

ELEMENTY GEOFIZYKI

Magnetyzm

W. Dębski

2010

Plan wykładu z geofizyki (Geomagnetyzm)

1. Magnetyzm ziemski

- ♦ pole magnetyczne Ziemi,
- ♦ wędrówka biegunów magnetycznych i teoria Wegenera
- ♦ inwersja pola magnetycznego
- ♦ model dynama
- ♦ pole magnetyczne Ziemi a środowisko

Pole magnetyczne Ziemi - pierwsze fakty

- ♦ legendy Chińskie (2600 BC) o magicznych wozach wskazujących południe
- ♦ pierwsze wzmianki o polu magnetycznym Ziemi *De Naturis Rerum* ok. 1190r. AD.
- ♦ odkrycie deklinacji i inklinacji (Kolumb 1492r. ?)
- ♦ W. Gilbert *De Magnet* - 1600r. idea pola magnetycznego Ziemi
- ♦ wiekowe zmiany pola geomagnetycznego -H. Gellibrand (1633)

Pole magnetyczne Ziemi - Gauss

- ♦ praca Gaussa: *Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus*
- ♦ konstruowanie magnetometru
- ♦ pierwszy międzynarodowy projekt geofizyczny
- ♦ “nowoczesna” analiza danych pomiarowych

Pierwsze zastosowania - kompas



Magnetometry



Odkrycia XX wiek

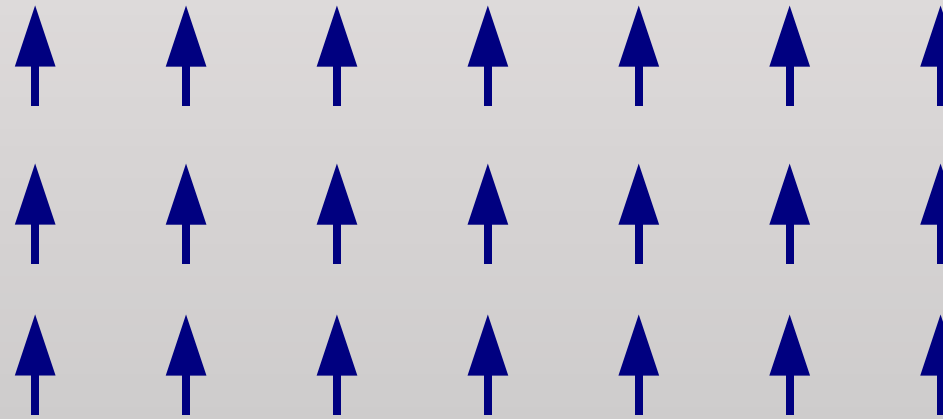
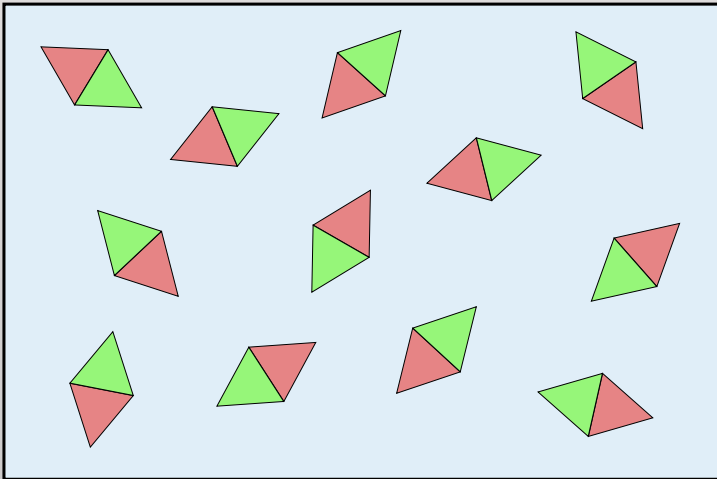
- ♦ inwersja pola geomagnetycznego
- ♦ wielkoskalowy ruch kontynentów w skali geologicznej
- ♦ zastosowanie technik paleomagnetyzmu do badań środowiskowych
- ♦ pogoda kosmiczna

Pozostałość magnetyczna skał

Skały wulkaniczne zawierają minerały magnetyczne, które schładzane “zapamiętują” w postaci stałego namagnesowania wartość i kierunek magnetycznego pola ziemskiego. Jest to efektem tego, że roztopiona magma osiągając temperaturę Curie podlega przejściu fazowemu ferromagnetyk $\Rightarrow$ paramagnetyk w wyniku “zamrożenia” ruchu domen magnetycznych.



