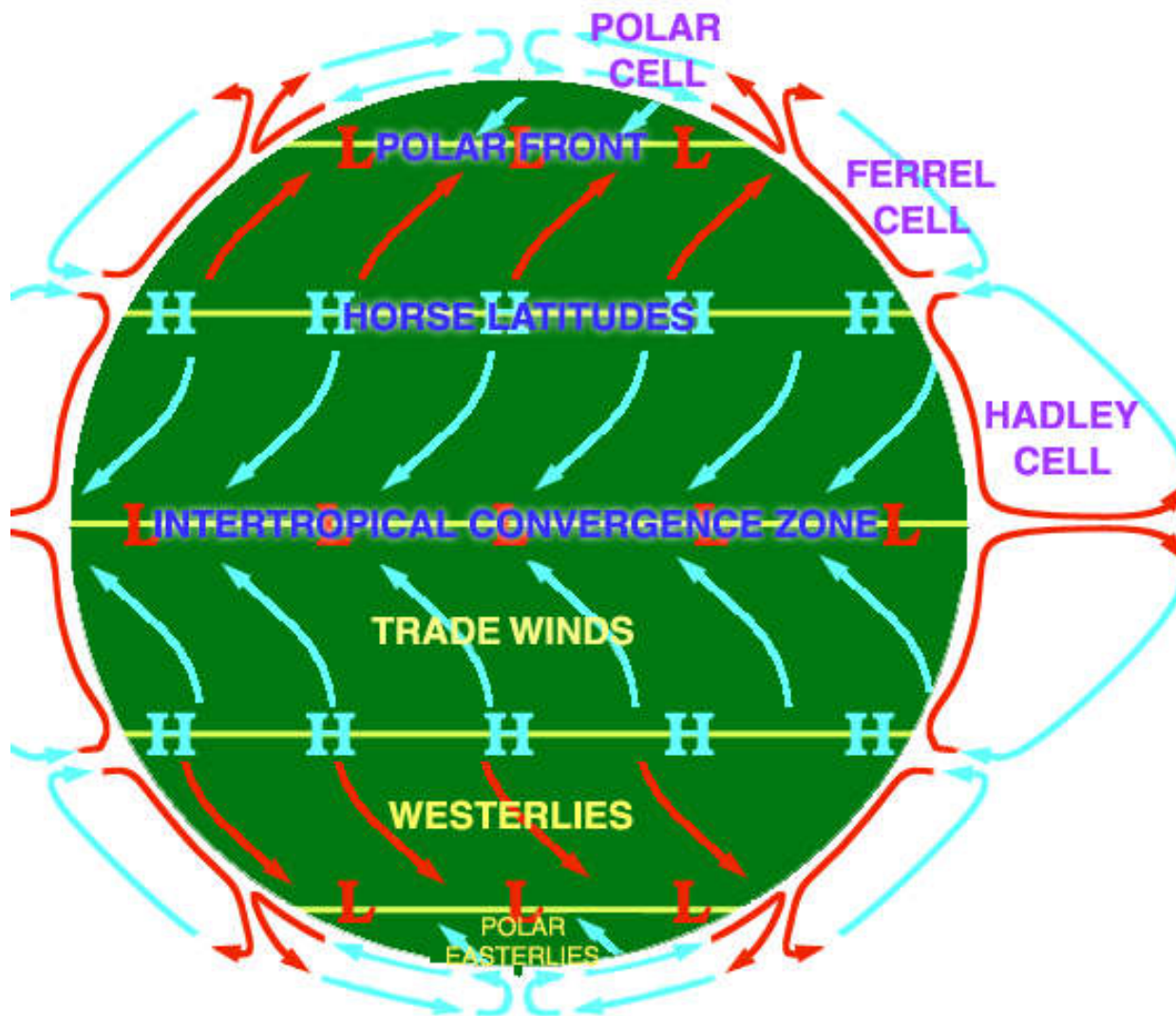


This is a global map of the annually averaged near-surface air [temperature](#) from 1961 to 1990. Such maps, also known as "climatologies", provide information on [climate](#) variation as a function of location.

The [tropics](#), between the [Tropic of Cancer](#) and [Tropic of Capricorn](#), have the most direct sunlight and highest temperatures. While the seasonal contrasts in surface temperature are due to the [tilt of the Earth axis](#), there is relatively little variation in the annual average sunlight received throughout this entire tropics, and hence the entire band has similar temperatures. Above the tropics, temperatures fall off more rapidly as one travels **towards the Earth's poles**, at a rate of approximately **1 °C for every 145 km** [Permafrost](#) will form at positions where the annual average temperature is below 0 °C.

The other key factor in determining surface temperature is **elevation**. Surface temperature declines **~1 °C for every 220 m** in elevation above sea level. The coldest portions of Earth are the [Greenland](#) and [Antarctic Ice Sheets](#), which combine both very high latitude and high [elevation](#).

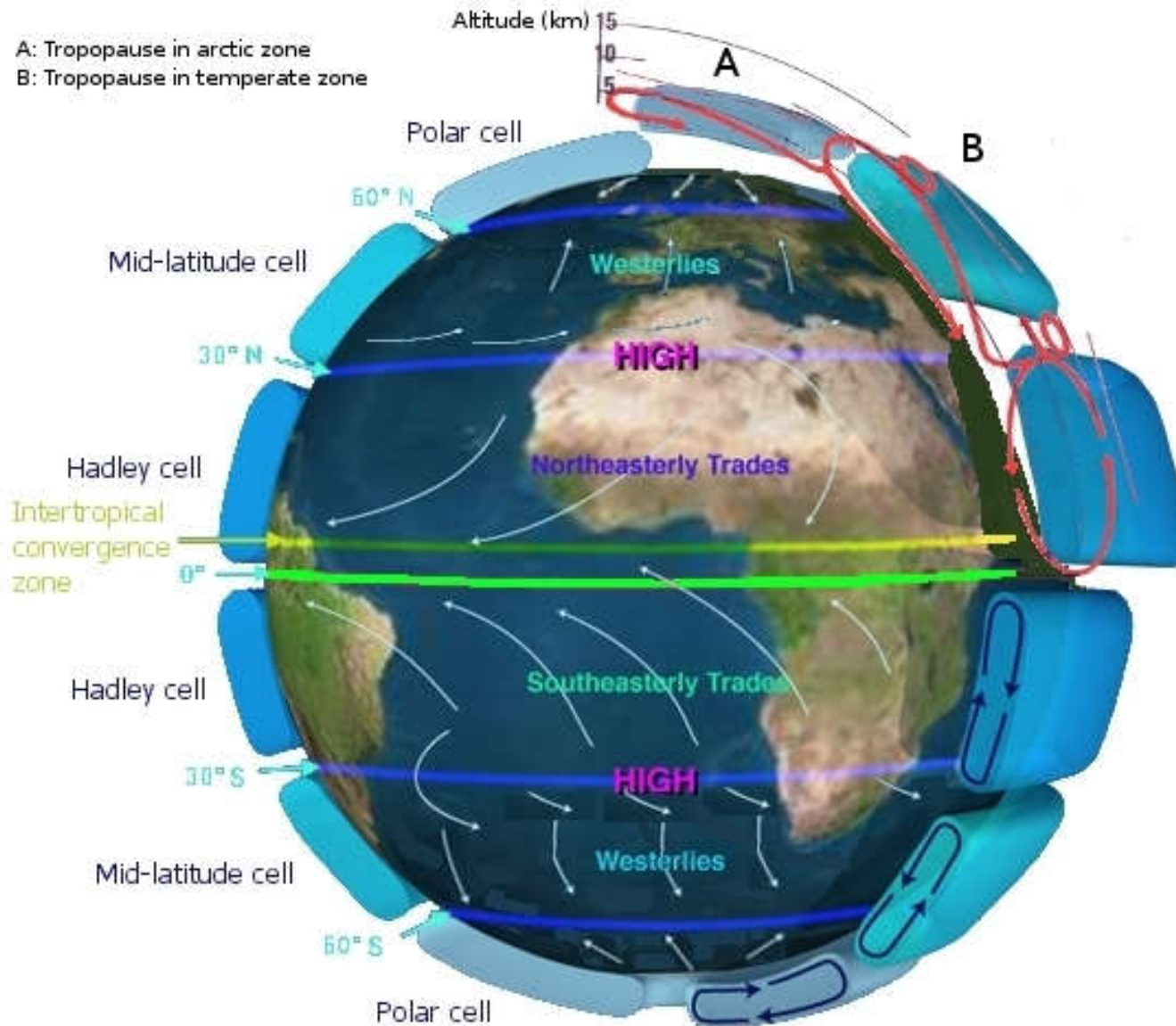
Trade winds, czyli pasaty



Pojęcie „komórki Hadleya” jest zasadnicze dla zrozumienia globalnej cyrkulacji w atmosferze. Gorące i wilgotne powietrze z nad równika unosi się, ochładza, para wodna kondensuje (przez co dodatkowo ogrzewa pozostałe powietrze) i spada jako deszcz.

Zimne i suche powietrze wędruje na północ i spada w rejonie pustyń Sahary, Kalahari, Gobi. Powietrze to wraca, w postaci wiatrów pasatów w kierunku równika. To z nich korzystał Kolumb w swym rejsie.

„komórka Hadley'a”



Suche powietrze spadające w rejonie „końskich” szerokości geograficznych (30-40°) stanowi ośrodek wyżowy (suche powietrze jest cięższe od wilgotnego) i wymusza pasaty. Wieją one w kierunku równika ale zachód (jako że na równiku prędkość liniowa wirowania Ziemi jest większa niż na zwrotnikach).

