



II. Ziemia we wszechświecie

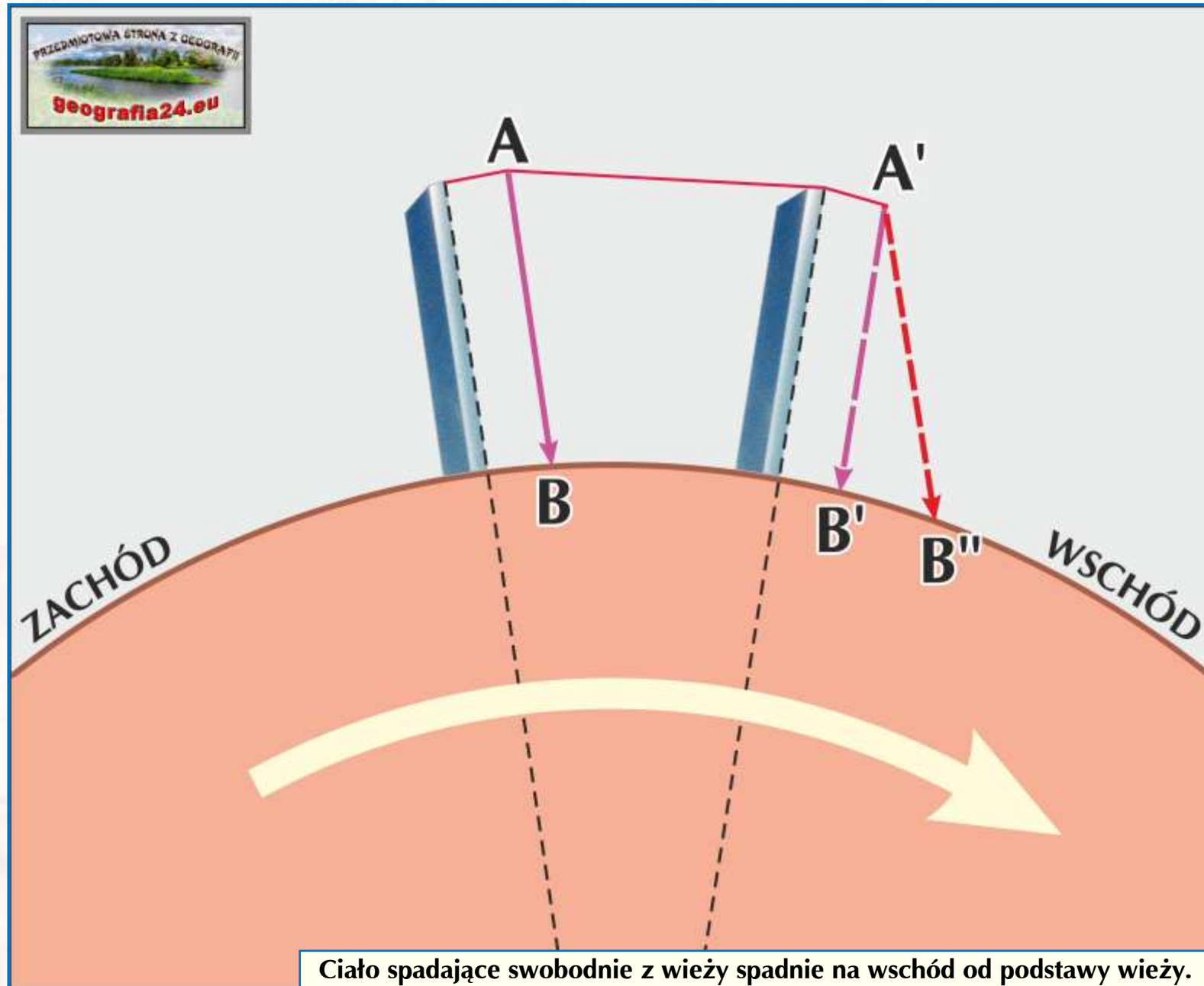
4. Ruch obrotowy Ziemi



Dowody na ruch obrotowy Ziemi

1. Odchylenie ciał swobodnie spadających z wieży

- Jednym z pierwszych dowodów na ruch obrotowy Ziemi było **doświadczenie, wykazujące odchylenie ciał swobodnie spadających z wieży**:
 - **gdy ciało zostanie zrzucone z wysokiej wieży, to nie spadnie ono u samej podstawy, lecz na wschód od niej.**
- Przyjęto, że jeżeli Ziemia obraca się wokół własnej osi, to wystąpią **różnice w prędkości liniowej podstawy i szczytu wieży**.
 - Szczyt wysokiej wieży pokonuje dłuższą drogę, ma zatem większą prędkość liniową.
 - Tę samą prędkość ma znajdujące się na szczycie wieży ciało.
 - Spadając, będzie się ono przemieszczało w kierunku podstawy, która ma mniejszą prędkość, a to oznacza, że spadające ciało wyprzedzi podstawę i spadnie na wschód od niej (przed nią).