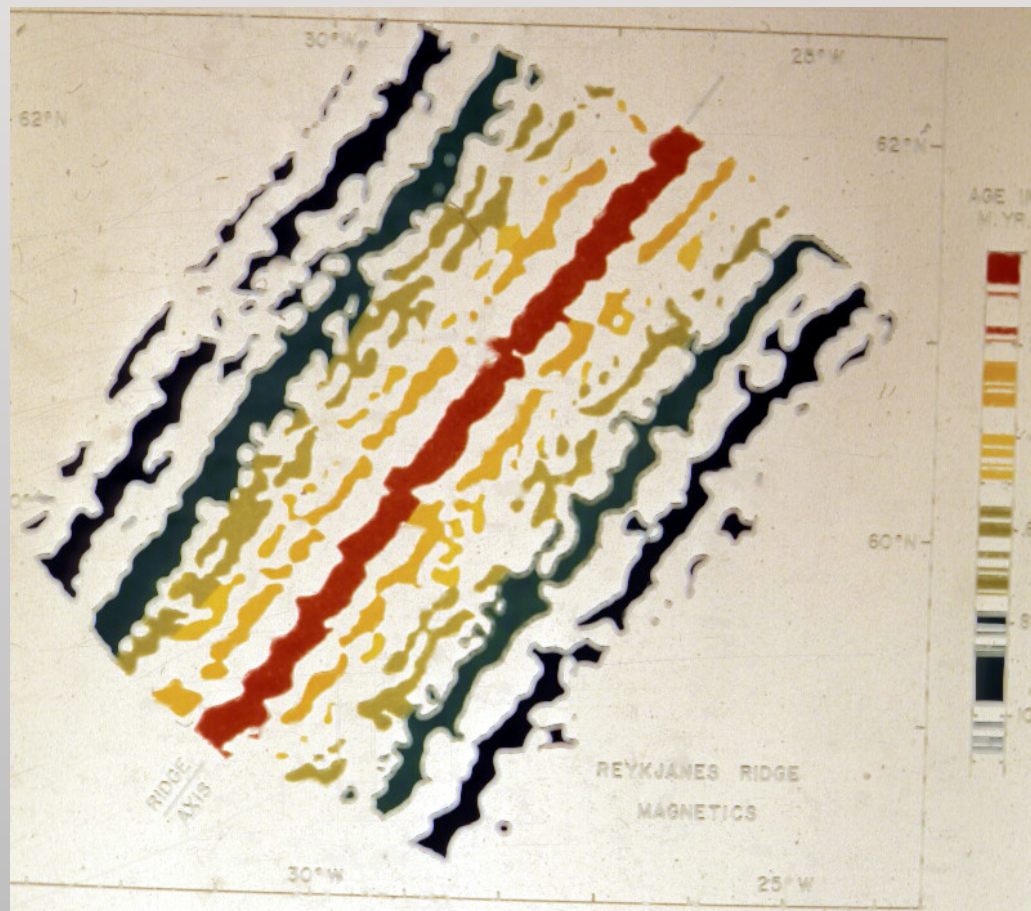
Pozostałość magnetyczna skał



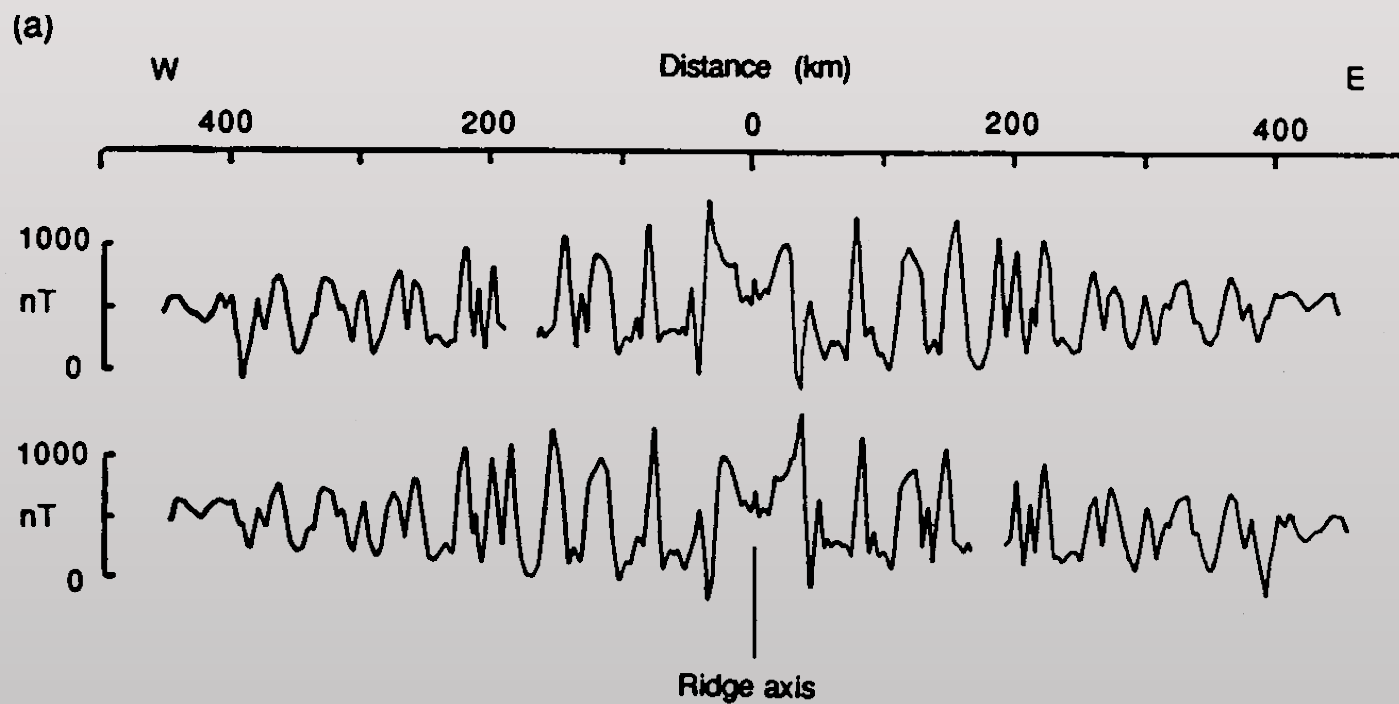
Temperatura-Curie

Material	Temp. Curie [C]
Żelazo (Fe)	770
Kobalt (Co)	1130
Nikiel (Ni)	358
Tlenki żelaza	622