Komórka Hadleya „zazębia się” z komórką Ferrela na średnich szerokościach geograficznych. Stąd biorą się zachodnie wiatry w Europie.

s that "NASA material is not protected by copyright unless noted".
1d emblems is restricted per U.S. law 14 CFR 1221. The NASA
these are not necessarily in the public domain. Materials based on
}} and {{Cc-Hubble}}. The SOHO (ESA & NASA) joint project implies

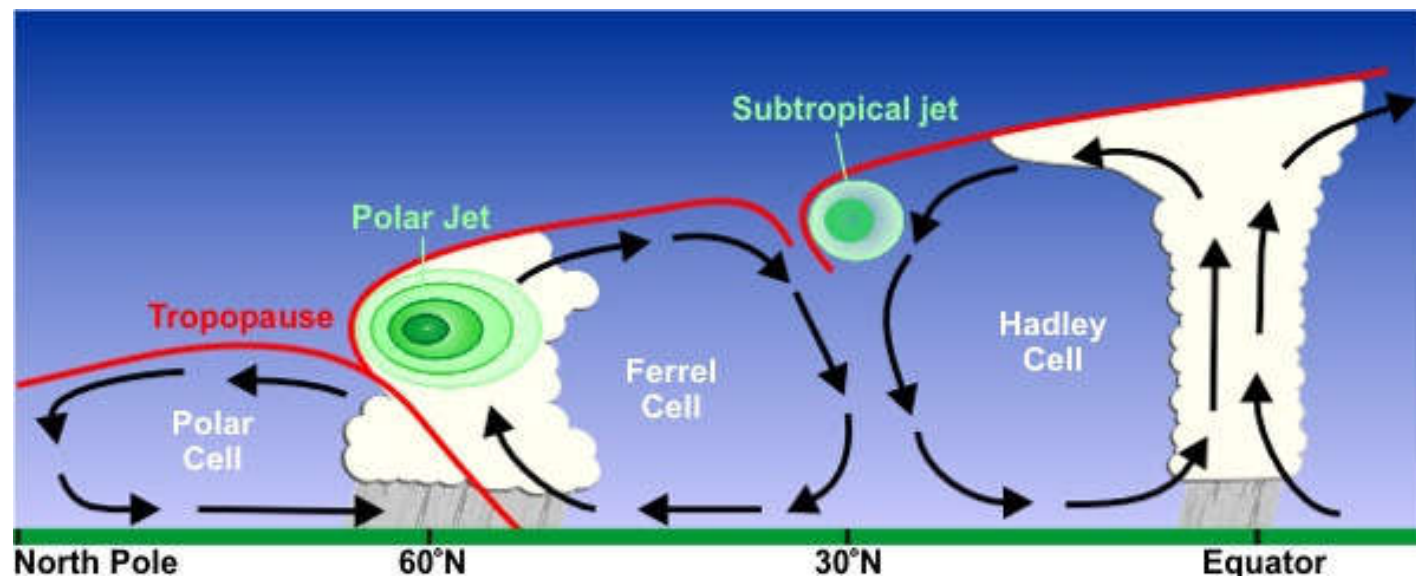
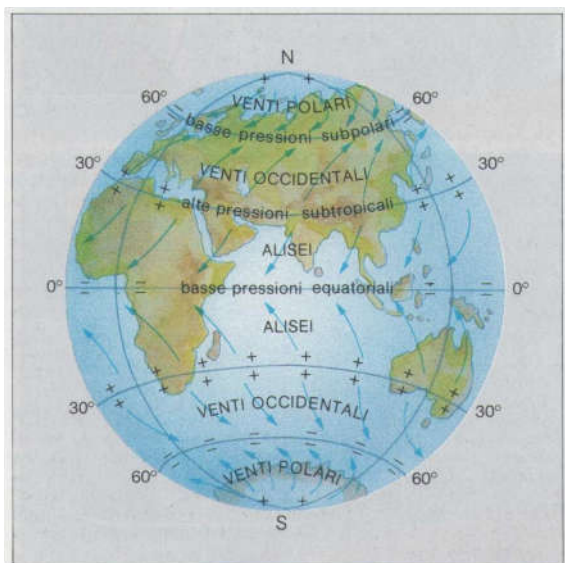
that all materials created by its probe are copyrighted and require permission for commercial non-educational use. [2]Images featured on the Astronomy Picture of the Day (APOD) web site may be copyrighted. [3]The National Space Science Data Center (NSSDC) site has been known to host copyrighted content even though its photo gallery FAQ states that all of the images in the photo gallery are in the public domain. - <http://sealevel.jpl.nasa.gov/overview/climate-climatic.html>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=196664>

Wiatry: zasada ciągłości (i koła zębate)

Dlaczego zwrotniki (Raka i Koziorożca) to regiony "wysokiego ciśnienia"?

Ponieważ suche powietrze ($N_2 + O_2$) ma wyższy ciężar molowy (29 g/mol) niż wilgotne powietrze (masa 1 mola H_2O to 18 g).

„una mole di lavoro” (wł.) – mnóstwo roboty



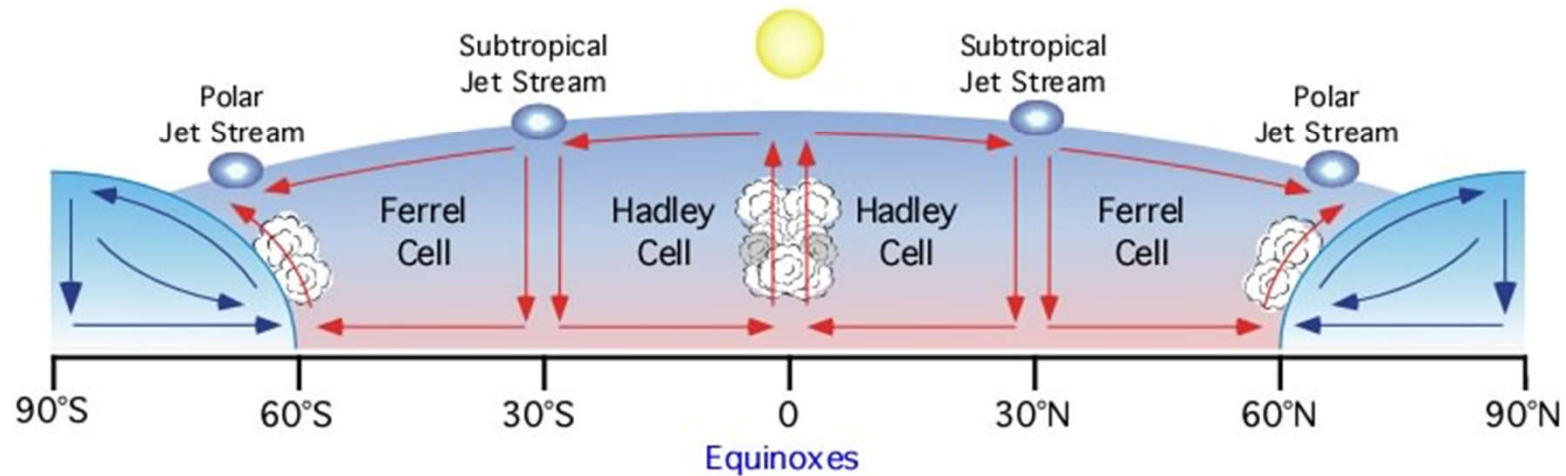
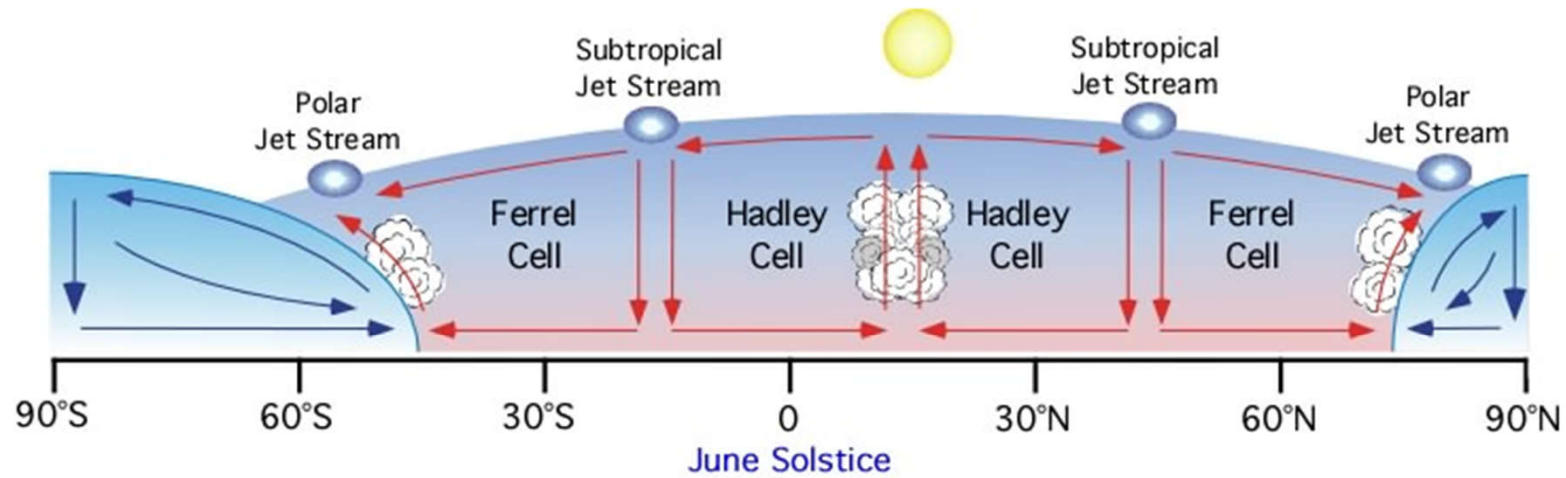
Ciepłe (i wilgotne) powietrze na równiku unosi się do góry. Na zwrotnikach (np. na szerokościach geograficznych Sahary) już zimne, czyli suche powietrze opada z górnej troposfery. To "koło zębate" nazywa się komórką Hadleya.

Inne komórki (Ferrel, polarne) są niższe i obracają się synchronicznie.