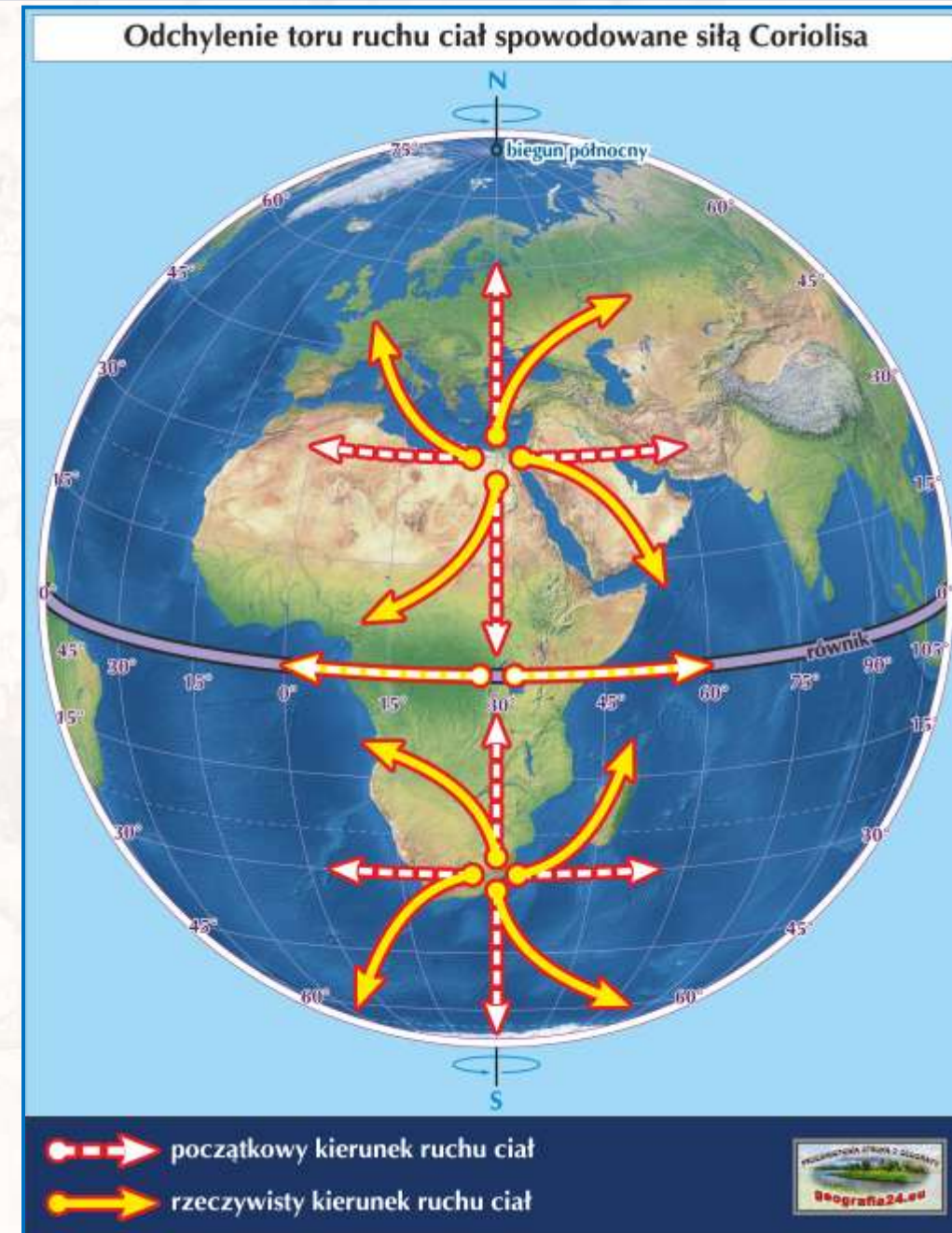
2. Doświadczenie wykonane przez J.B. Foucault'a

- Najlepszym dowodem na ruch obrotowy Ziemi jest **doświadczenie**, jakie przeprowadził w roku 1851 francuski fizyk **Jean Bernard Foucault**.
- Zawiesił on u szczytu kopuły paryskiego Panteonu (najwyższej wtedy budowli w Paryżu) na **długim** (67 m) **drucie ciężką metalową kulę armatnią** (28 kg), która mogła wykonywać **swobodnie ruchy wahadłowe** we wszystkich płaszczyznach.
- Gdyby Ziemia nie wykonywała ruchu obrotowego, płaszczyzna wahań nie zmieniałaby się.
 - Już po drugim wahnięciu płaszczyzna **wahania wykazała odstępstwo od wyznaczonej na posadzce Panteonu linii pierwszego wahnięcia**.
 - Płaszczyzna wahań **przemieściła się zgodnie z ruchem wskazówek zegara**.
 - Płaszczyzna wahań **powróciła do wyznaczonej płaszczyzny po 32 godzinach**.
- Gdybyśmy wahadło Foucaulta umieścili dokładnie **nad biegunem**, a punkt jego zawieszenia znajdowałby się **na osi obrotu Ziemi**, to pod płaszczyzną wahań przesuwająby się **południki**.
- Płaszczyzna wahań **dokonałaby pełnego obrotu w ciągu doby**.



3. Odchylenie toru ciał będących w ruchu – siła Coriolisa

- Jeszcze innym dowodem na ruch obrotowy Ziemi jest **odchylenie ciał poruszających się od równika**:
 - na półkuli północnej w prawo,
 - na półkuli południowej w lewo.
- Stanowi to efekt znanej z fizyki **siły Coriolisa**, która wynika z **różnic prędkości liniowych punktów leżących na różnych szerokościach geograficznych**.
- Aby to lepiej unaocznić, wyobraźmy sobie, że na równiku znajduje się działo artyleryjskie, z którego oddajemy strzał w kierunku północnym.
 - W wyniku siły Coriolisa pocisk zboczy na prawo.
 - Dzieje się tak dlatego, że prędkość liniowa punktu, z którego pocisk został wystrzelony, jest większa od prędkości liniowej obszarów, w kierunku których ten pocisk zmierza.
 - Dlatego w rezultacie zboczy na prawo.
 - Działanie siły Coriolisa uwzględnia się podczas obliczania torów lotów pocisków artyleryjskich oraz rakiet dalekiego zasięgu.
 - I tak pocisk wystrzelony z 50 stopnia szerokości geograficznej północnej lecący z przeciętną prędkością poziomą 1800 m/s w kierunku południkowym (na północ lub na południe), w ciągu 20 sekund lotu (na 36 km) zboczy o około 40 metrów od celu.