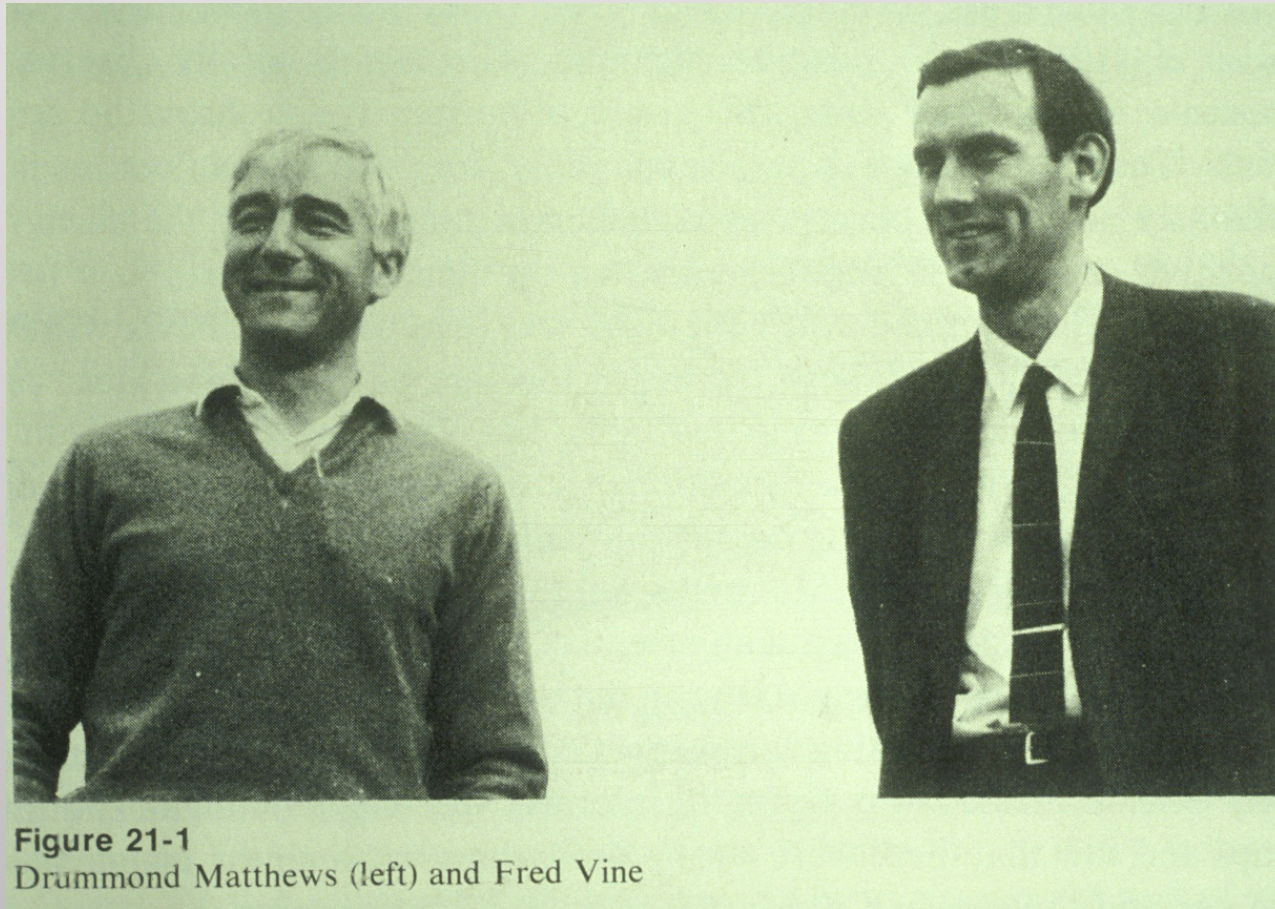
Odkrycie 1. Grzbiet środkowo atlantycki



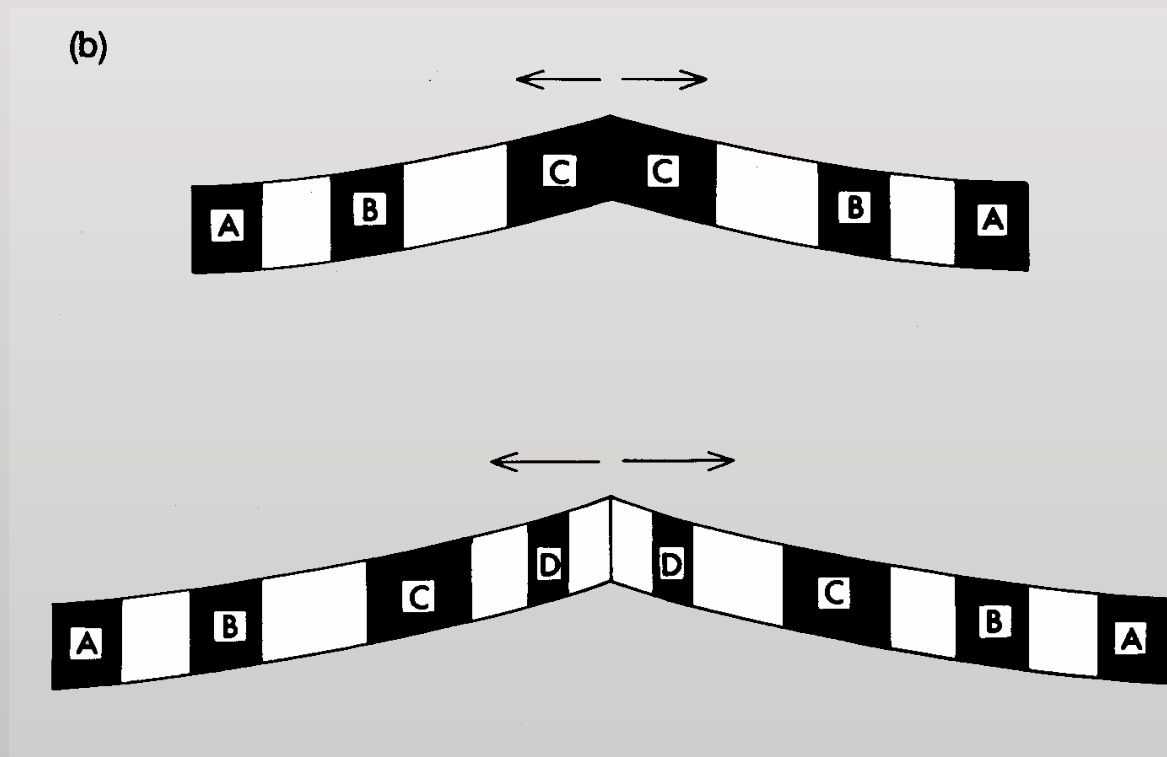
Odkrycie 1. Grzbiet środkowo atlantycki



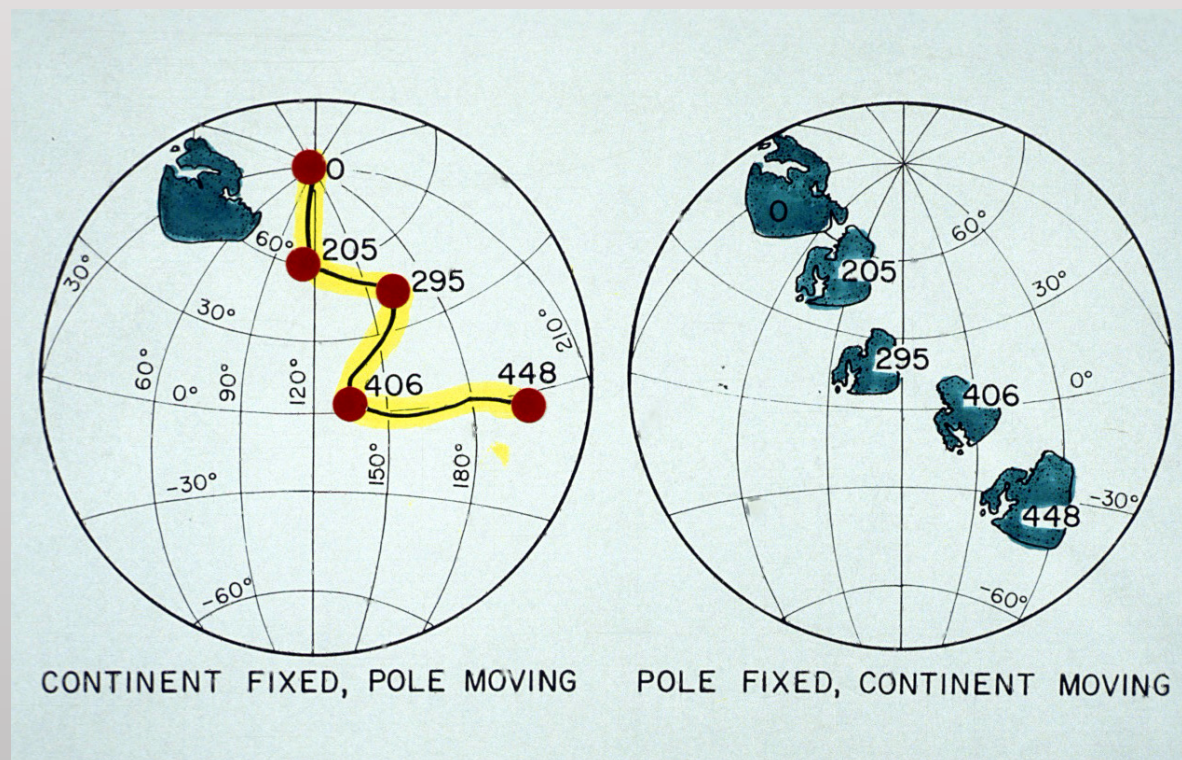
Odkrycie 1. Grzbiet środkowo atlantycki



Odkrycie 1. Grzbiet środkowo atlantycki



Odkrycie 2. Wędrowka biegunów magnetycznych



Odkrycie 2. Wędrówka biegunów magnetycznych

Dwie teorie:

A

Biegun magnetyczny
zmieniał położenie w czasie



Trajektoria taka sama dla
wszystkich kontynentów

B

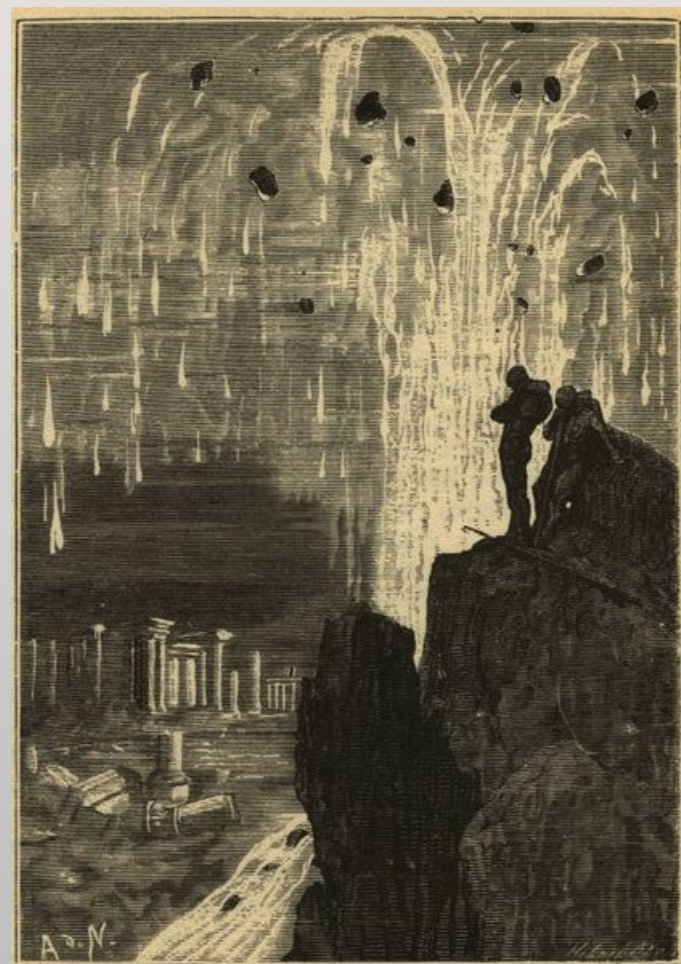
Kontynenty poruszały się
względem bieguna



Trajektorie mogą się różnić

Wędrówka kontynentów - teoria Wegenera

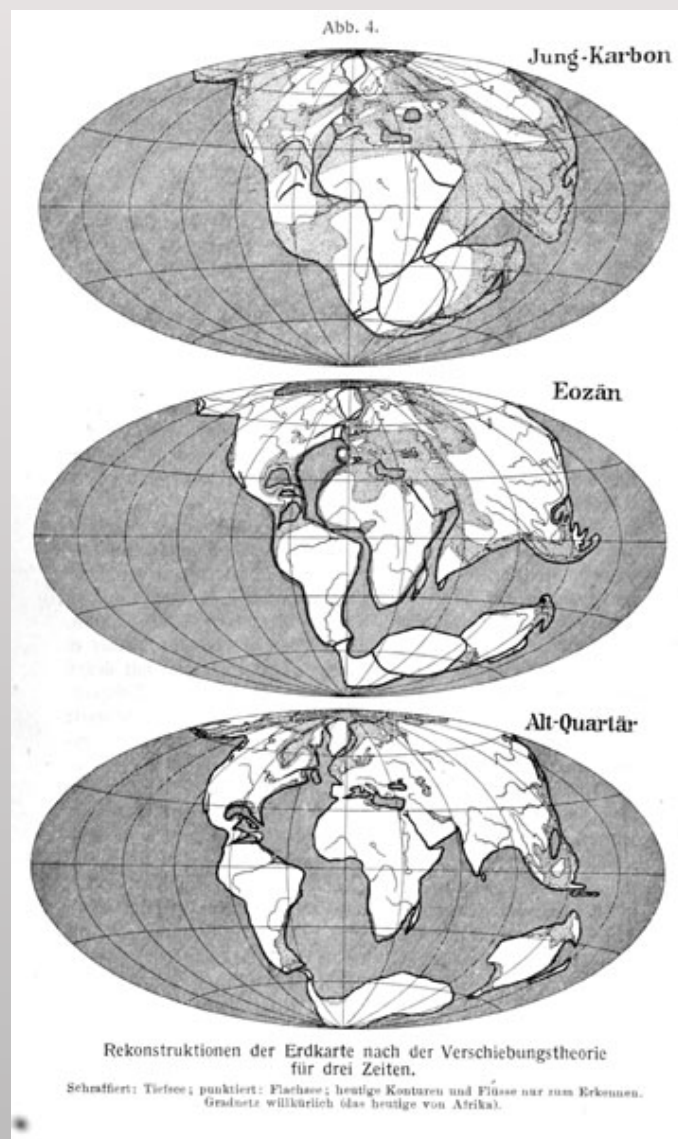
Fakt podobieństwa linii brzegowych kontynentów (zwłaszcza wokół Oceanu Atlantyckiego) zawsze pobudzał wyobraźnię do tworzenia hipotez o wspólnym pochodzeniu kontynentów. Np. Legenda Atlantydy opisana przez Platona.