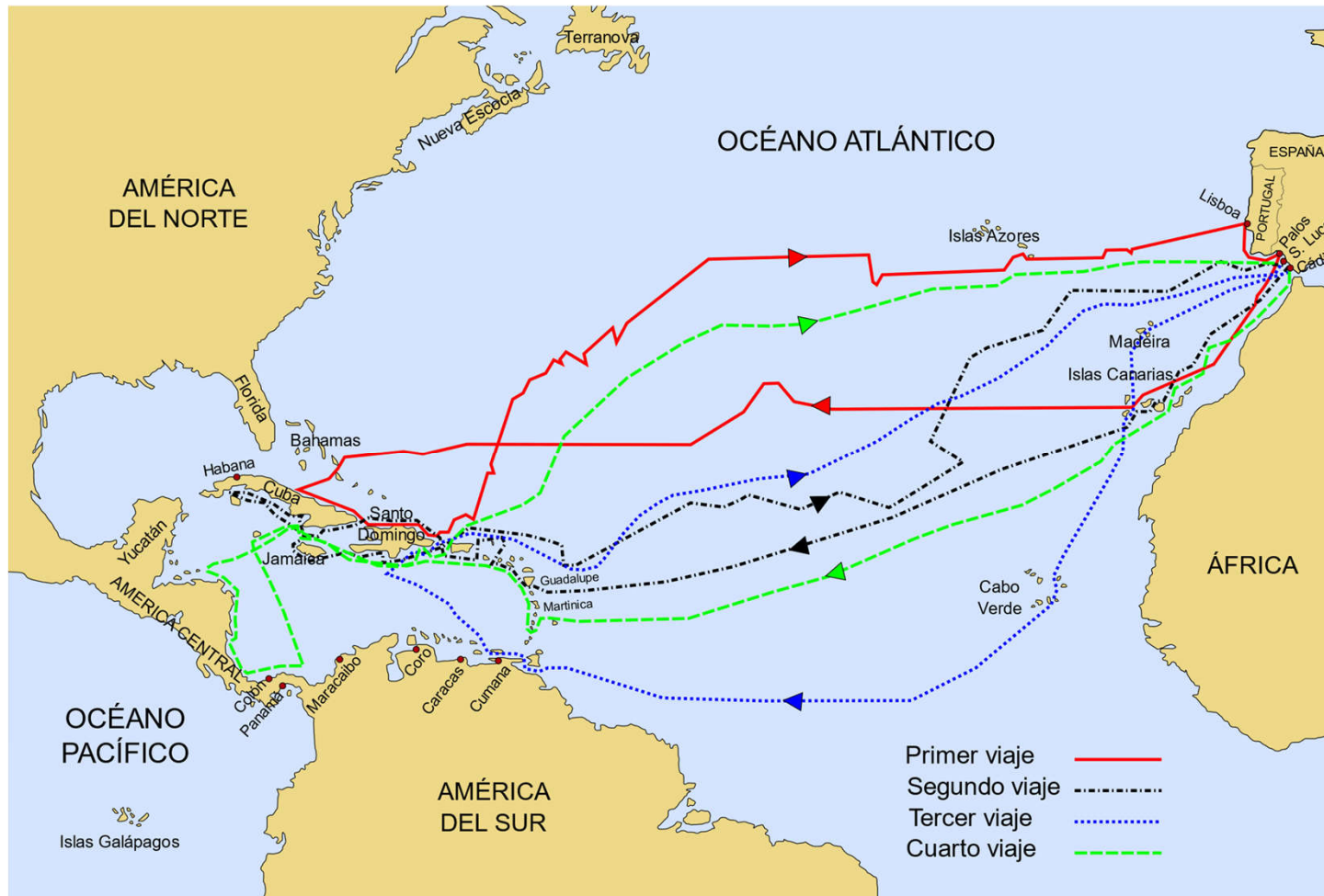
Na styku komórek, w górnej troposferze, wieją z zachodu **wiatry „jet” >100km/h**, szczególnie przydatne przy locie do Seoulu.

Komórki Hadley'a: pory roku

24/06



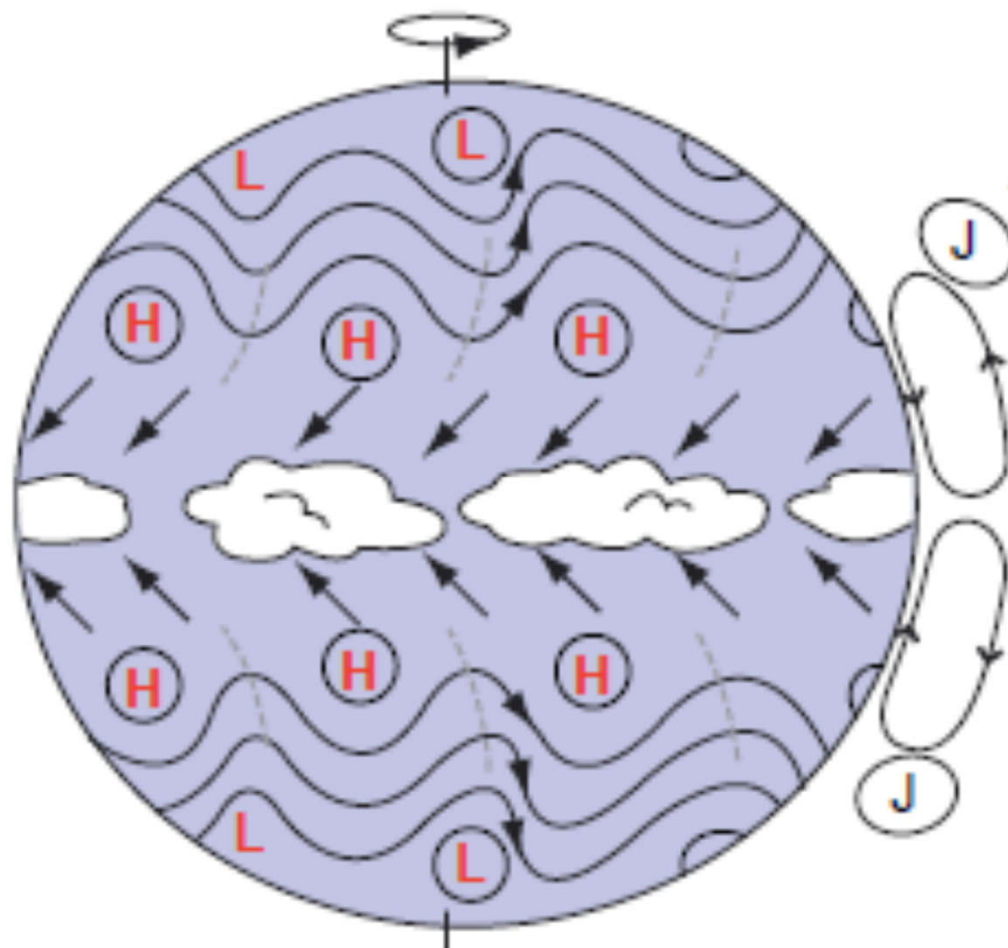
Podróże Kolumba



Wyłąywał we wrześniu, z wiatrem; wracał w marcu – z wiatrem:
sezonowo zmienia sią ITCZ