4. Pozorna wędrówka sfery niebieskiej i innych ciał

- Najbardziej widocznym świadectwem **ruchu obrotowego** jest **pozorna wędrówka sfery niebieskiej i wszystkich ciał niebieskich ze wschodu na zachód**,
 - czyli **przeciwnie do ruchu obrotowego samej Ziemi** (ruch ten odbywa się z zachodu na wschód).
- Dotyczy to m.in. wszystkich widocznych na naszym niebie gwiazd oraz Księżyca.
- Nie zmieniają swojego położenia jedynie dwa obiekty na naszym niebie (miejsca przecięcia się osi ziemskiej ze sferą niebieską):
 - **północny biegun niebieski** (bardzo blisko niego położona jest **Gwiazda Polarna**),
 - **południowy biegun niebieski** (w gwiazdozbiorze Oktanta).



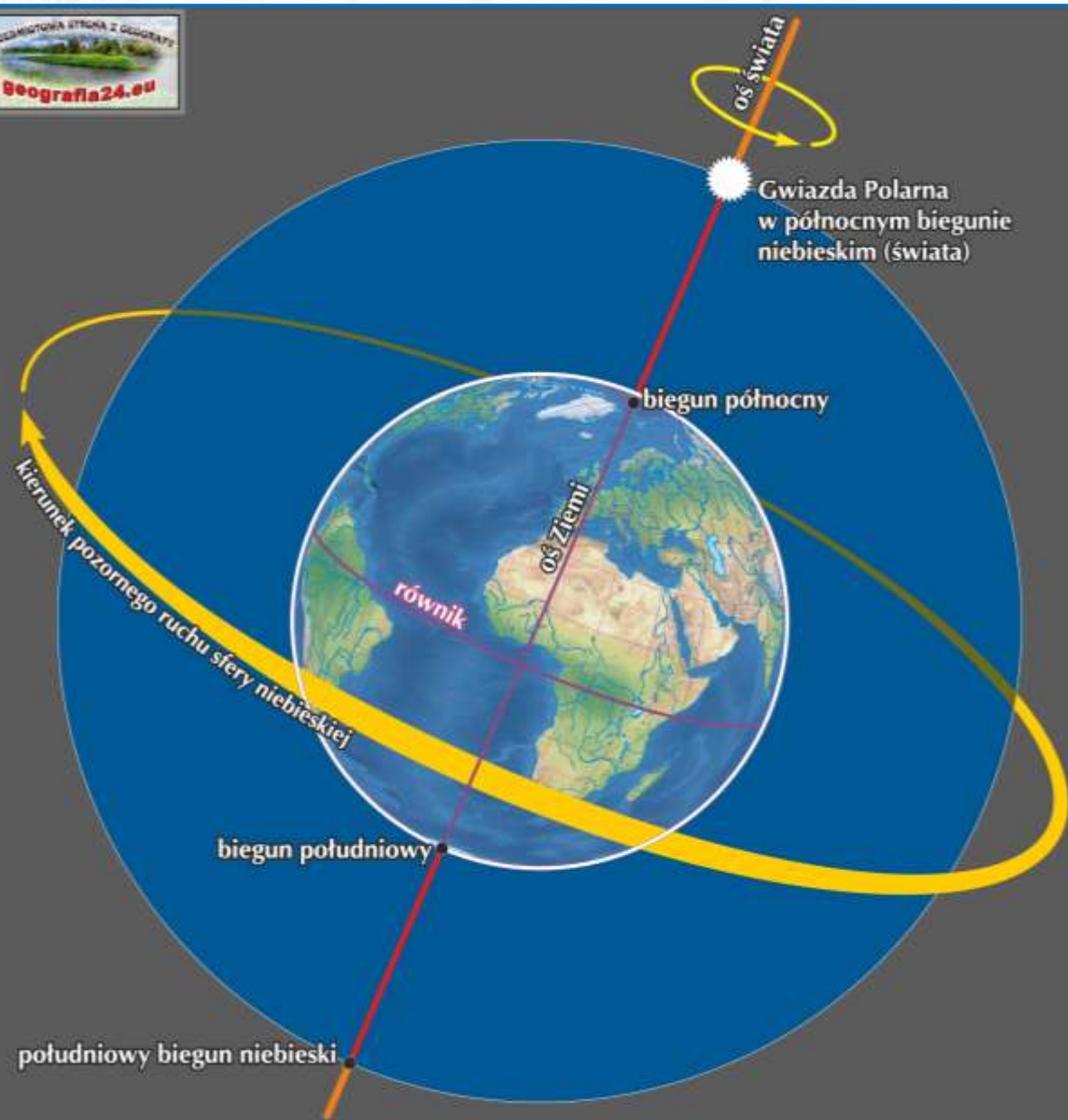
Ślady widomego ruchu gwiazd powstałe w wyniku długiego naświetlania



Parametry ruchu obrotowego Ziemi

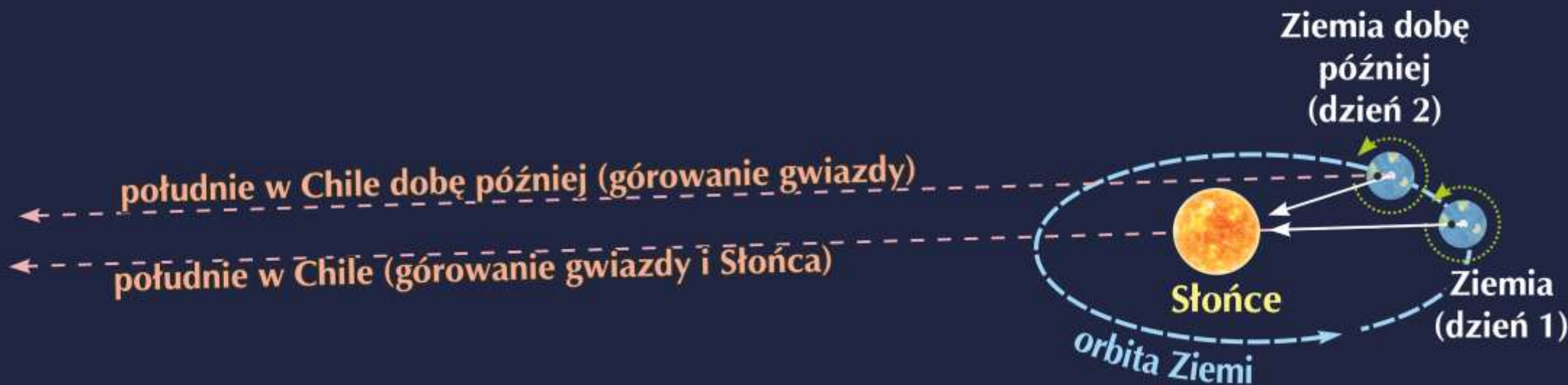
Ruch obrotowy Ziemi i sfery niebieskiej

- Ziemia **obraca się wokół własnej osi z zachodu na wschód** (przeciwnie do ruchu wskazówek zegara).
- **Ruch sfery niebieskiej** (dla obserwatora znajdującego się na Ziemi jest on pozorny) widzimy jednak w przeciwnym kierunku – **ze wschodu na zachód**.