Teoria Wegenera - 1912/1960



A. Wegener (1880 - 1930)

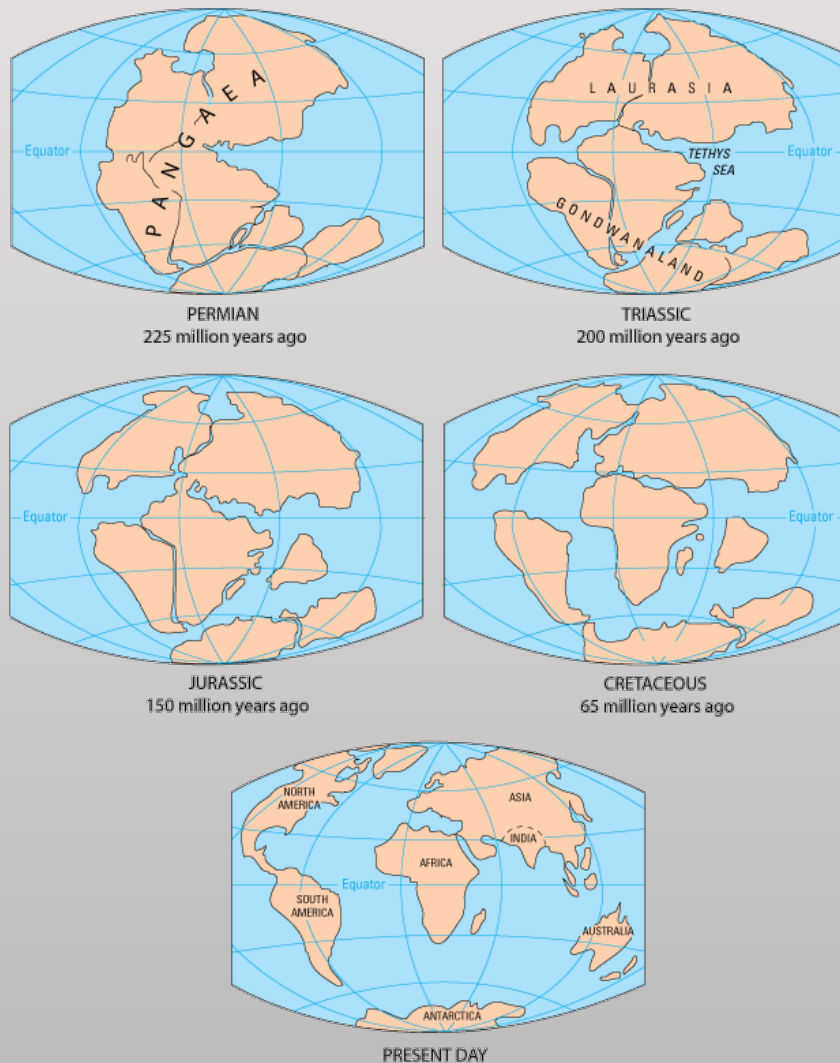


Obecny pogląd

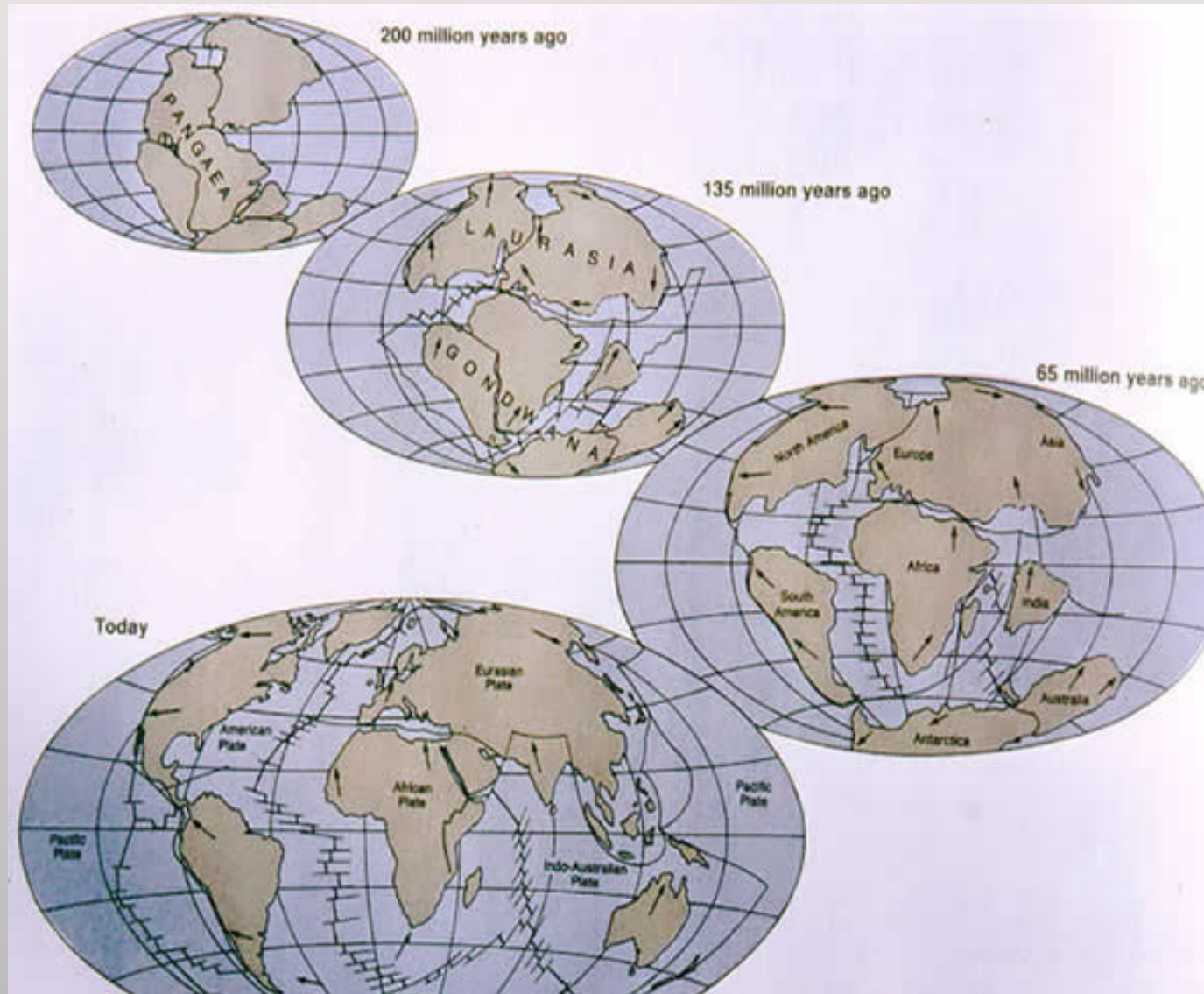
- ♦ 1100 mln lat temu powstaje superkontynent *Rodinia*.
- ♦ 750 mln lat temu *Rodinia* rozpada się na: *Laurencję*, kraton *Konga* i *Proto-Gondwanę*.
- ♦ 600 mln lat temu fragmenty *Rodinii* na krótko ponownie się stykają, tworząc nowy superkontynent: *Pannoncję*.
- ♦ 550 mln lat temu *Pannoncja* zaczyna się rozpadać, tworzą się kontynenty i oceany Paleozoiku.
- ♦ 250 mln lat temu na Ziemi ponownie istnieje jeden superkontynent *Pangea*. Jest on otoczony olbrzymim oceanem *Panthalassa*, masy lądowe częściowo odgradzają od niego mniejszy ocean *Tetydy*.
- ♦ 180 mln lat temu superkontynent *Pangea* zaczyna pękać na dwie części, które oddalają się od siebie tworząc: *Laurazję* na półkuli północnej i *Gondwanę* na półkuli południowej.

- ♦ 135 mln lat temu początek rozpadu *Laurazji* i *Gondwany* pojawiają się zarysy dzisiejszych kontynentów: *Laurazja* daje początek Ameryce Północnej i Eurazji *Gondwana* rozpada się na: Amerykę Południową, Afrykę, Antarktydę, Australię i Indie.
- ♦ 100 mln lat temu Indie odrywają się od Afryki i dryfują w stronę Azji.

Ewolucja geodynamiczna kontynentów



Ewolucja kontynentów



Inwersja geomagnetyczna - odkrycie

Badając magnetyczne własności skał lawowych wulkanu Pontafarin z okolic Cezanes (Francja) Brunhes odkrył w 1905r., że stara lawa ma prawie dokładnie odwrotne namagnesowanie w stosunku do obecnego pola magnetycznego Ziemi. Zinterpretował ten fakt przyjmując że w przeszłości biegun północny pola magnetycznego Ziemi znajdował się w okolicy południowego bieguna geograficznego. Musiało upłynąć 50 lat by jego teoria została potwierdzona i zaakceptowana.