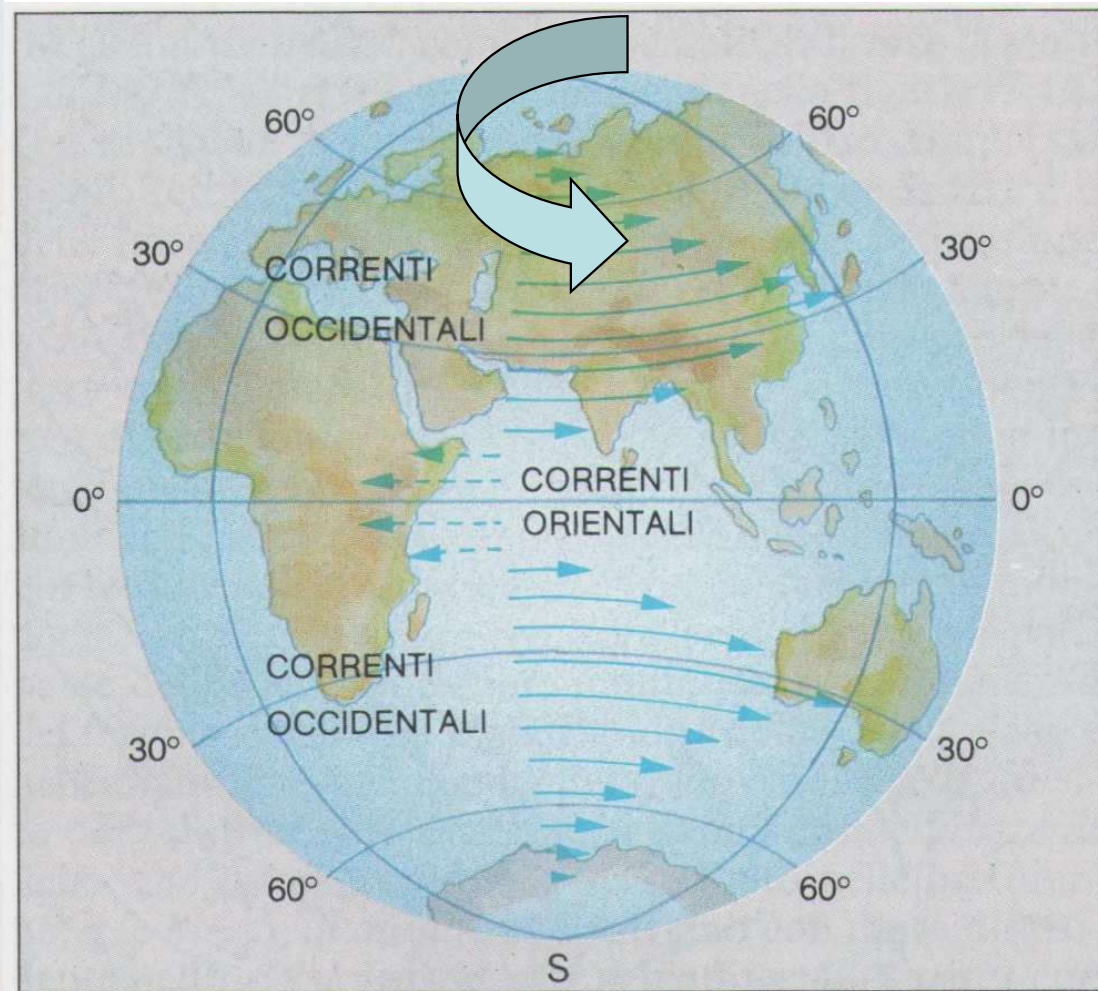
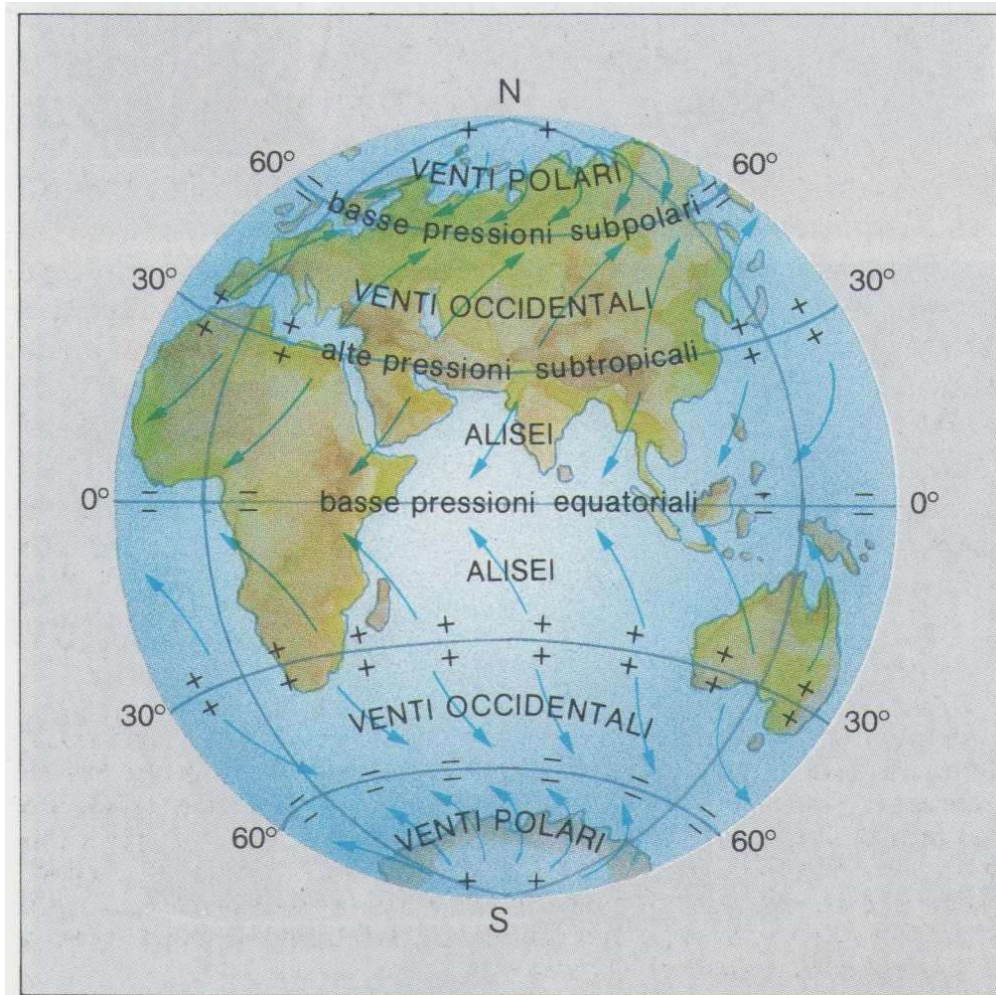
https://it.wikipedia.org/wiki/Cristoforo_Colombo

Ziemia i chmury



Wyraźnie widoczny jest równikowy pas chmur, suchy obszar zwrotnikowy i zachmurzone obszary w okolicach 65° szerokości geograficznej, pofałdowane przez jet streams (NoK, str. 113)

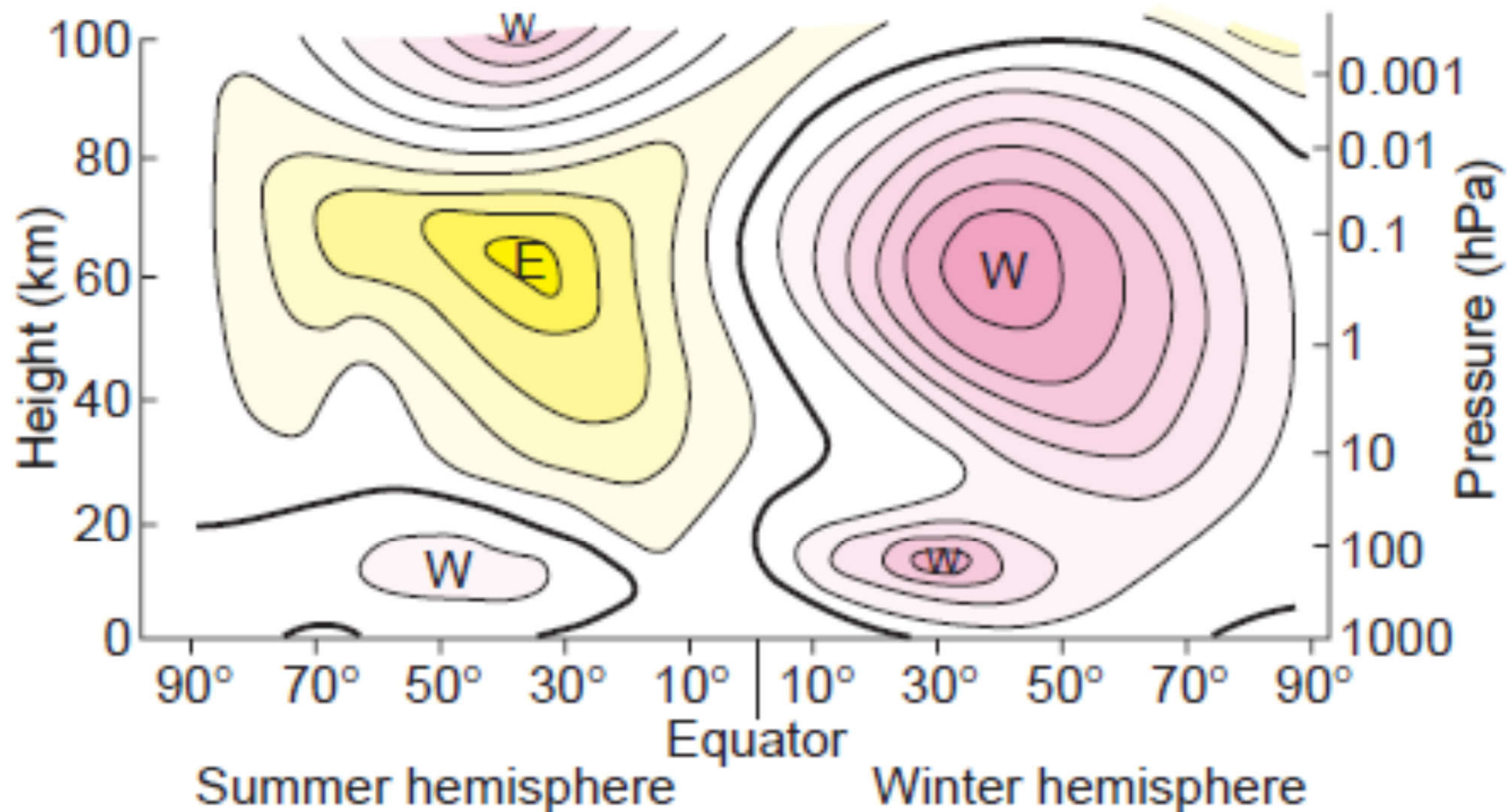
Na powierzchni ziemi kierunek wiatrów wynika z cyrkulacji Hadleya, w górnej troposferze – z obrotu Ziemi



Troposfera: Pasaty (ze wschodu) nad tropikami i wiatry przeciwnie (u nas od zachodu)

W górnej troposferze cyrkulacja jest prosta: powietrze spóźnia się nad równikiem, a wyprzedza obrót Ziemi nad zwrotnikami

Wiatry w górnej troposferze wieją z zachodu na wschód
w mezosferze – zależą od pory roku



Contour intervals 10 m/s, bold – zero velocity [50 m/s = 180 km/h]

Troposphere: jet streams from West at about 30° latitude

Atmospheric Science. An introductory survey

Wiatry w górnej troposferze (zima)