Doba – pełen obrót Ziemi wokół osi: doba gwiazdowa

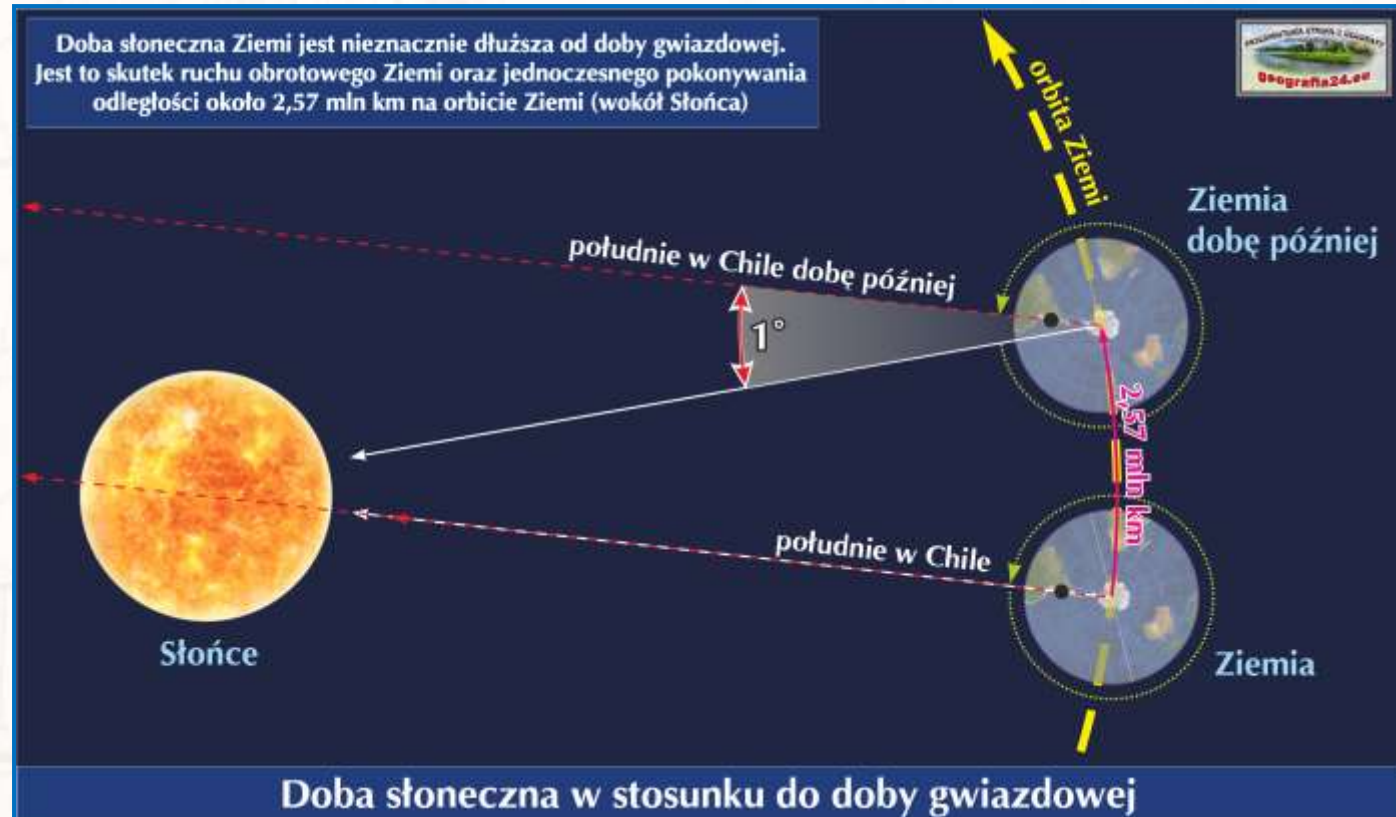
- **Doba gwiazdowa (doba syderyczna)** – odpowiada rzeczywistemu czasowi obrotu Ziemi wokół własnej osi i definiowana jest jako czas pomiędzy dwoma kolejnymi górowaniami punktu Barana (mogą to być też dwa kolejne górowania dowolnej gwiazdy oprócz Słońca, które jest zbyt blisko Ziemi aby wynik był prawidłowy).
 - Wynosi ona **23 godziny 56 minut i 4 sekundy**.
 - **Ulega wydłużeniu o około 0,001 sekundy na stulecie** (w starszym paleozoiku wynosiła tylko 21 godzin).