Inwersja geomagnetyczna



B. Brunhes (1867 -1910)

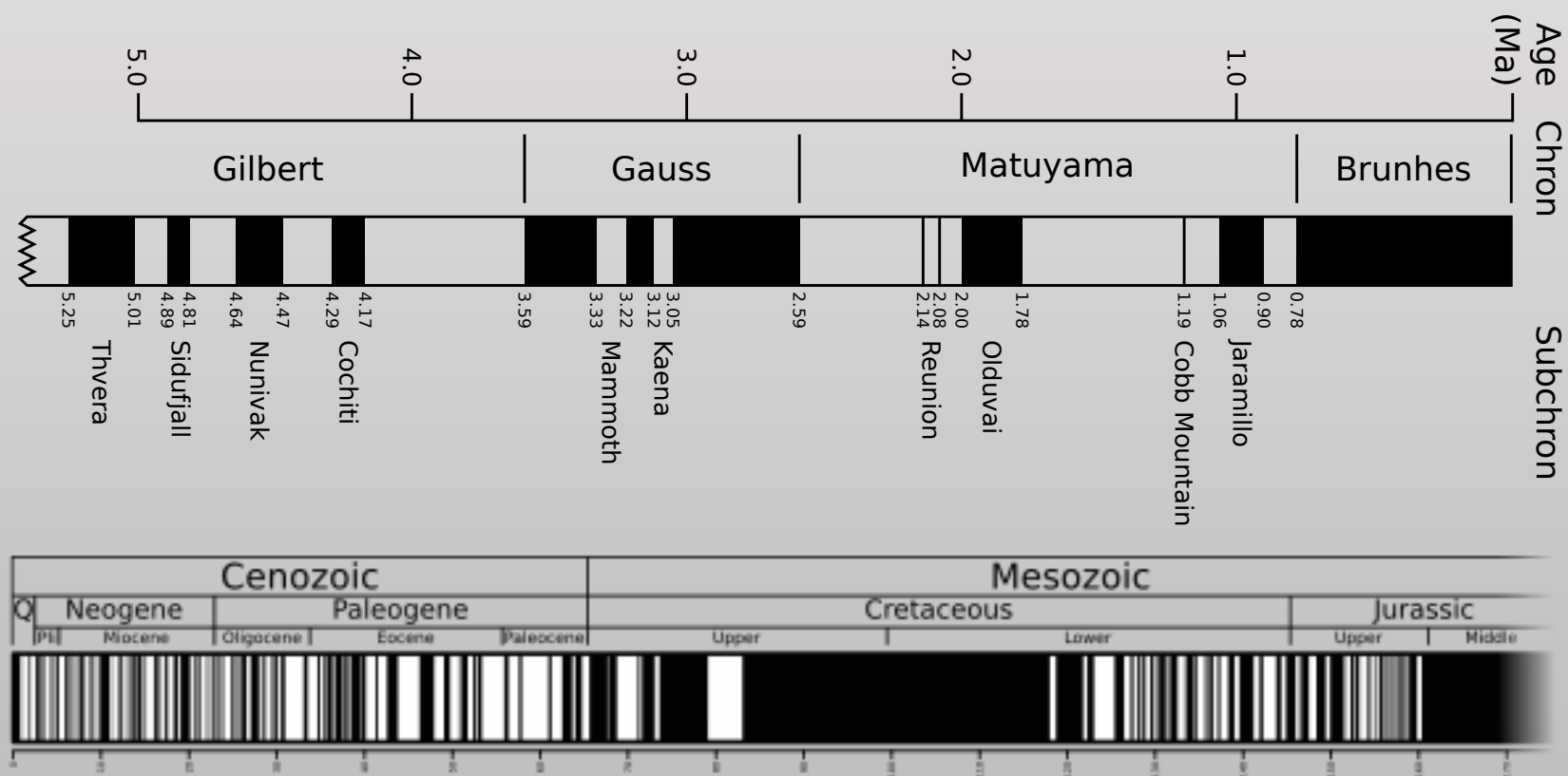


Cezanes (Francja)

Inwersja geomagnetyczna



Inwersja geomagnetyczna - dalsze badania



Pole magnetyczne Ziemi - teoria geodynamama

Powyższe wyniki (i mnóstwo innych mniej spektakularnych) wskazują jednoznacznie na fakt, że Ziemia wytwarza własne pole magnetyczne, które jest bardzo skomplikowane i zmienne w czasie. Co więcej nie zanika w czasie !.

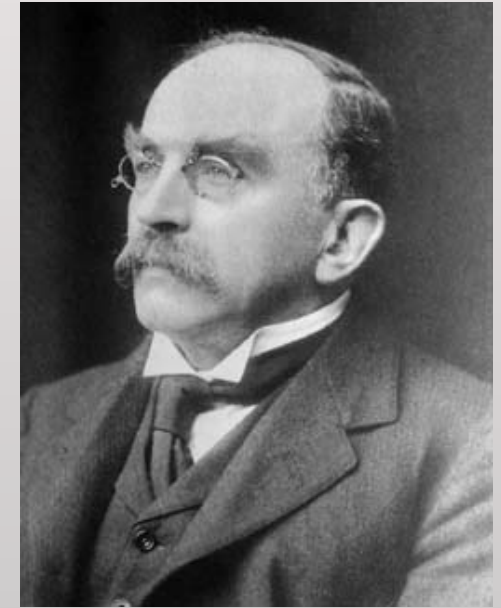
Jaki jest mechanizm jego powstania i co utrzymuje jego obecność

Pole magnetyczne Ziemi - pierwsze podejście

Według pierwszych modeli pole magnetyczne Ziemi jest wynikiem namagnesowania wnętrza Ziemi. Jednakże oszacowanie temperatury wnętrza Ziemi i zrozumienie procesów wulkanizmu obaliły te poglądy. Teoria ta miała jeszcze jeden mankament. Niezrozumiały był mechanizm podtrzymujący istnienie pola magnetycznego w skali czasu geologicznego. Gdyby był to ruch obrotowy Ziemi, to szacowane straty energii wskazywały, że Ziemia powinna zatrzymać się w ciągu kilkudziesięciu tysięcy lat.

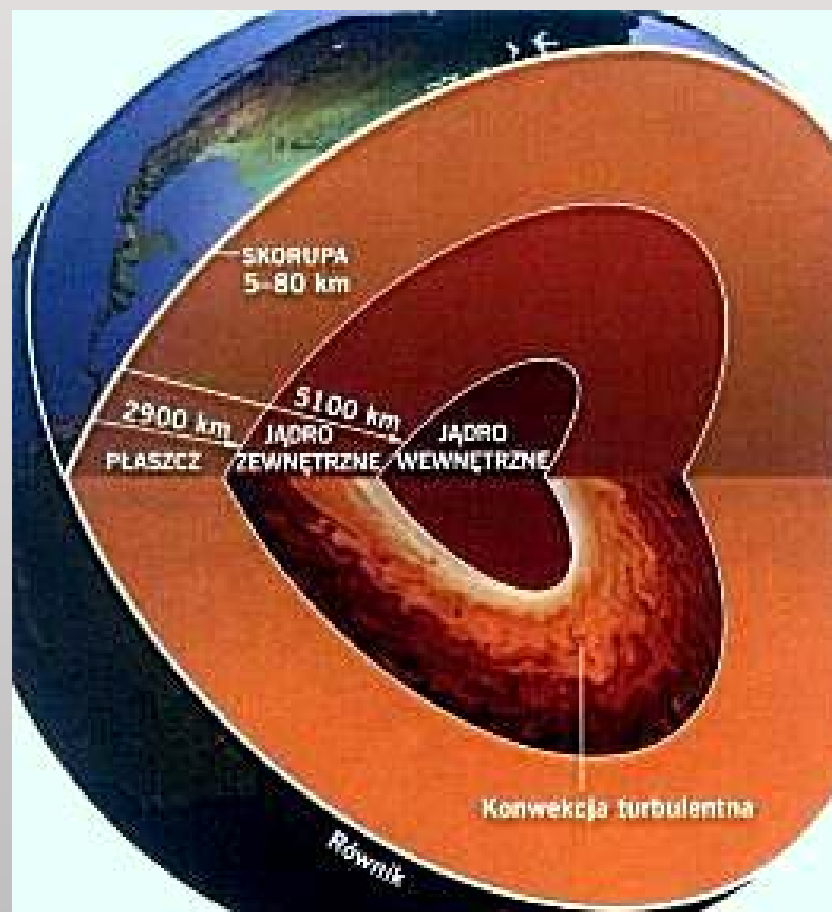
Pole magnetyczne Ziemi - teoria geodynamama

Po odkryciu jądra wewnętrznego i stwierdzeniu, że jądro zewnętrzne jest płynne panuje przekonanie (model geodynamama), że pole magnetyczne Ziemi jest efektem prądów wirowych w jądrze zewnętrznym. Jądro wewnętrzne, obracając się nieco szybciej niż płaszcz działa stabilizująco zapobiegając gwałtownym zmianom tego pola. Przyjmuje się, także, że ruchy konwekcyjne w połączeniu z efektem Coriolisa wytworzyły pierwotne pole magnetyczne wzmocnione mechanizmami znanymi z hydrodynamiki. Ciągłe jednak nie jest jasne co powoduje zmiany biegunowości pola.