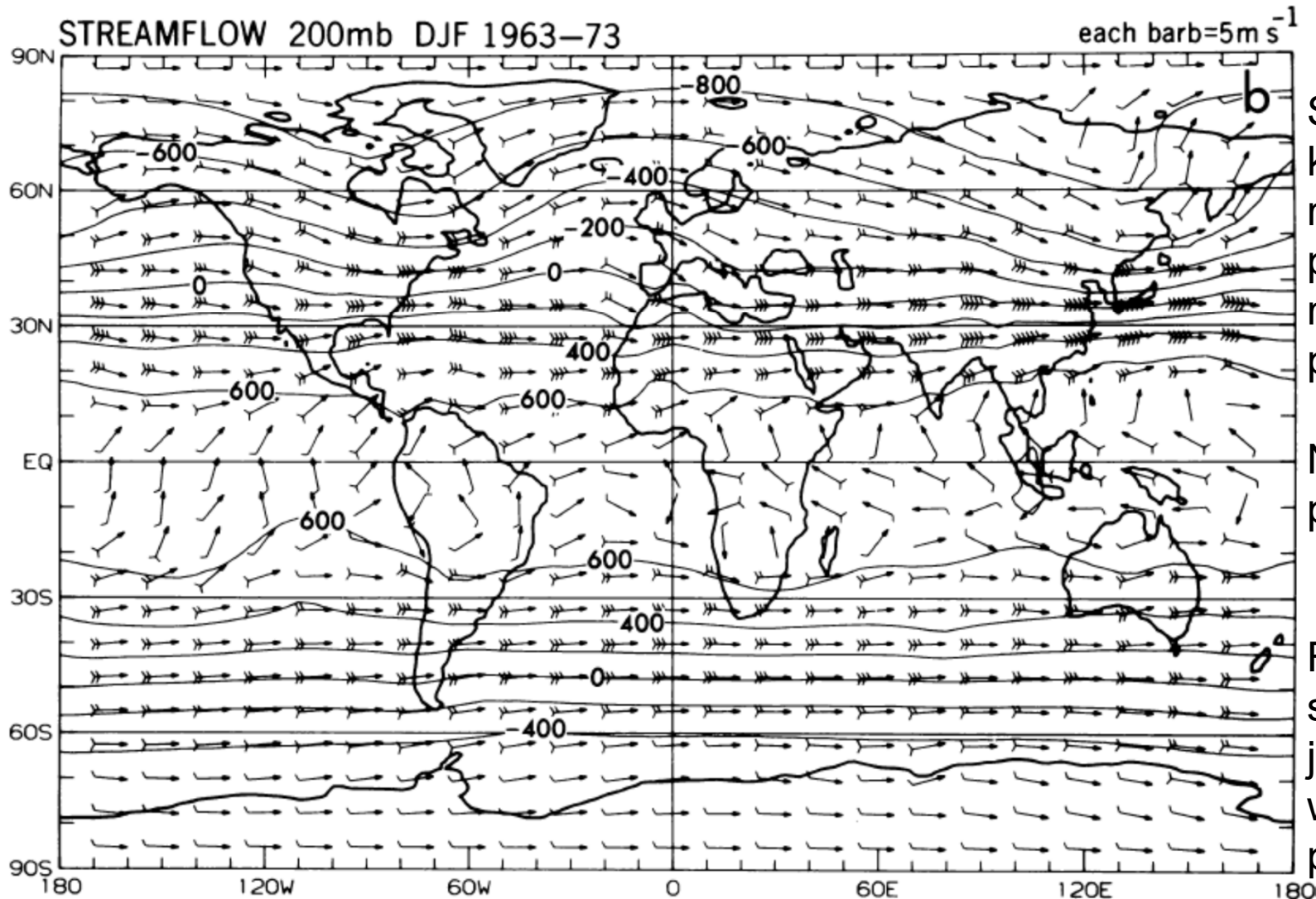


FIGURE 7.13b

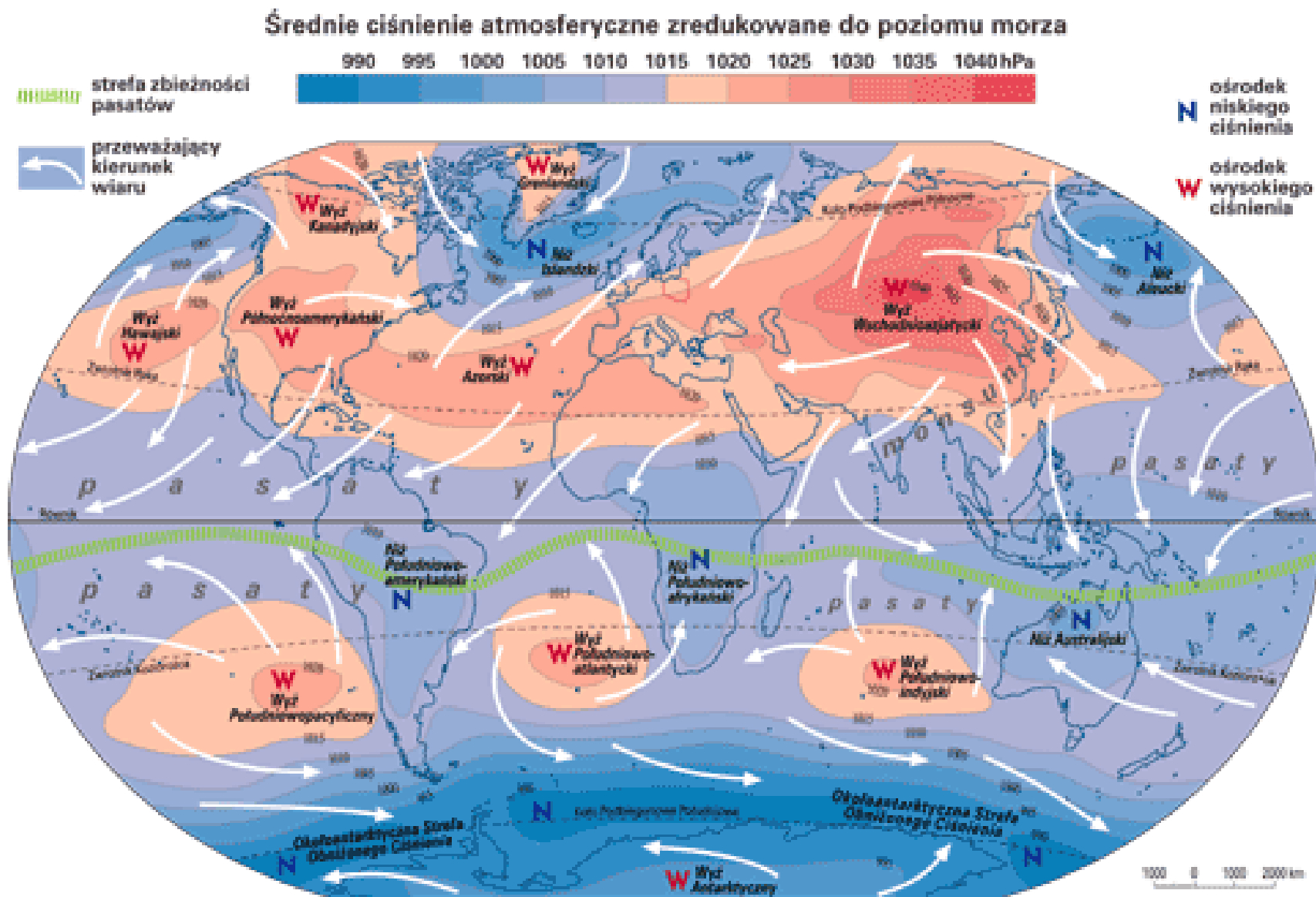
Spadające powietrze, które wzniosło się nad równikami ma większą prędkość wzdłuż równoleżnika niż powierzchnia ziemi

Nad równikiem powietrze wnosi się

Ruch na wschód spadającego powietrza jest znakomicie widoczny na półkuli południowej

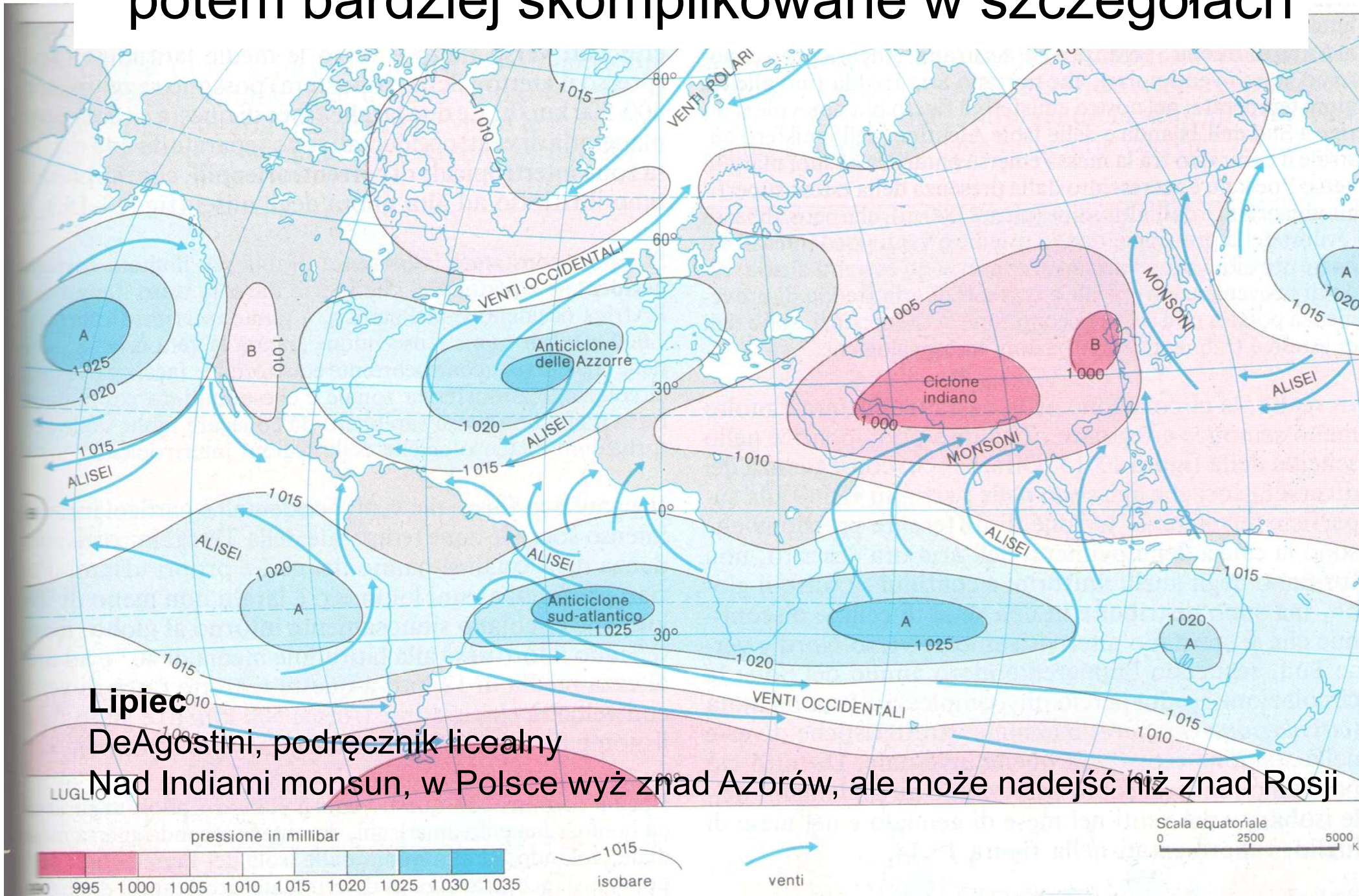
Obraz dotyczy zimy na półkuli północnej: widać przesunięcie stref na południe

Cyrkulacja powietrza - styczeń



Nad oceanem jest mnóstwo („100%”) pary wodnej, ale chmury się nie tworzą, bo nie ma zarodków kondensacji (pyłów). Nad wyspami para kondensuje w postaci chmur, a suche powietrze tworzy wyż baryczne. W rejonie Islandii spotykają się cztery, zimne wiatry

Atmosfera - cyrkulacja: proste mechanizmy, potem bardziej skomplikowane w szczegółach



Lipiec

DeAgostini, podręcznik licealny

Nad Indiami monsun, w Polsce wyż znad Azorów, ale może nadejść niż znad Rosji

Dlaczego wyże powstają nad Azorami i Hawajami?