Doba gwiazdowa (23 godzin, 56 minut i 4 sekundy)

Doba – pełen obrót Ziemi wokół osi: doba słoneczna

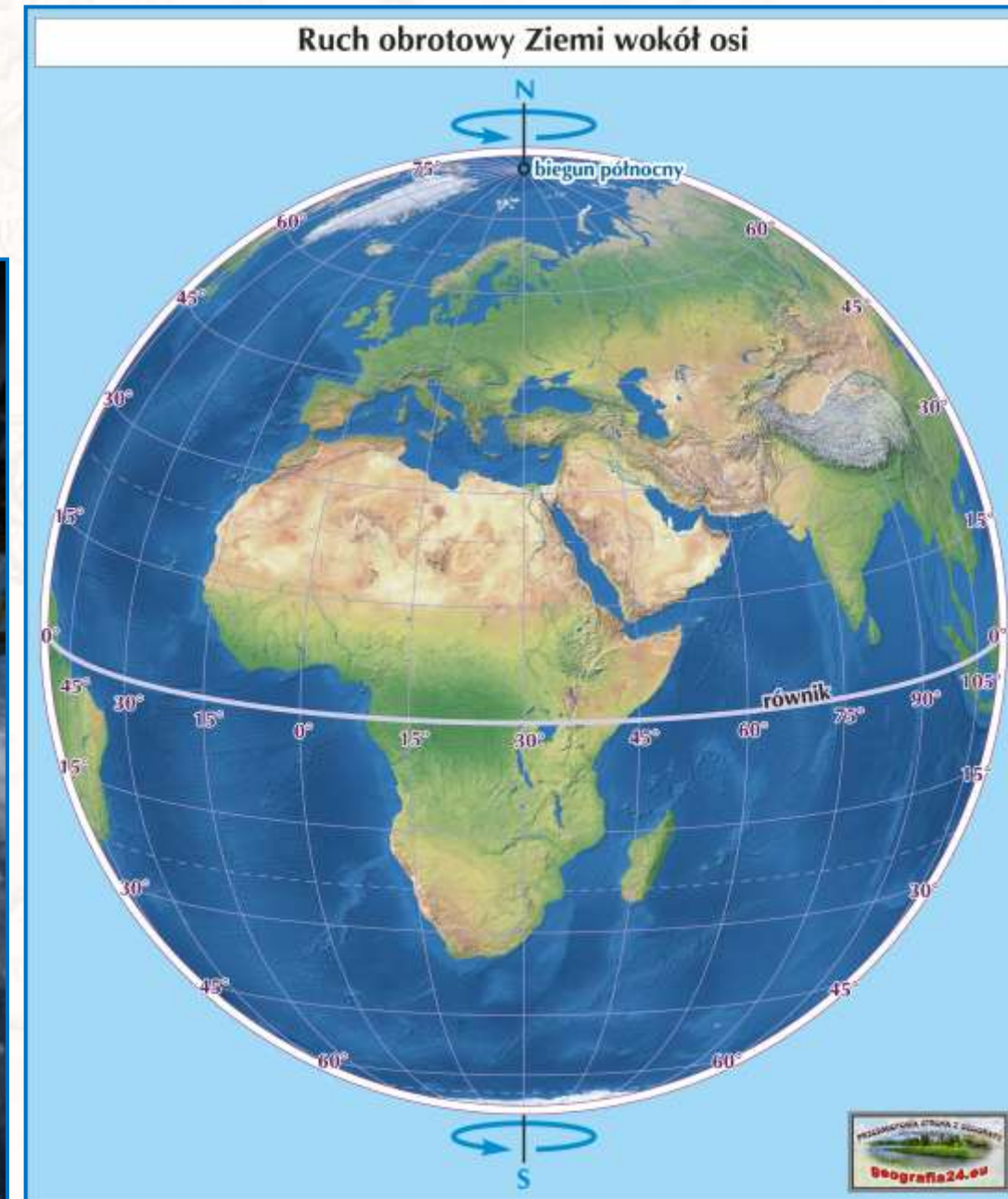
- **Dobę słoneczną** – wyznacza **odstęp czasu pomiędzy dwoma kolejnymi górowaniami Słońca**.
- Mierzy się ją od jednej kulminacji górnej środka tarczy słonecznej do kolejnej.
- Ponieważ w życiu codziennym bardzo kłopotliwe byłoby zmienianie daty w południe, ustalono, że w kalendarzu dobę będzie się liczyło **od jednego dołowania Słońca do drugiego – doba cywilna**.
- Położenie Słońca poniżej horyzontu jest niemożliwe do zaobserwowania, ale moment dołowania wyznacza się przez opozycję wobec dającego się zaobserwować górowania.
- Kolejną trudność stanowiła niejednostajność ruchu Słońca po sklepieniu niebieskim, wynikająca z eliptycznego kształtu orbity ziemskiej (różnica w obrocie Ziemi w ciągu roku wynosi + 1 minuta).
- Wprowadzono zatem **dobę średnią słoneczną**.
 - **Średnia doba słoneczna wynosi około 24 godzin** – jest ona tym samym dłuższa prawie 4 minuty od doby gwiazdowej.



Pomiędzy jednym południem (górowaniem) a następnym Ziemia względem Słońca musi wykonać obrót o kąt 360° (doba gwiazdowa) plus dodatkowe 1° (wynika to z ruchu Ziemi po orbicie wokół Słońca). Skutkuje to tym, że w ciągu roku Ziemia wykonuje jeden dodatkowy obrót wokół własnej osi.