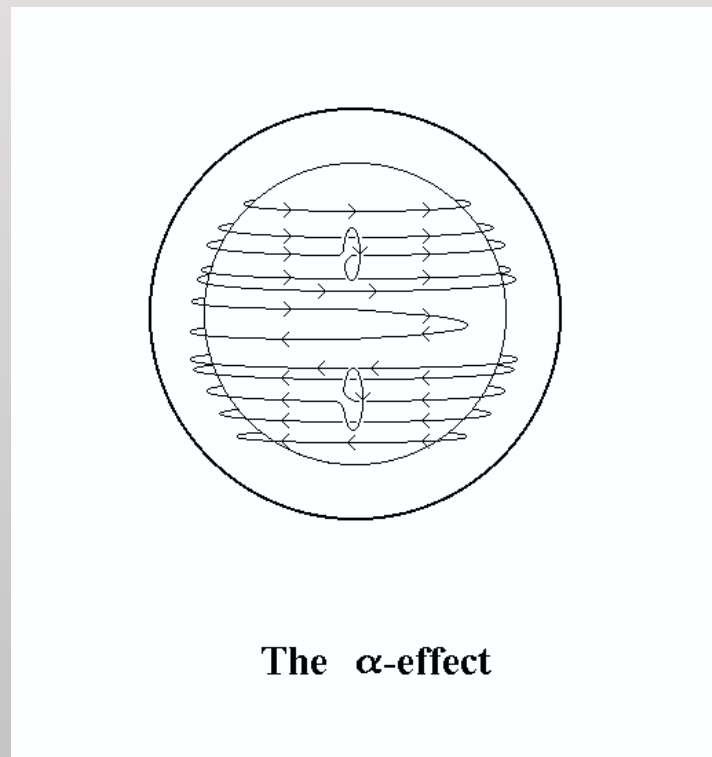
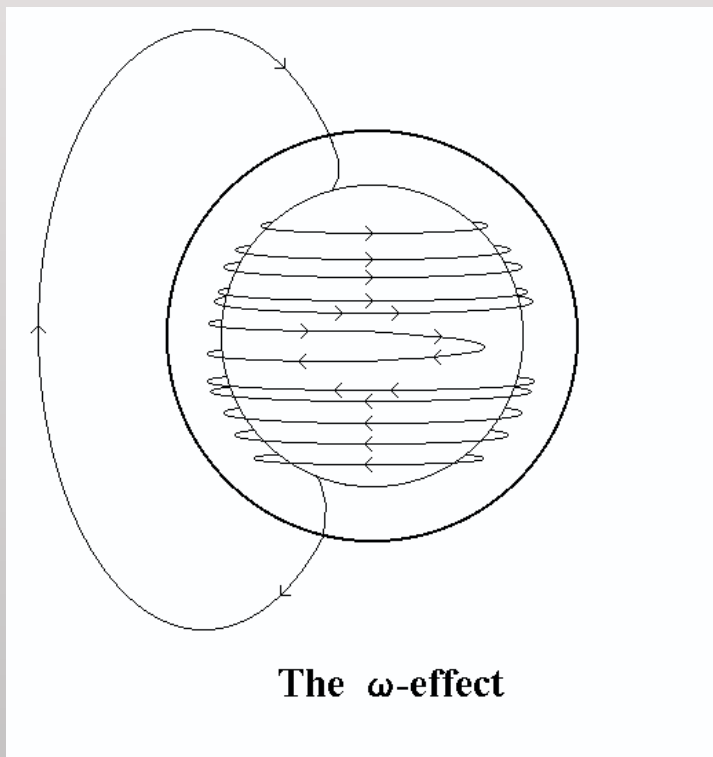


Larmor

Geodynamo - budowa Ziemi



Geodynamo - koncepcja



Geodynamo - teoria

Założmy, że ruch materii w jądrze zewnętrznym generuje pola elektromagnetyczne, lecz jest ono na tyle słabe, że nie wpływa na ruch materii.

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B}) + \eta \nabla^2 \mathbf{B}$$

$$\eta = \frac{1}{\mu_0 \sigma}$$

Dwa czynniki: transport pola magnetycznego (1), dyfuzja (2)

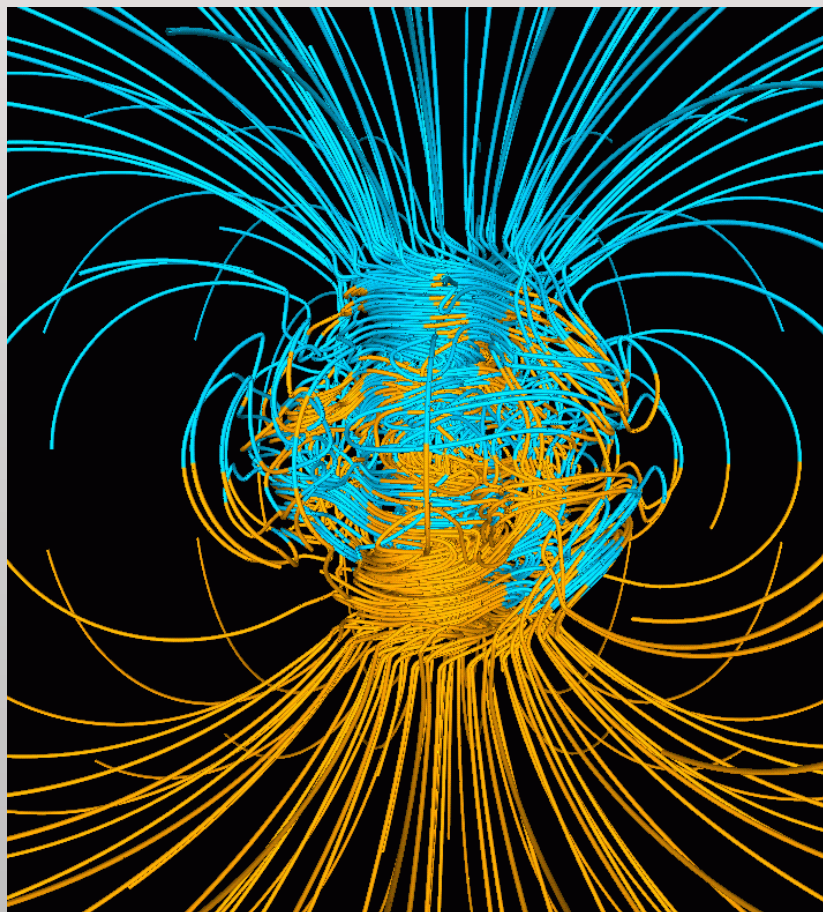
Geodynamo - teoria

Czas zaniku pola magnetycznego (drugi człon)

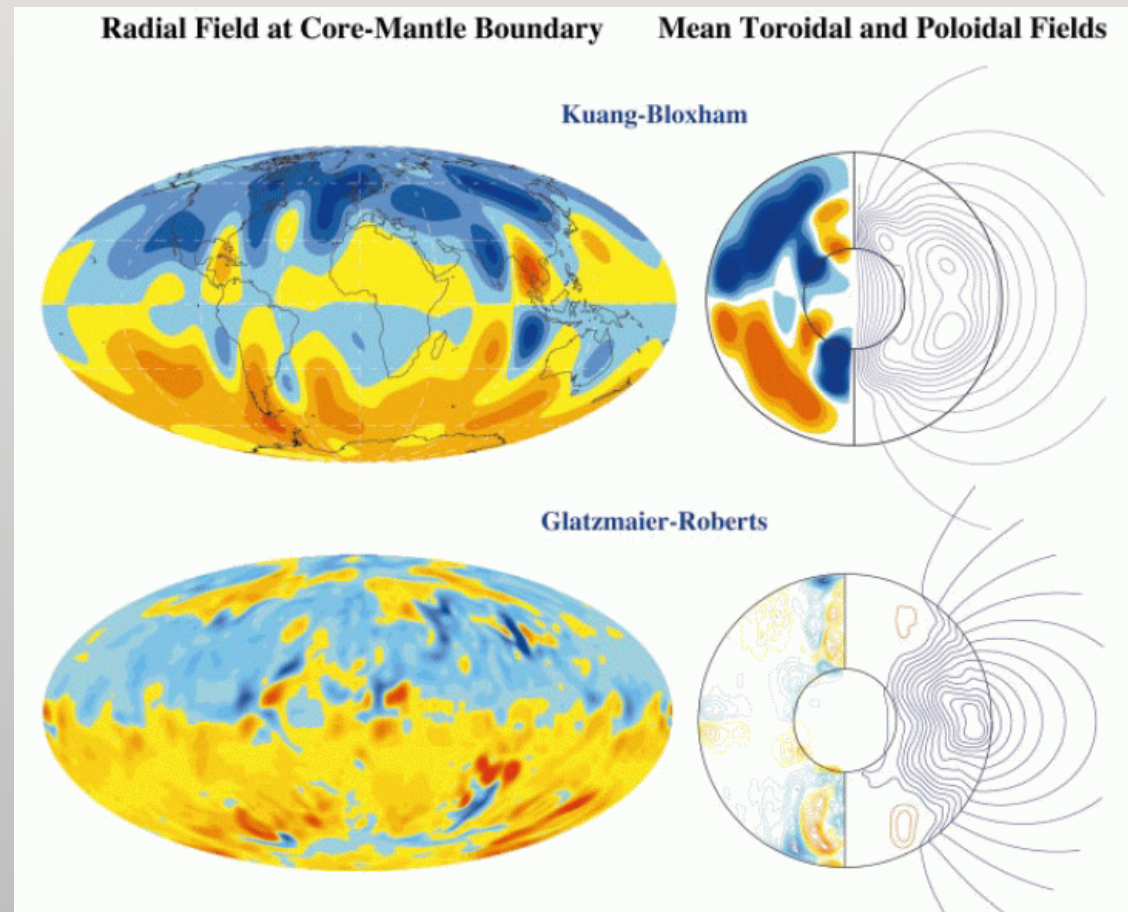
Obiekt	L [cm]	η [cm ² s ⁻¹]	τ [lata]
Ziemia	3×10^8	7×10^3	4×10^5
Słońce	5×10^{10}	7×10^2	1×10^{11}
Galaktyka	3×10^{20}	7×10^9	4×10^{23}

A więc dlaczego jeszcze istnieje ?

Geodynamo - symulacje



Geodynamo - symulacje

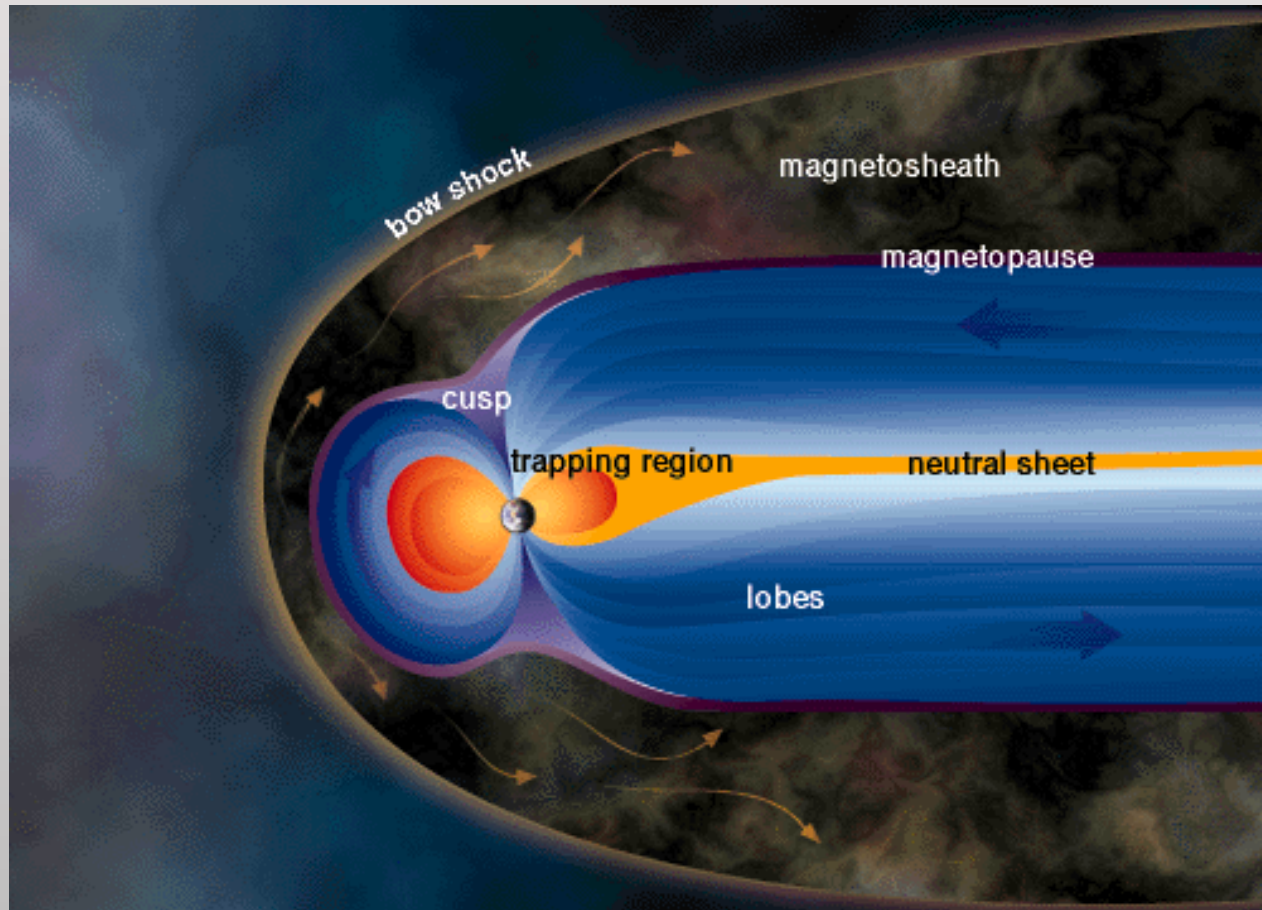


Glatzmaier & Roberts (2000) and Buffett (2000)

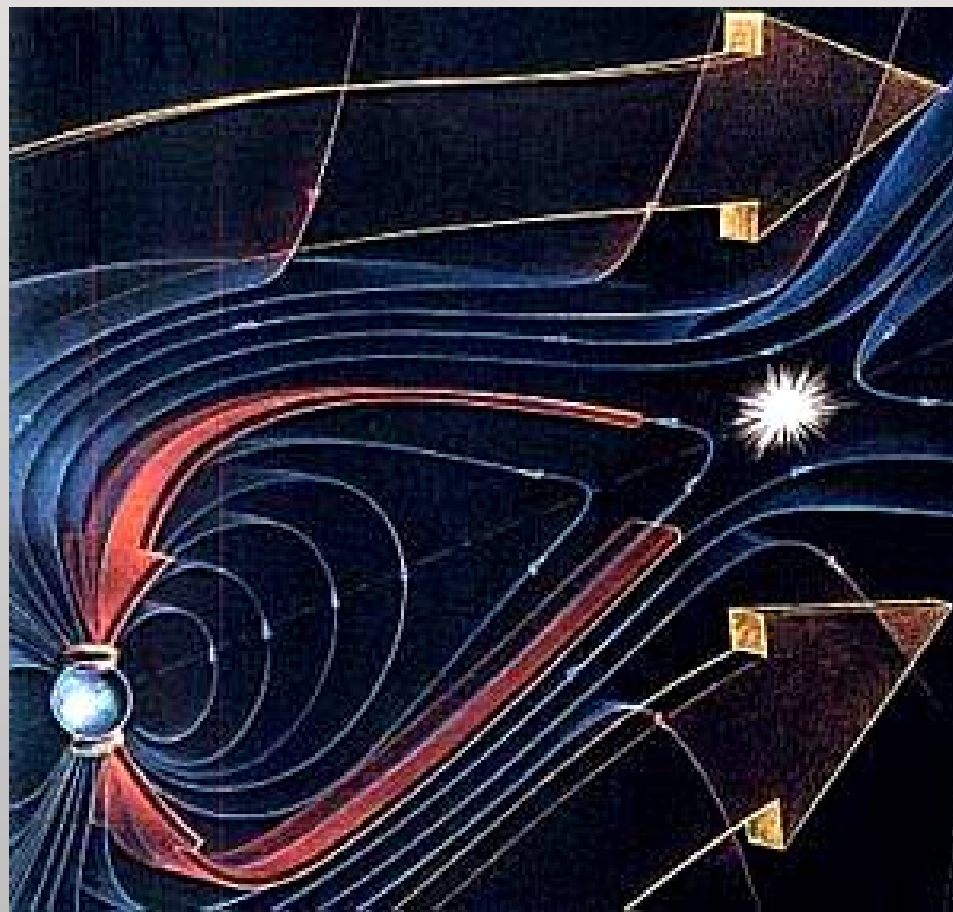
Środowiskowa rola pola geomagnetycznego

Pole magnetyczne Ziemi jest stosunkowo słabe. Jednakże jego obecność jest decydująca dla obecności wszelkich form życia na Ziemi. Pamiętajmy bowiem, że nasza życiodajna gwiazda Słońce, jest zarazem naszym największym zagrożeniem. Jest to przecież gigantyczny reaktor termojądrowy omiatający nas w każdej sekundzie niewiarygodnie dużą dawką energetycznych cząstek naładowanych powstających w wyniku reakcji termojądrowych w jego wnętrzu. To właśnie pole magnetyczne Ziemi chroni nas przed tym kosmicznym “śmieciem”.

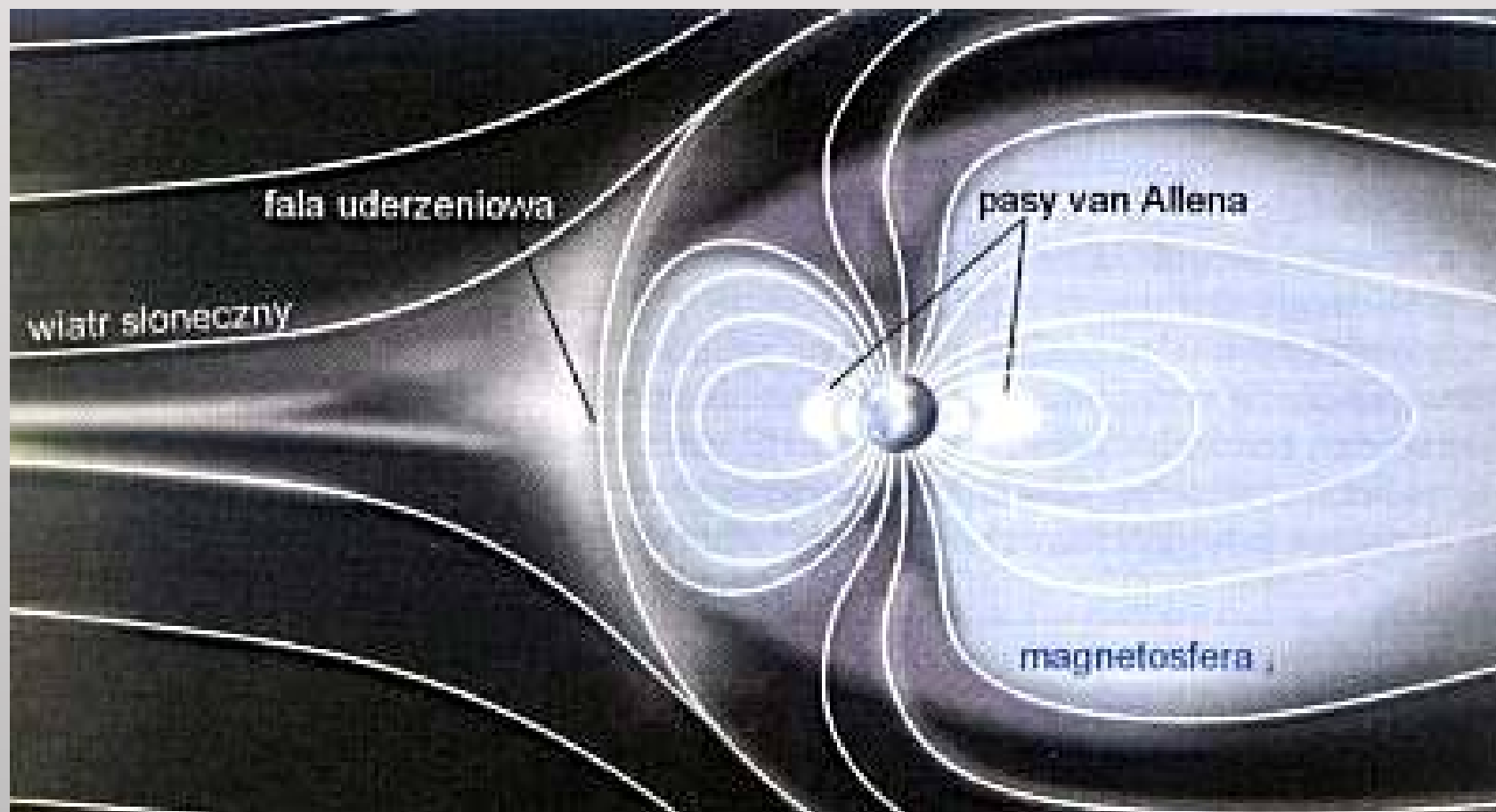
Pole magnetyczne Ziemi



Powstanie zorzy



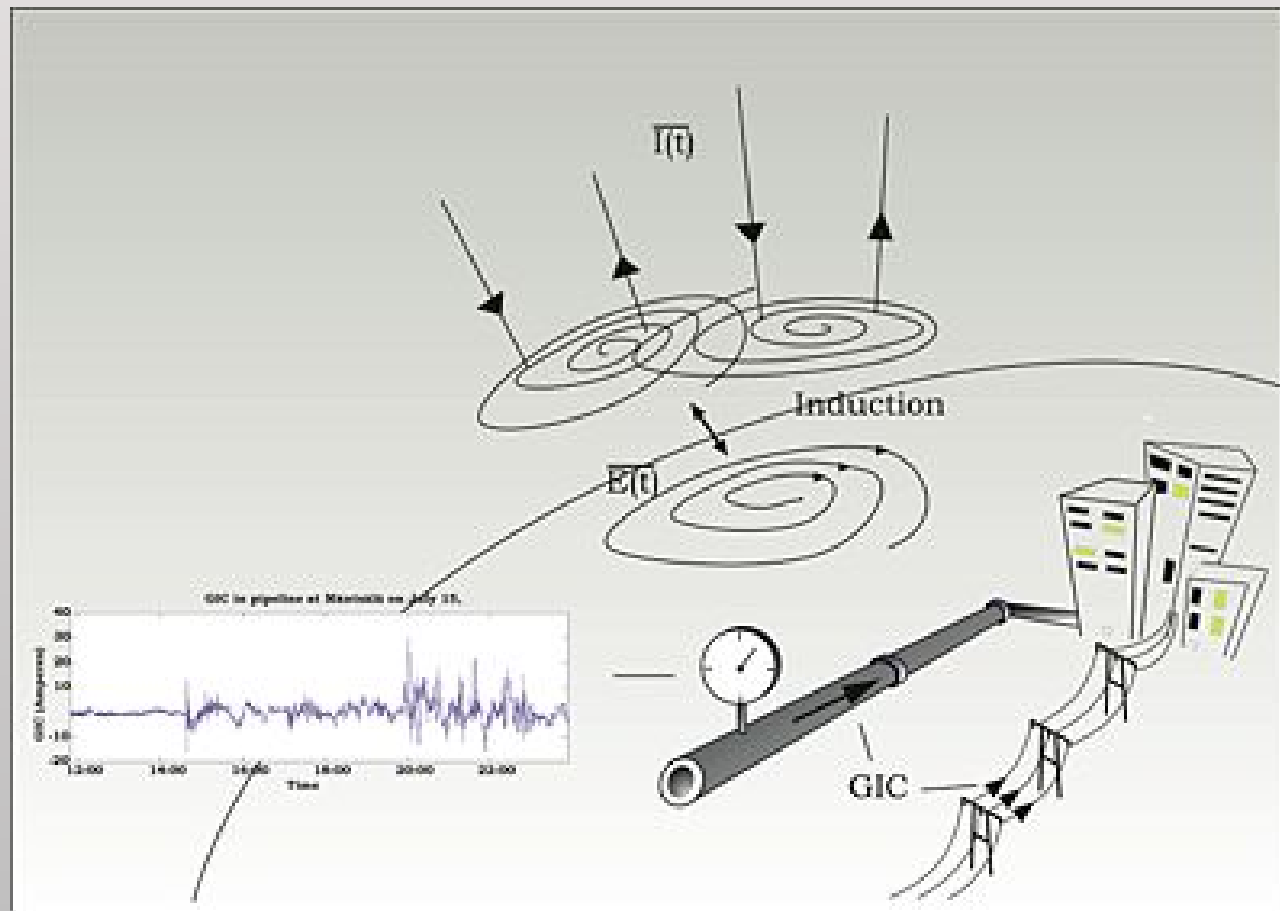
Pasy Van Allena



Pole magnetyczne Ziemi



Pole magnetyczne Ziemi



A landscape photograph of a lake with a rocky shore and a forested hill under a clear blue sky. The word 'Koniec' is overlaid in the center.

Koniec