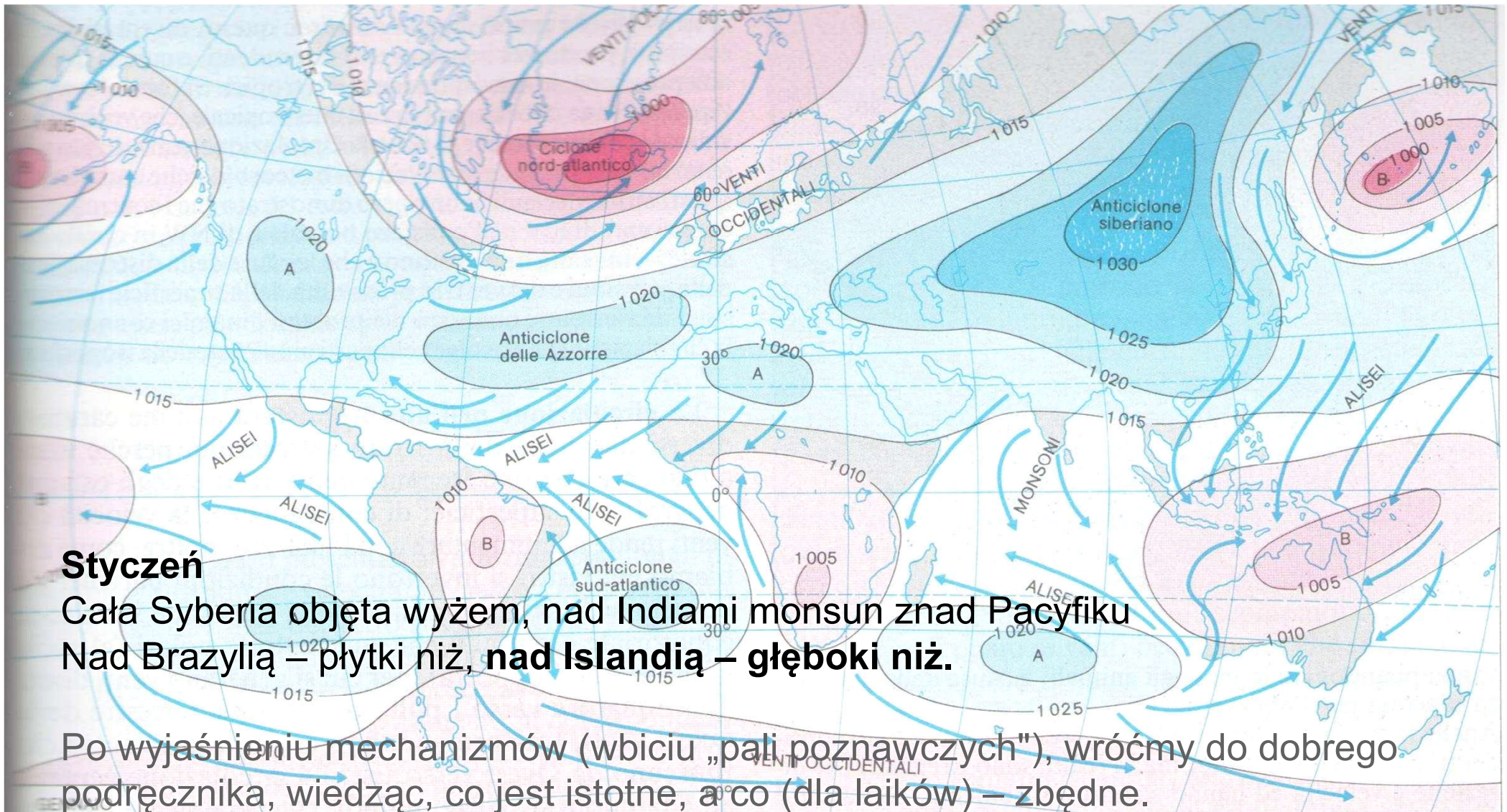


„Imagine you’re flying over the Atlantic. You’re flying at a cruising altitude of 10.6 km; below, the blue sea stretches to the horizon in every direction, with not a cloud in the sky. And ahead in the distance are mountains - a line of them maybe 500 or 600 kilometres long, thrusting into the air on a scale you’d normally associated with the Himalayas. But you’re in the middle of the Atlantic (or what used to be it, anyway). What *is* this?

According to the Guinness Book of Records, Mount Pico of the Azores is the highest underwater mountain face in the world. It’s part of the world’s biggest mountain chain, stretching a total of 65 000 km [?] along our sea floors.” (Mike Sowden)

<https://www.wheelandanchor.ca/2019/11/the-incredible-hidden-depths-of-the-azores-birthplace-of-the-west/>

Atmosfera - cyrkulacja: proste mechanizmy, potem bardziej skomplikowane w szczegółach



Styczeń

Cała Syberia objęta wyżem, nad Indiami monsun znad Pacyfiku
Nad Brazylią – płytki niż, nad Islandią – głęboki niż.

Po wyjaśnieniu mechanizmów (wbiciu „pałi poznawczych”), wróćmy do dobrego podręcznika, wiedząc, co jest istotne, a co (dla laików) – zbędne.



Intermezzo: Islandia – cztery pory roku?

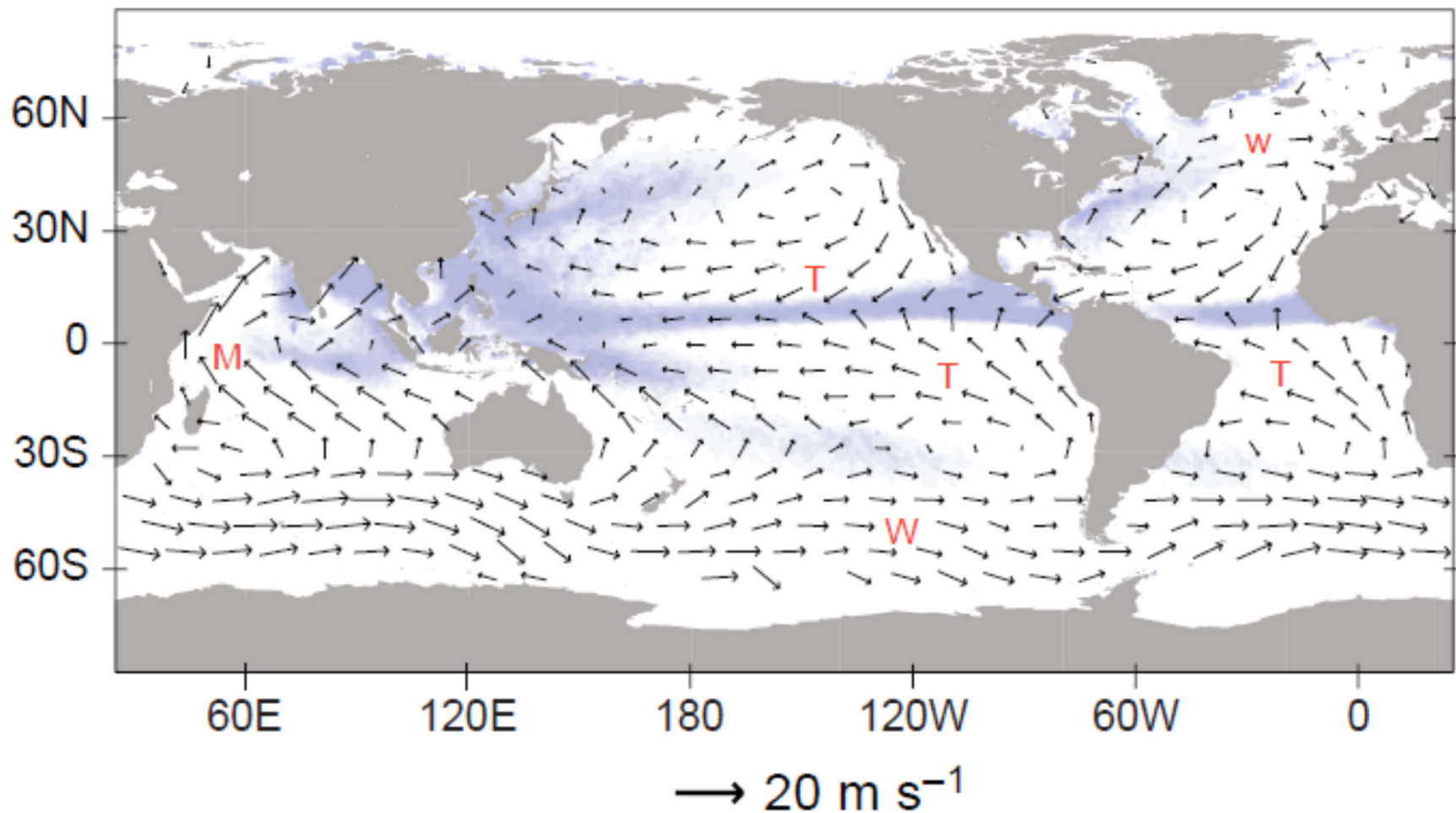


Lipiec – średnio 5-7 dni słonecznych, zima – max +4 do +7° C, min -2° do +1°C



Powinien tu być wyż, jak na Azorami. Ale jesteśmy na północnym Atlantyku, w „komórce Frenela”
<https://vislandii.com/en/guide/124-iceland-season-en>