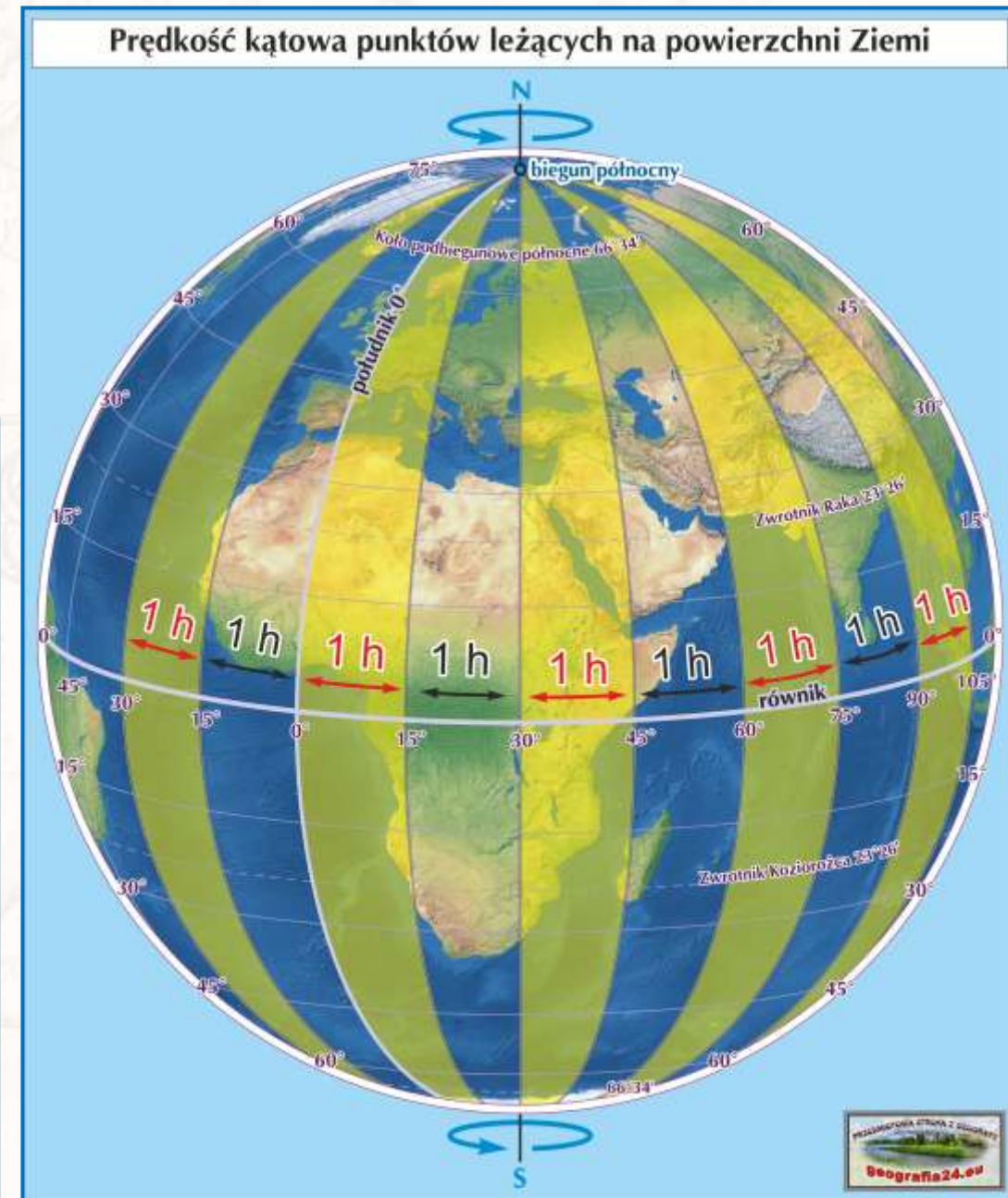
Prędkość Ziemi w ruchu obrotowym, czyli wokół własnej osi

- **Prędkość**, z jaką Ziemia wykonuje **w ruchu obrotowym**, czyli **wokół własnej osi**, możemy wyrazić jako:
 - **prędkość liniowa**,
 - **prędkość kątową**.



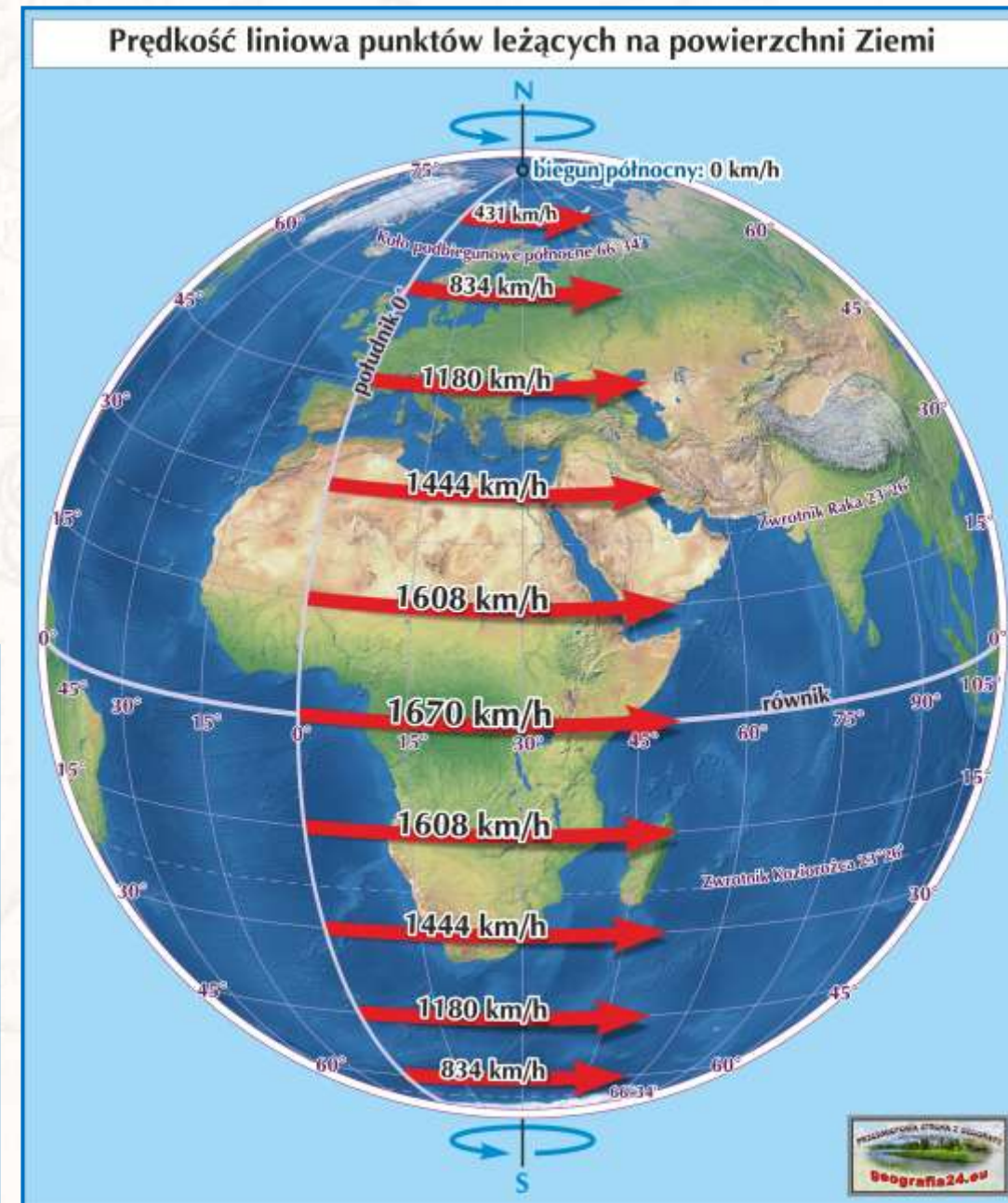
Prędkość kątowna punktów leżących na powierzchni Ziemi

- **Prędkość kątowna** – kąt, o jaki przesunie się punkt na powierzchni Ziemi w jednostce czasu.
- Prędkość ta jest **stała** dla wszystkich punktów na Ziemi poza biegunami (one są "nieruchome").
- Pełen kąt zatoczy Ziemia w ciągu 24 godzin.
- A zatem: $360^\circ : 24 \text{ h} = 15^\circ/\text{h}$, czyli $15^\circ/60 \text{ min}$.
- Możemy oczywiście dalej policzyć, np.: $1^\circ/4 \text{ min}$ oraz $1'/4 \text{ sek}$.



Prędkość liniowa punktów leżących na powierzchni Ziemi

- **Prędkość liniowa** – oznacza drogę, jaką pokona punkt na powierzchni Ziemi w jednostce czasu.
 - Prędkość ta przez człowieka nie jest odczuwana, ponieważ wraz z Ziemią wszystko porusza z identyczną prędkością.
- Ten parametr jest **zmienny** – największy na równiku, **malejący w miarę zbliżania się do biegunów**, i tak prędkość liniowa punktów wynosi odpowiednio:
 - **na równiku** – około **1669,8 km/h**,
 - możemy to sami obliczyć: $40\,075 \text{ km} : 24 \text{ h} = 1669,8 \text{ km/h}$,
 - **na równoleżniku 50°** – około **1100 km/h** (dokładnie 1072 km/h),
 - **na biegunach** wynosi **0 km/h** (są one “nieruchome”).

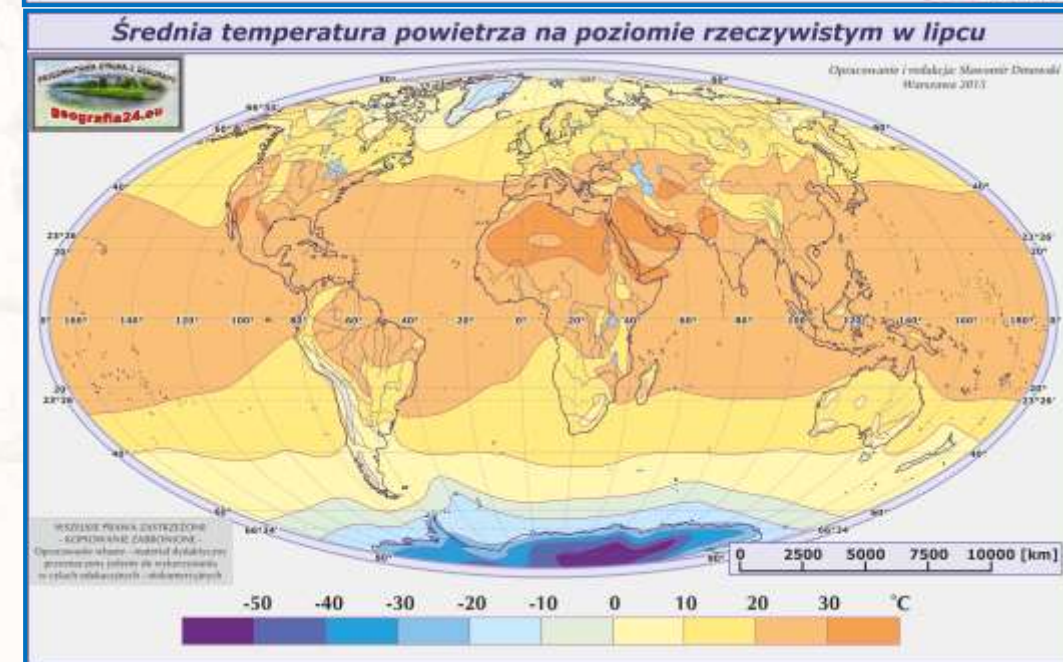
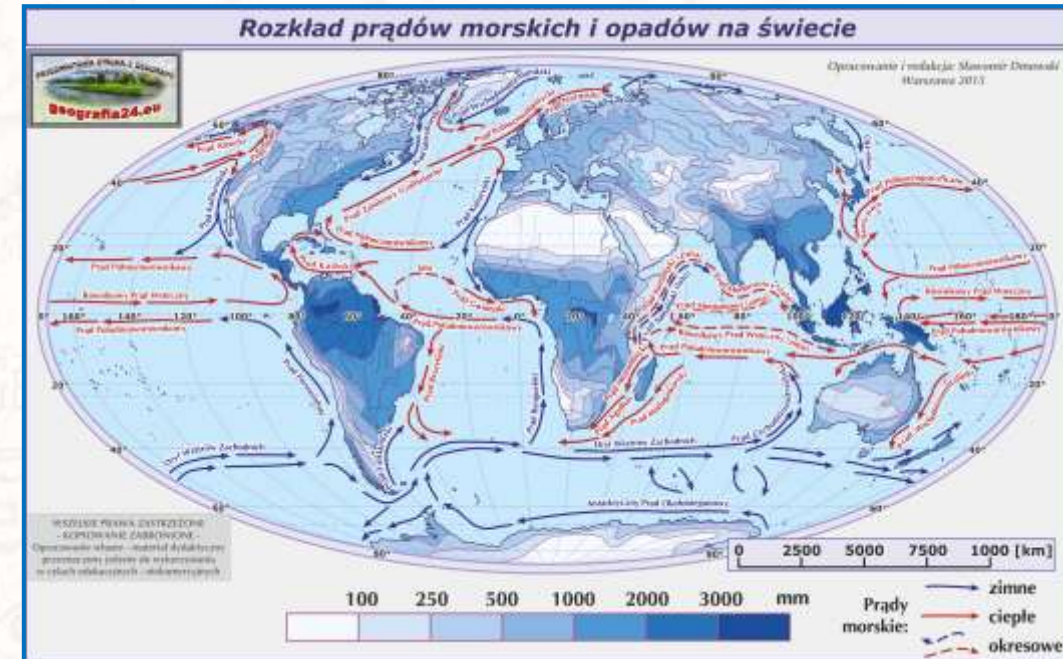