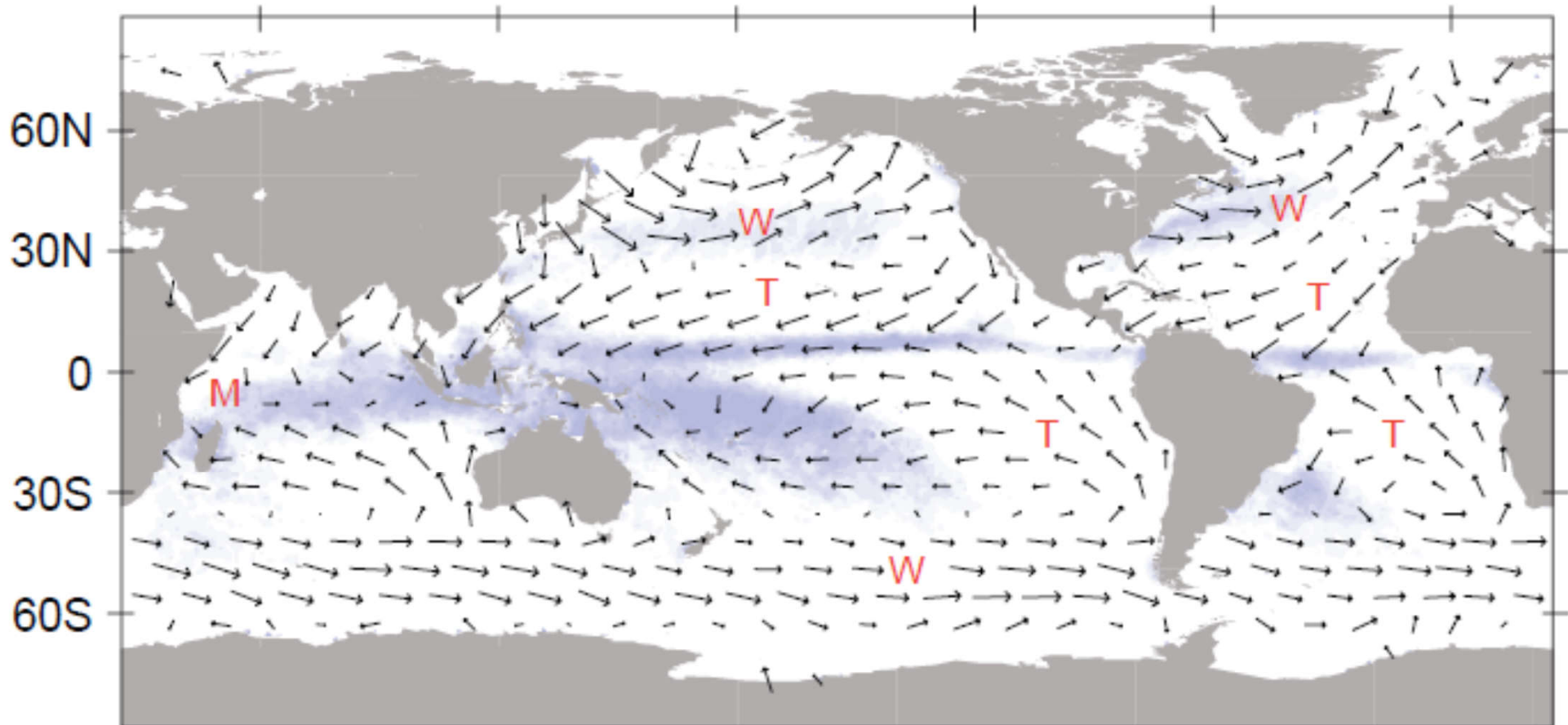
Cyrkulacja powietrza - JJA



January–February and June–July–August surface winds over the oceans based on 3 year

based on capillary wave on ocean surface, Atmospheric Science str., 17
blue = rains, T – Trade winds, M – monsoon W – westerly wind belts

Cyrkulacja powietrza – DJF, na powierzchni morza

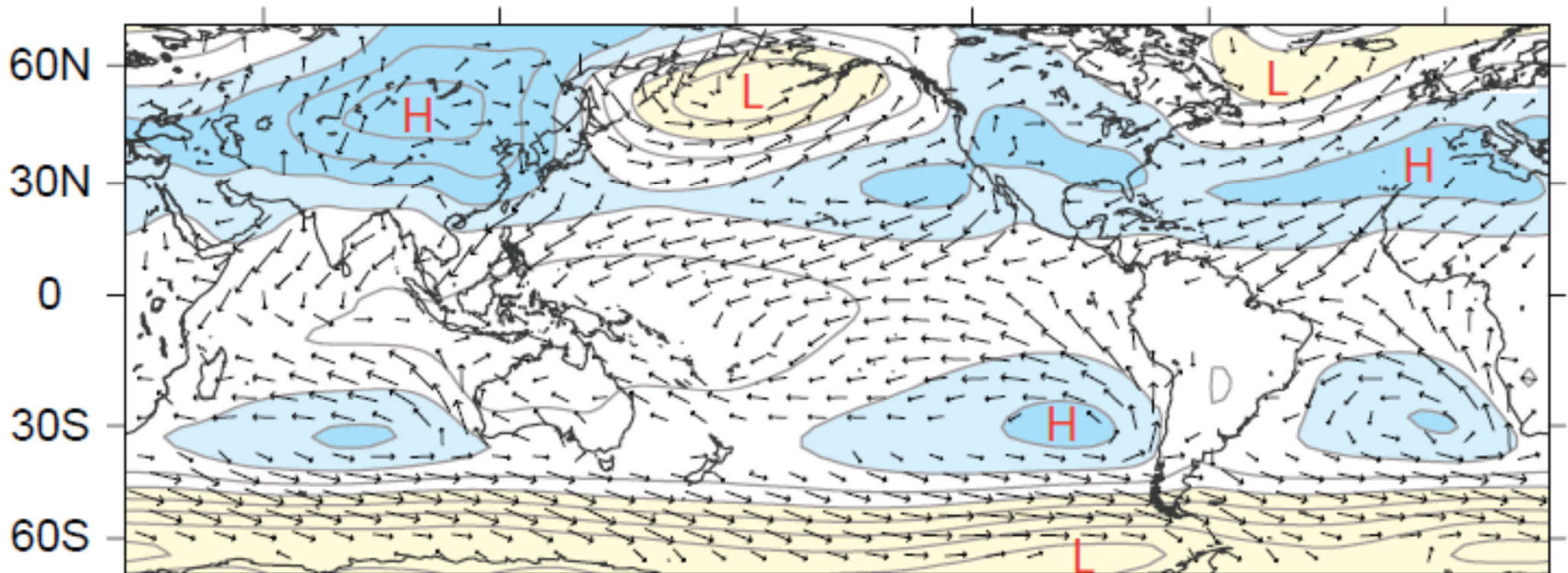


T – Trade winds, M – monsoon W – westerly wind belts

Wiatry zachodnie w strefie 40-50° są dobrze widoczne na półkuli południowej, gdzie nie ma kontynentów.

Based on capillary wave on ocean surface, Atmospheric Science str., 17, rys. 1.18

I jeszcze raz: wiatry i ciśnienie - DJF



Wiatry i ciśnienia (żółty poniżej 1000 hPa, niebieski – powyżej 1015 hPa,

Atmospheric Science str., 17, rys. 1.19

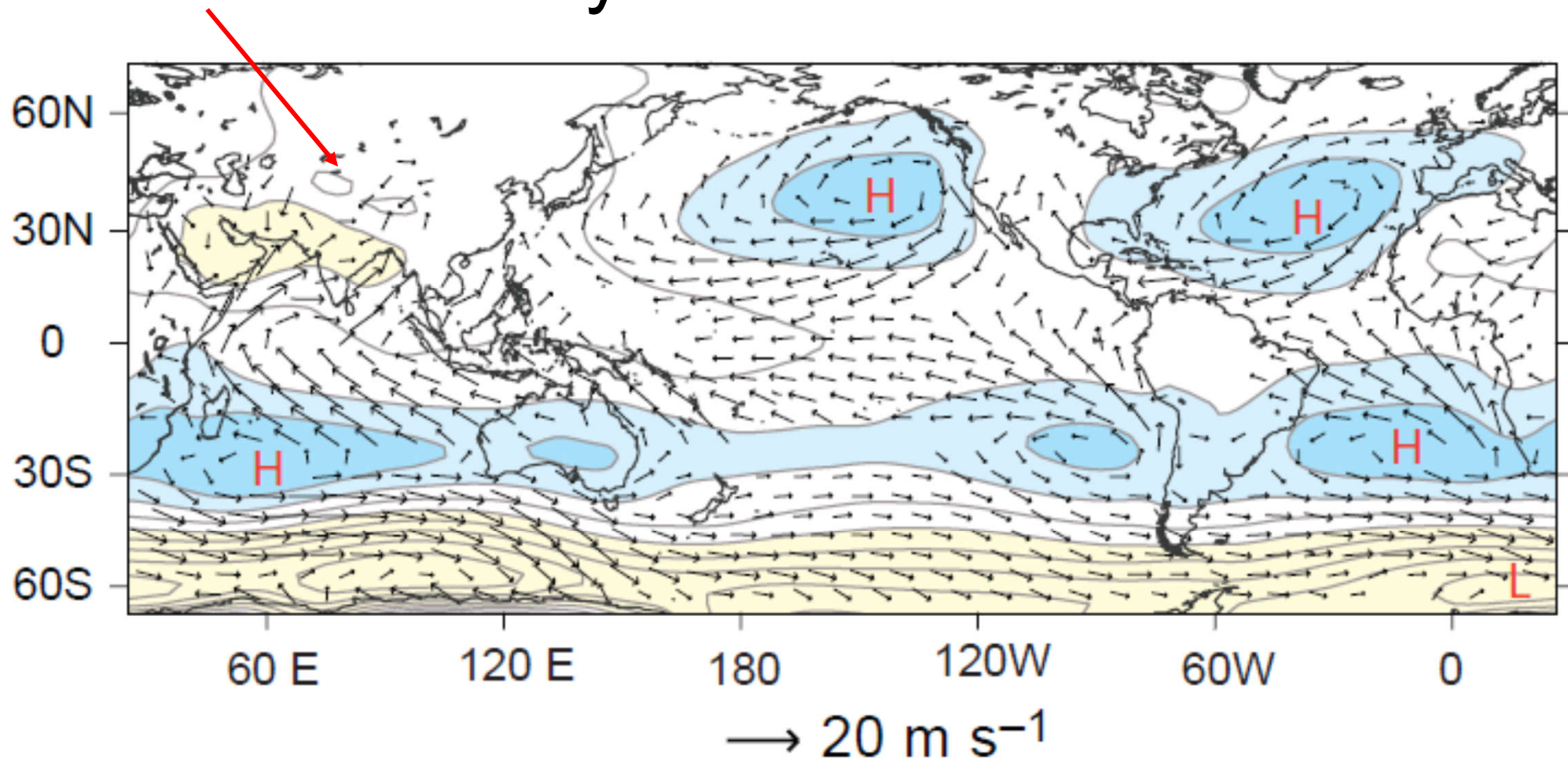
Zimą nad Europę napływa niżowe (wilgotne, a przez to „zimne”) powietrze z nad niżu północno-atlantyckiego. Podobny niż jest widoczny na północnym Pacyfiku.

Cyrkulacja powietrza wokół tych niżów jest „cyclonic”, czyli anti-clockwise

Nad Azorami „stacjonuje” wyż, z cyrkulacją anty-cyclonic (clock-wise)

Nad całą Syberią – silny wyż, z klasyczną cyrkulacją „azorską”

Wiatry i ciśnienie - JJA



Wiatry i ciśnienia (żółty poniżej 1000 hPa, niebieski – powyżej 1015 hPa, Atmospheric Science str., 17

Lato na półkuli północnej: zwracają uwagę wyż Azorski i Hawajski na półkuli północnej oraz wyż nad wyspą Św. Heleny (na Atlantyku).

Nad Indiami – niż i (mokry) wiatr znad Oceanu Indyjskiego (monsun),

nad Kazachstanem – niezbyt silny wyż i bezwietrznie

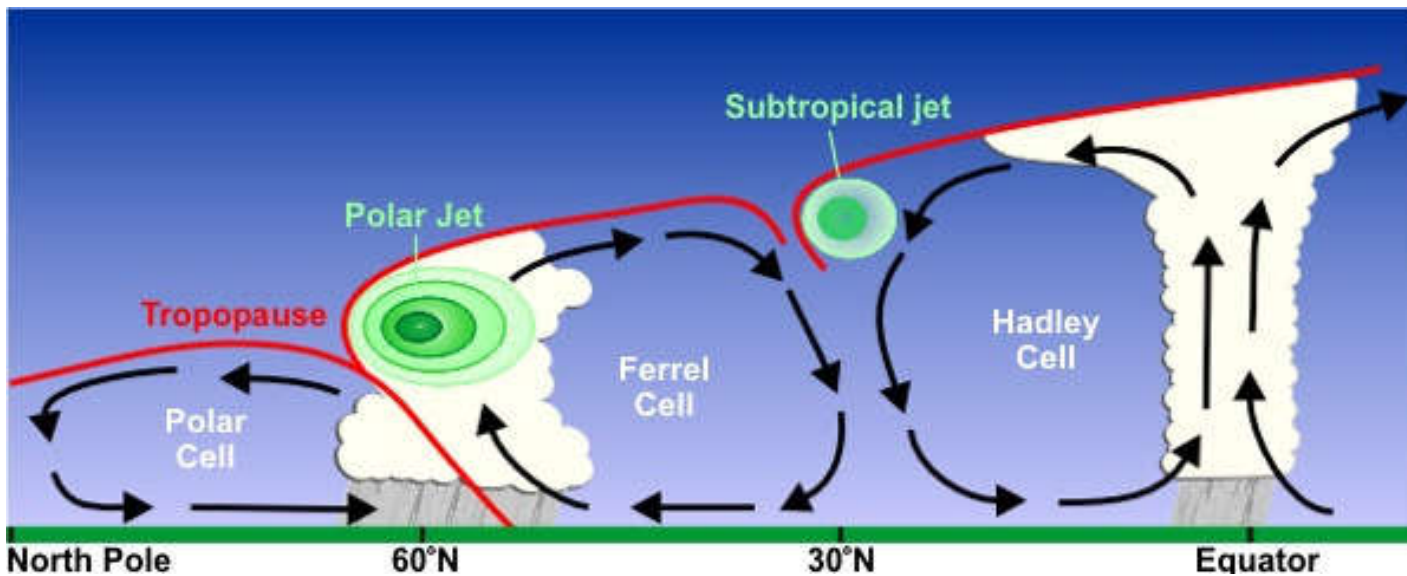
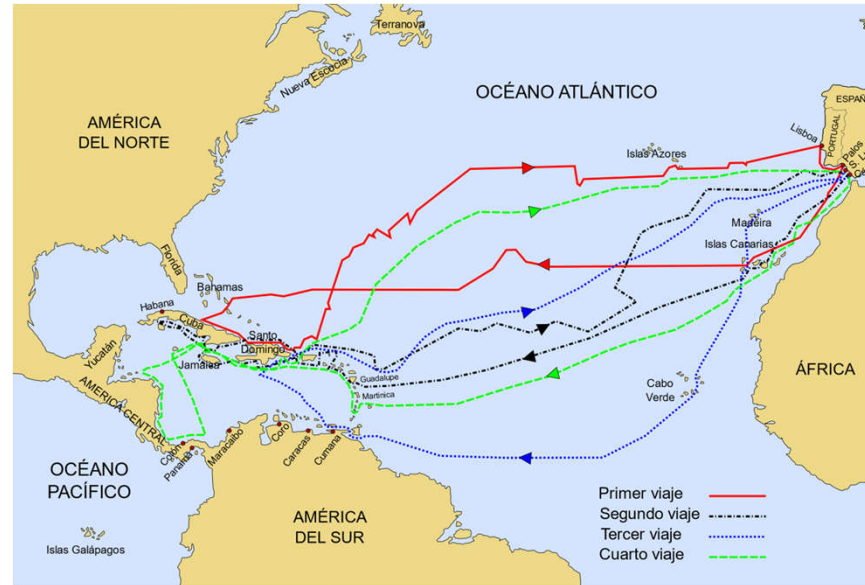
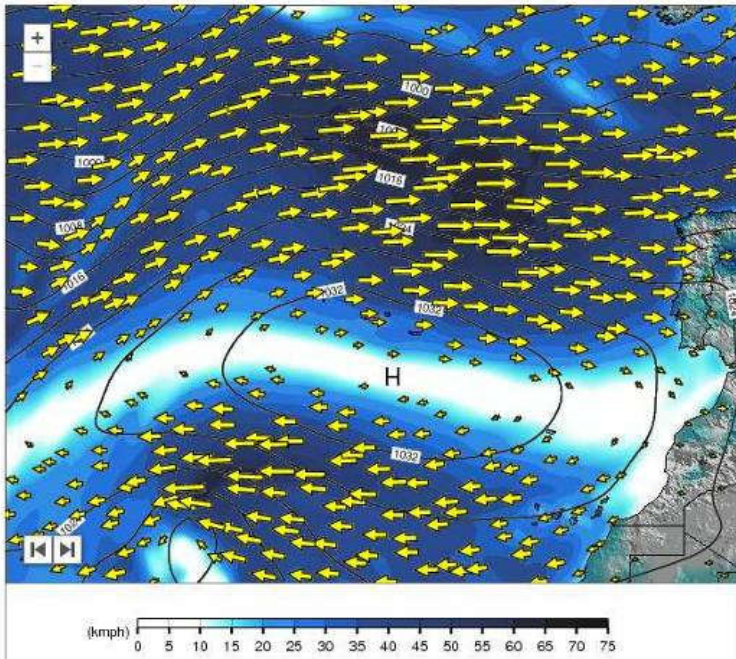
Kazachstan



A nad Kazachstanem, niezbyt wysoki wyż, altocumulusy, i prawie bezwietrznie
Wąwóz Charyn, 12/06/2024, 13:51 Foto Maria Karwasz

Do zapamiętania

Surface Wind on Monday 13 Jan at 11am AZOT



Proszę wyjaśnić, jakie mechanizmy rządzą kierunkami przedstawionych strzałek

Jowisz? Wszystko do odkrycia



The **Great Red Spot** is a persistent [high-pressure region](#) in the [atmosphere of Jupiter](#), producing an [anticyclonic storm](#) that is the largest in the [Solar System](#). It is the most recognizable feature on Jupiter, owing to its red-orange color whose origin is still unknown. Located 22 [degrees](#) south of [Jupiter's equator](#), it produces wind-speeds up to 432 km/h (268 mph). It was first observed in September 1831, with 60 recorded observations between then and 1878, when continuous observations began.^{[1][2]} A similar spot was observed from 1665 to 1713; if this is the same storm, it has existed for at least 359 years,^[3] but a study from 2024 suggests this is not the case.^[4]



Na Ziemi mechanizmem tropikalnych cyklonów jest parowanie (H_2O) ciepłego oceanu w atmosferze (ciężkiego) N_2 .

Na Jowiszu, jest to wyż, być może jako wynik kondensacji metanu (CH_4) w atmosferze lekkiego H_2 .