Konsekwencje (następstwa) ruchu obrotowego

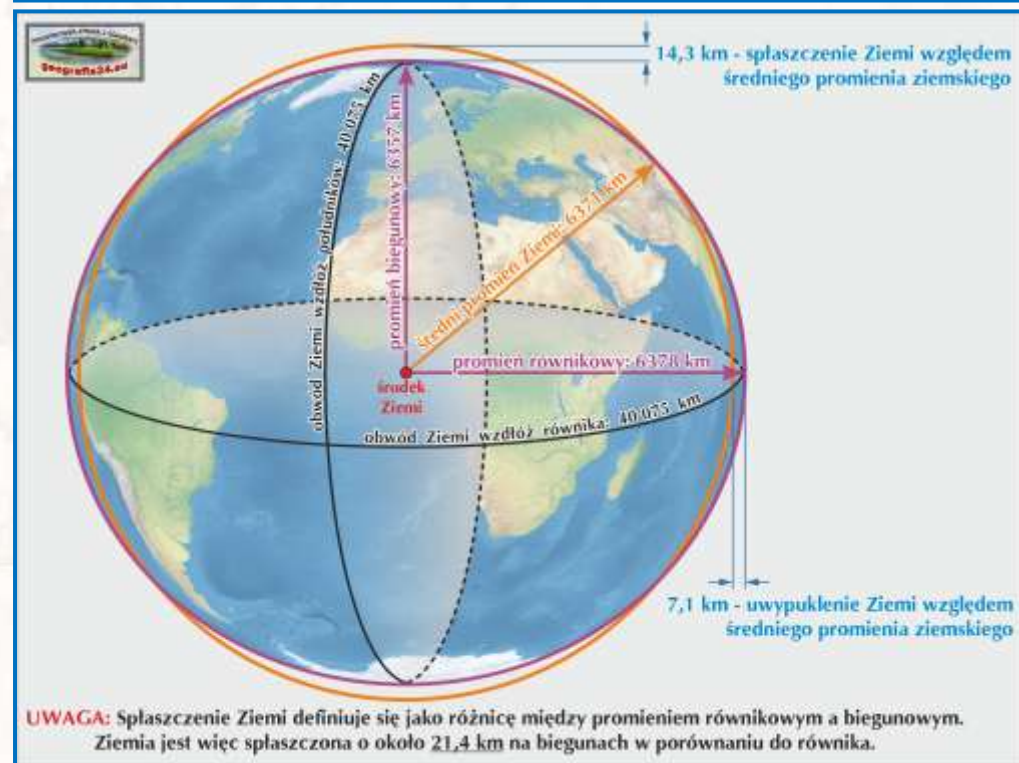
Najważniejsze konsekwencje ruchu obrotowego Ziemi

- Do **najważniejszych konsekwencji (następstw) ruchu obrotowego Ziemi (z zachodu na wschód)** należą:
 - **odchylenie ciał swobodnie spadających zgodnie z kierunkiem ruchu – spadają one na wschód od pionu,**
 - **obrót wahadła Foucaulta,**
 - **siła Coriolisa**, wpływająca m.in. na ciała/obiekty będące w ruchu:
 - **ruch wody spływającej w zlewie,**
 - **na naszej półkuli przeciwnie do wskazówek zegara,**
 - **silniejsze podcinanie na naszej półkuli prawych brzegów rzek,**
 - **lewych na półkuli południowej,**
 - **szybsze niszczenie prawej szyny na torach biegnących w kierunku północnym,**
 - **odchylenia pasatów,**
 - **odchylenie prądów morskich,**
 - **różnice klimatyczne:**
 - **lądy obmywane ciepłymi prądami mają klimat łagodniejszy od lądów obmywanych przez prądy zimne.**



Pozostałe konsekwencje ruchu obrotowego Ziemi

- Do innych **konsekwencji ruchu obrotowego** zaliczyć można:
 - **pozorna wędrówka sfery niebieskiej i wszystkich ciał niebieskich ze wschodu na zachód (w ciągu doby)**, która wpływa na:
 - następstwo po sobie dnia i nocy,
 - różnice czasu słonecznego (miejscowego),
 - wschody, górowania i zachody różnych ciał niebieskich (w tym Słońca),
 - zmiany wysokości słońca nad horyzontem, która wpływa m.in. na:
 - ilość energii docierającej do powierzchni Ziemi, która z kolei wpływa na:
 - kształtowanie się temperatury, opadów, ciśnienia, wiatrów,
 - dobową aktywność życiową organizmów (także i człowieka),
 - **działanie siły odśrodkowej**, powoduje m.in.:
 - uwypuklenie Ziemi w strefie równikowej i spłaszczenie Ziemi w okolicach biegunowych,
 - zwiększenie grubości troposfery nad równikiem i zredukowanie nad biegunami,
 - **przemieszczanie się fali pływowej** (ale tylko przemieszczanie, przyczyną pływów są bowiem grawitacyjne oddziaływania Księżyca i Słońca oraz siła odśrodkowa).



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -