

Dzieje życia **14.**

Początki życia na Ziemi

Jerzy Dzik

*Instytut Paleobiologii PAN
Instytut Biologii Ewolucyjnej UW*

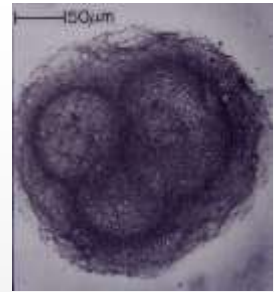
2023



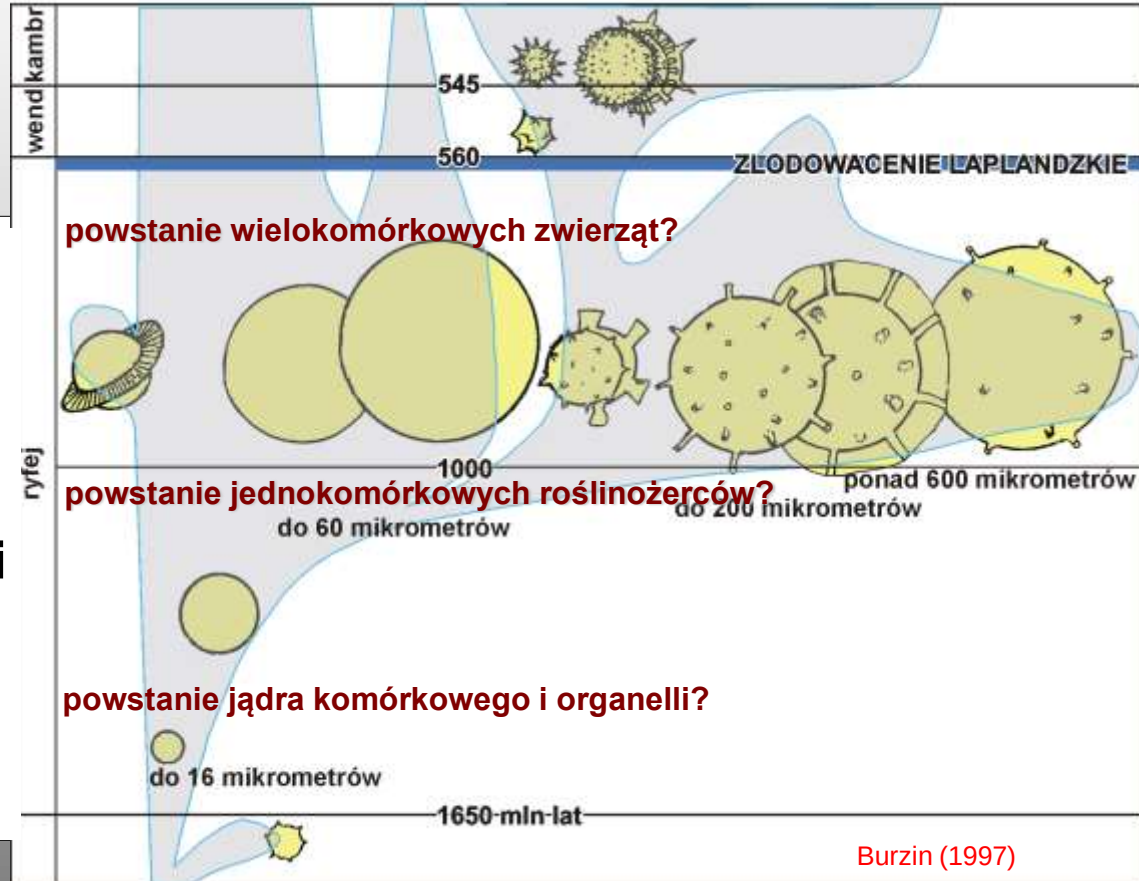
AKRITARCHY

presja roślinożerców

tetrada mejotyczna? *Tetrasphaera*
950 Ma formacja Lakhanda Syberia



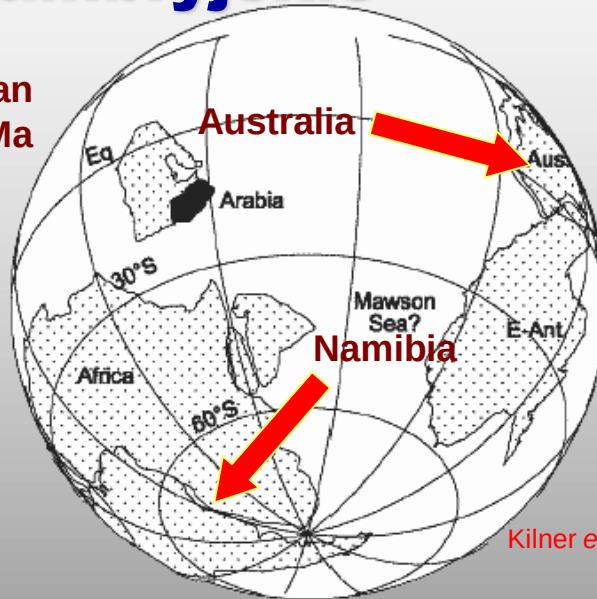
- ucieczka w rozmiary przed amebami
- ale rozmiary nie chronią przed wielokomórkowcami
- odróżnialne od prokariotów tylko po rozmiarach



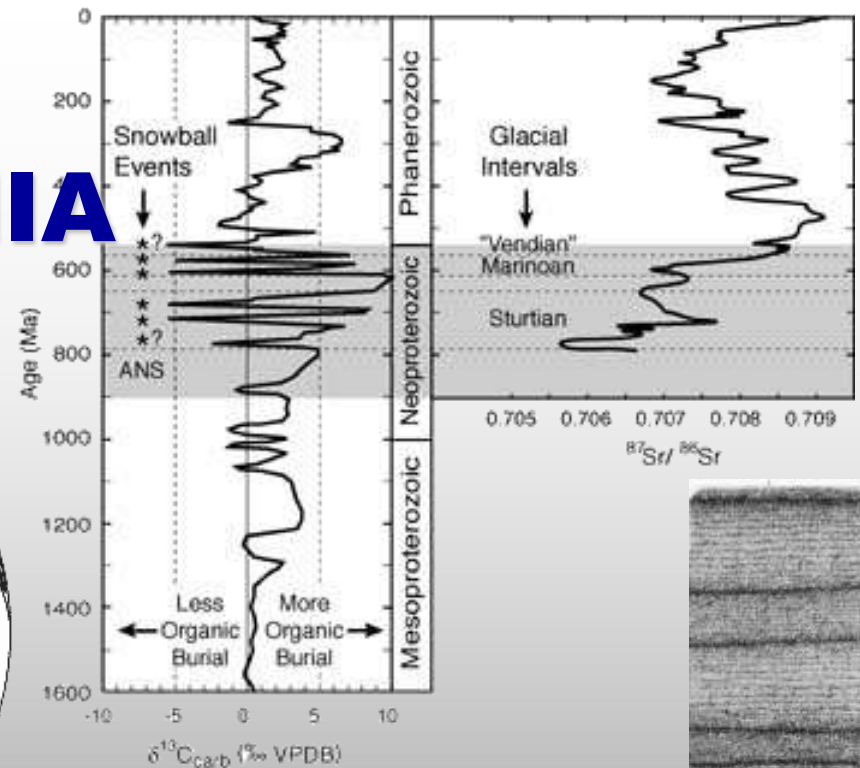
zaskakująca bioróżnorodność tuż po zlodowaceniach

ZŁODOWACENIA prekambryjskie

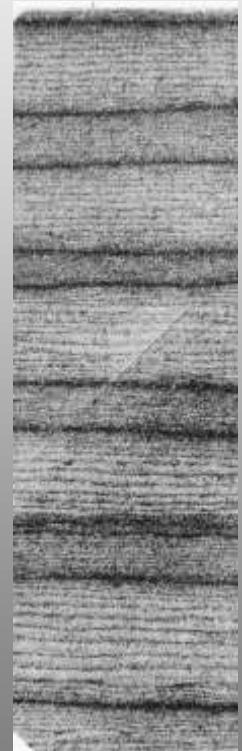
**Marinoan
650-642 Ma**



Kilner et al. (2005)



**formacja Chambers Bluff
Australia 0,8 Ga
warwy**



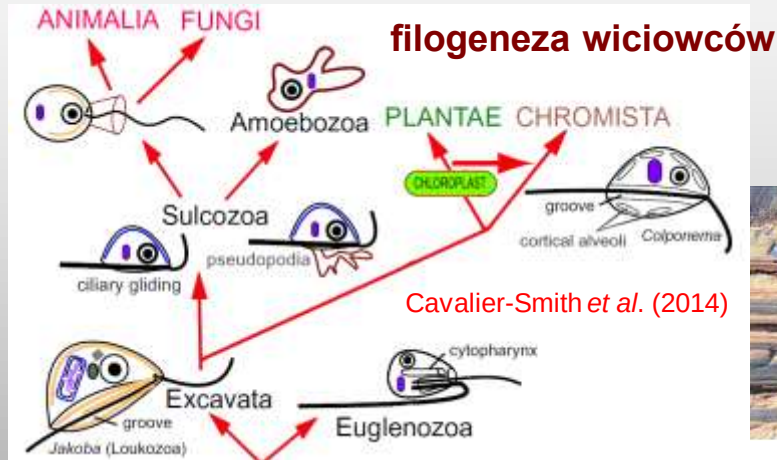
Williams (1988)

- paleomagnetyzm wskazuje, że lądolody sięgały równika (*Snowball Earth*)
- gliny zwałowe (tillit) na równiku?

kontrowersyjna interpretacja środowiska pierwszych eukariotów

FITOPLANKTON

prekambru

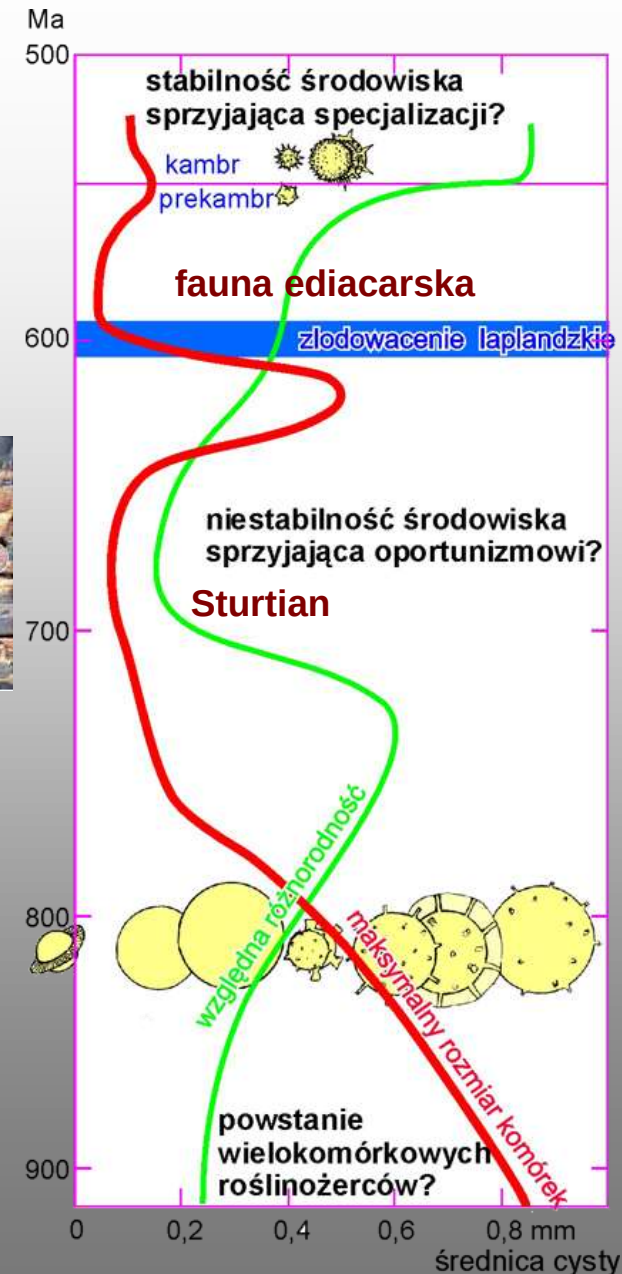


dropstone



- bezpośrednio przed kambrem znacznie mniejsze zróżnicowanie gatunkowe
- ale tylko podczas epok lodowych
- podwyższona produktywność oceanu sprzyjała nielicznym oportunistom?

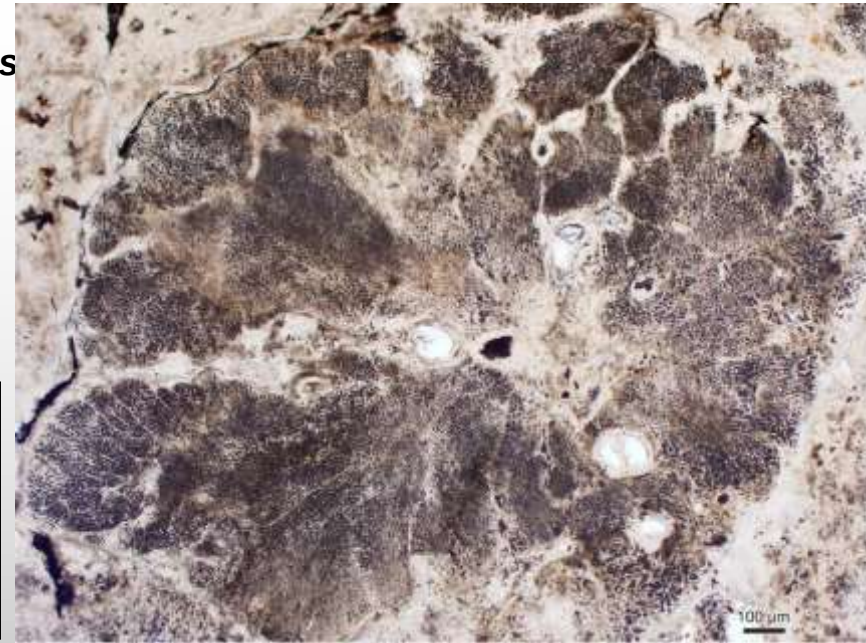
jakie były pierwsze eukarioty?



Ramathallus

NAJSTARSZE eukarioty

- niewątpliwe wielokomórkowe krasnorosty 1.2 Ga
- nitkowate 1.6 Ga



Butterfield (2000)

Bangiomorpha
formacja Hunting, Kanada
1,2 Ga

komórki chwytnikowe

serie po 8 komórek



Denaricion fosforyty
Tirohan Dolomite, Indie
1,6 Ga



Bengtson et al. (2017)

Rafatazmia

fizjologia dostosowana do środowiska tlenowego

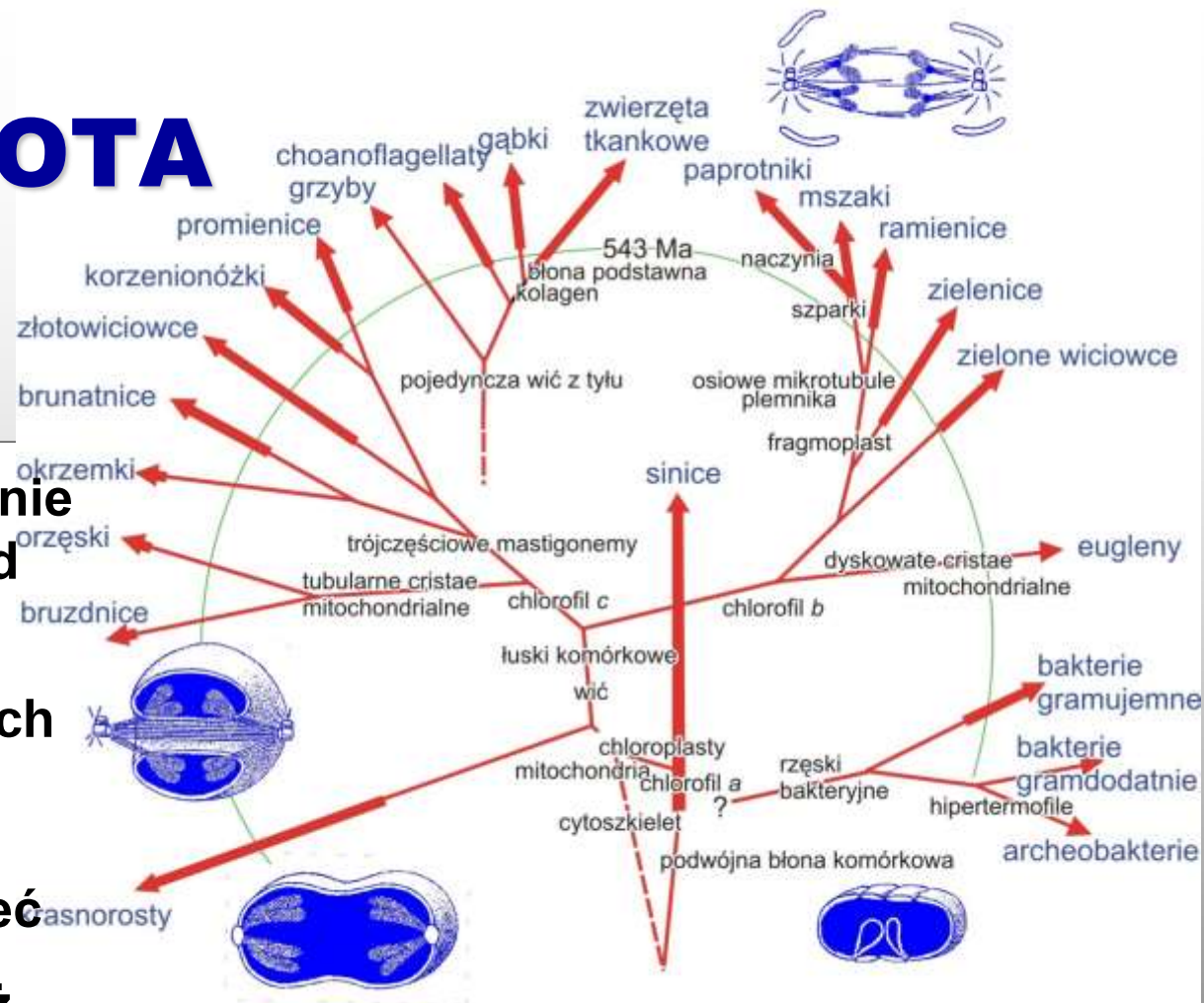
tlenowe

tlenowe

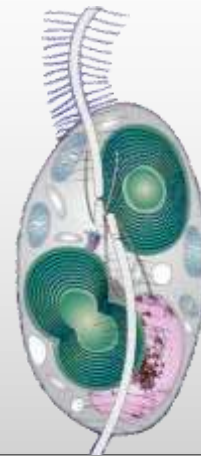
- być może powstanie wici późniejsze od krasnorostów
- przodek wszystkich dzisiejszych eukariotów miał mitochondria i płeć
- być może również chloroplasty

- przodek wszystkich
dzisiejszych
eukariotów miał
mitochondria i płeć**

- być może również chloroplasty**



POCHODZENIE chloroplastów



Cyanophora



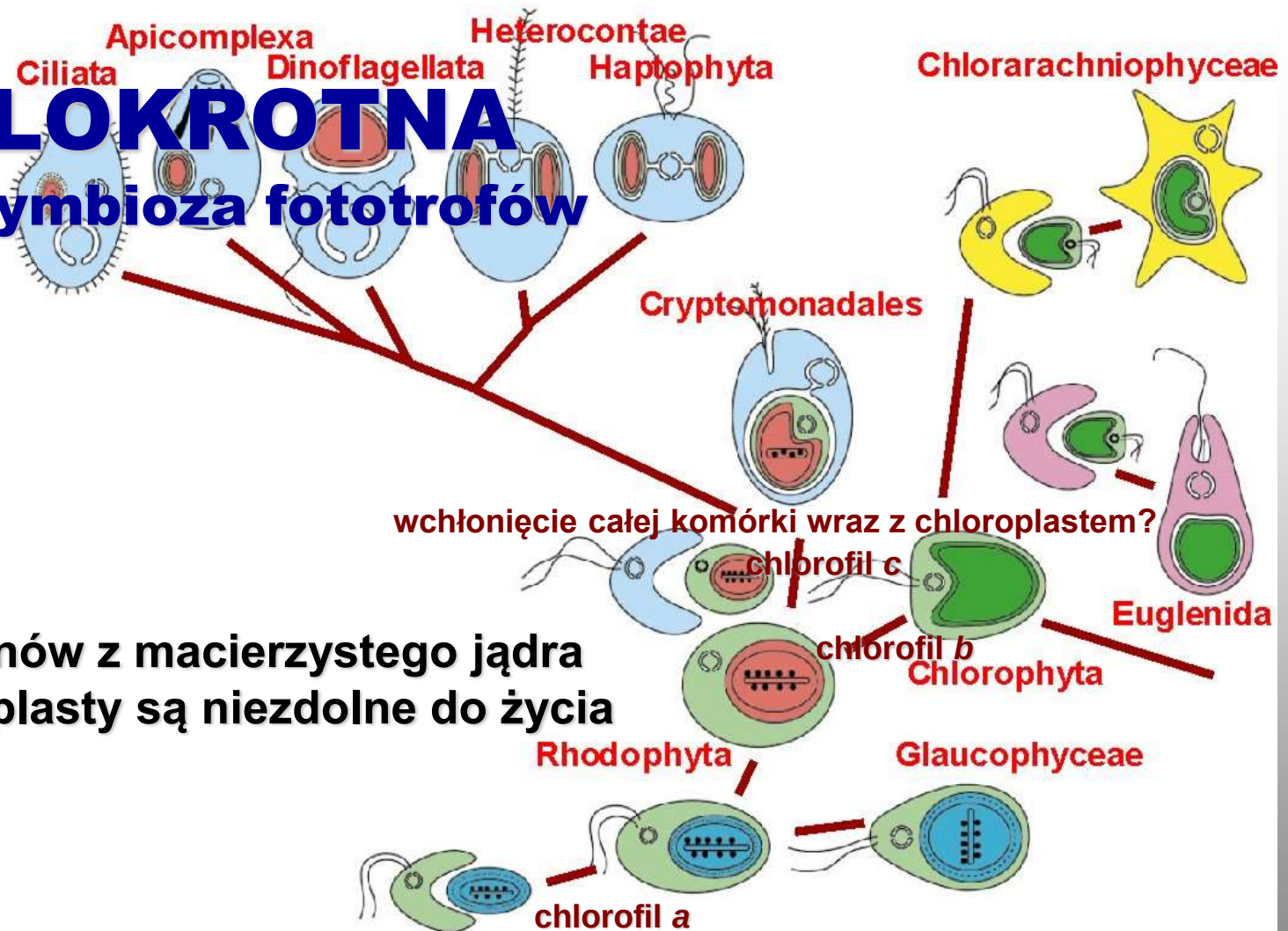
Glaucocystis



- podobieństwa genomów wiążą chloroplasty krasnorostów z sinicami
- wszystkie chloroplasty są sobie homologiczne
- są analogi wśród dzisiejszych (Glaucophyceae) jądrowym genomem bliskich zielenicom a chloroplastowym krasnorostom

pozyskanie przodka chloroplastów nastąpiło tylko raz

WIELOKROTNA endosymbioza fototrofów



- bez genów z macierzystego jądra chloroplasty są niezdolne do życia

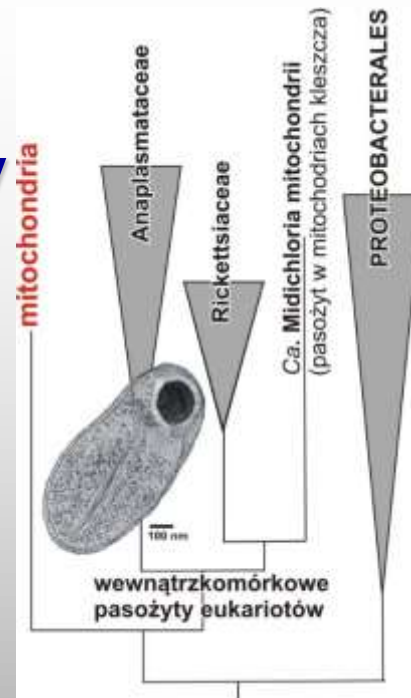
Keeling (2004)

mitochondria nie mają dziś krewnych

TAJEMNICA

pochożenia mitochondriów

pokrewieństwa molekularne
skrajnego pasożyta
wewnątrzkomórkowego
Rickettsia



Rickettsia

Andersson et al. (1998)

- u drożdży ponad 400 białek mitochondrialnych w jądrze
- α -proteobacteria *Rickettsia* ma 834 geny
- podobieństwo wynikłe z uproszczenia

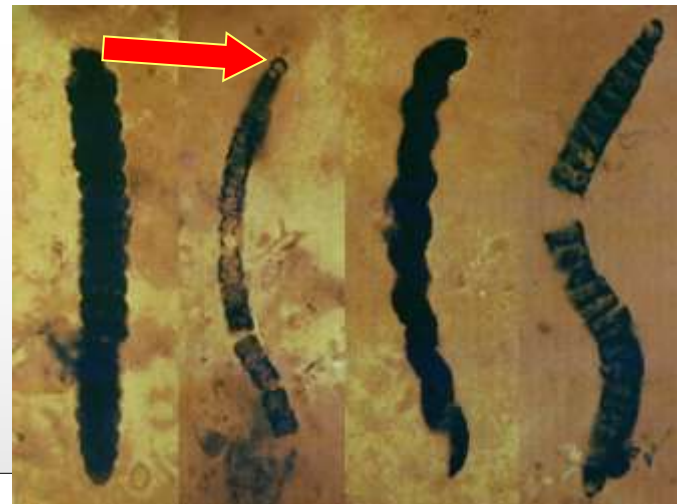
alternatywą powstanie mitochondriów drogą kompartmentacji komórki

SINICE

dawność fotolizy wody

800 Ma
formacja Bitter Springs
Australia

Schopf (1980)



- podobne do dzisiejszych od miliarda lat
- wapienne formacje stromatolitowe
- stworzyły atmosferę tlenową
- heterocysty chronią kompleks nitrogenazy przed tlenem

stromatolity
560 Ma
Syberia



heterocysta

Anabaena



nasycanie oceanu tlenem trwało

WIAZANIE tlenu w skałach



jaspilit Kryvyi Rih, Ukraina, 2,85 Ga

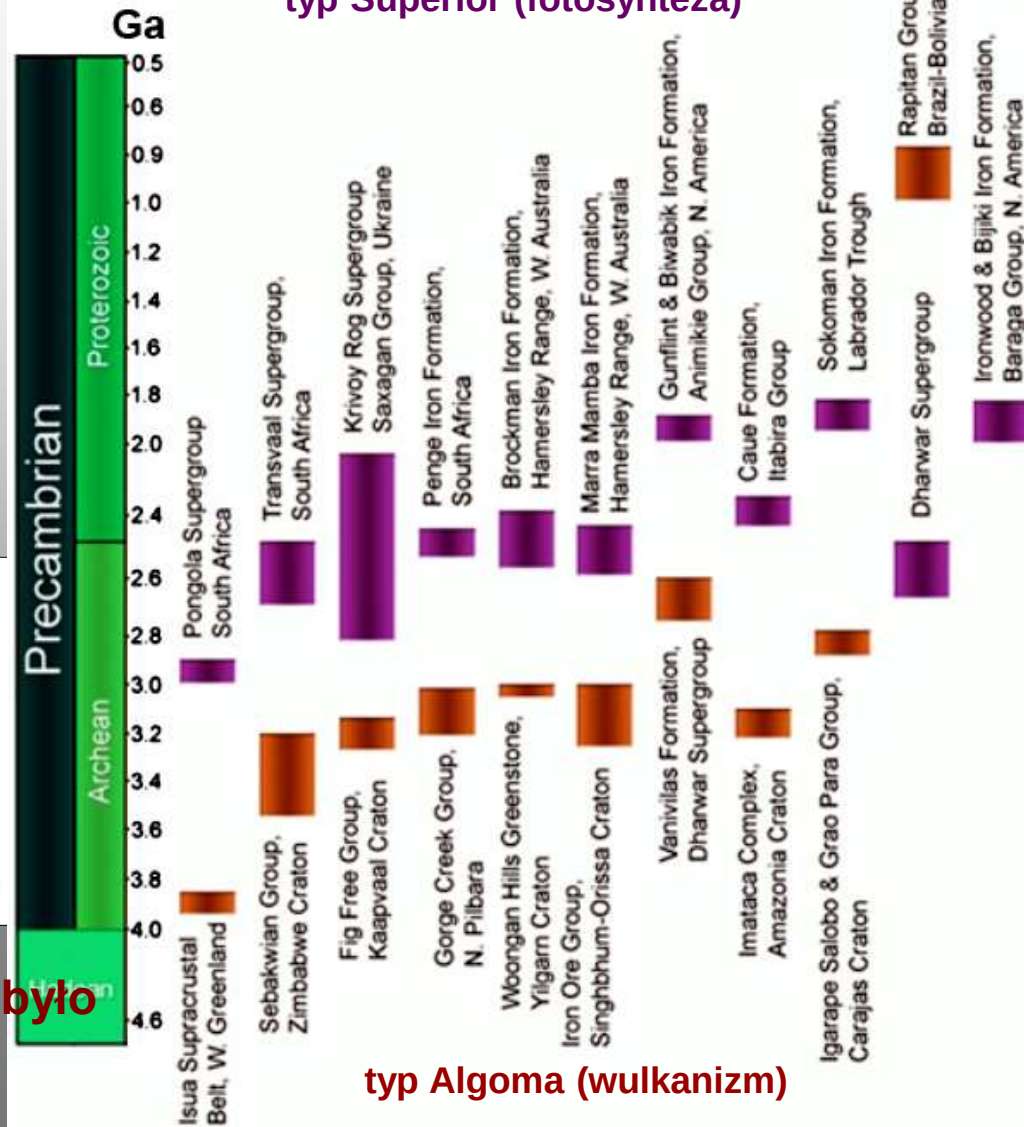
- zakwity przyczyną wytrącania żelaza
- być może żelazo Fe^{2+} donorem elektronów w beztlenowej fotosyntezie

kiedyś tlenu w powietrzu nie było

Koehler (2010)

Banded Iron Formations (jaspility)

typ Superior (fotosynteza)



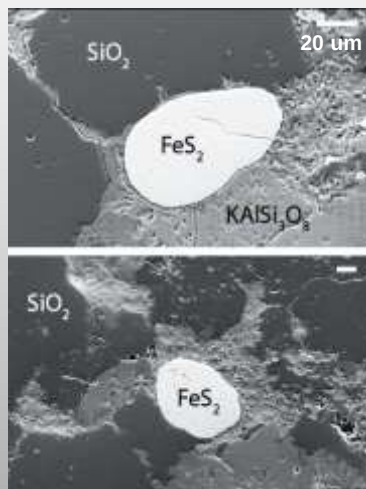
typ Algoa (wulkanizm)

ATMOSFERA

pierwotnie bez tlenu

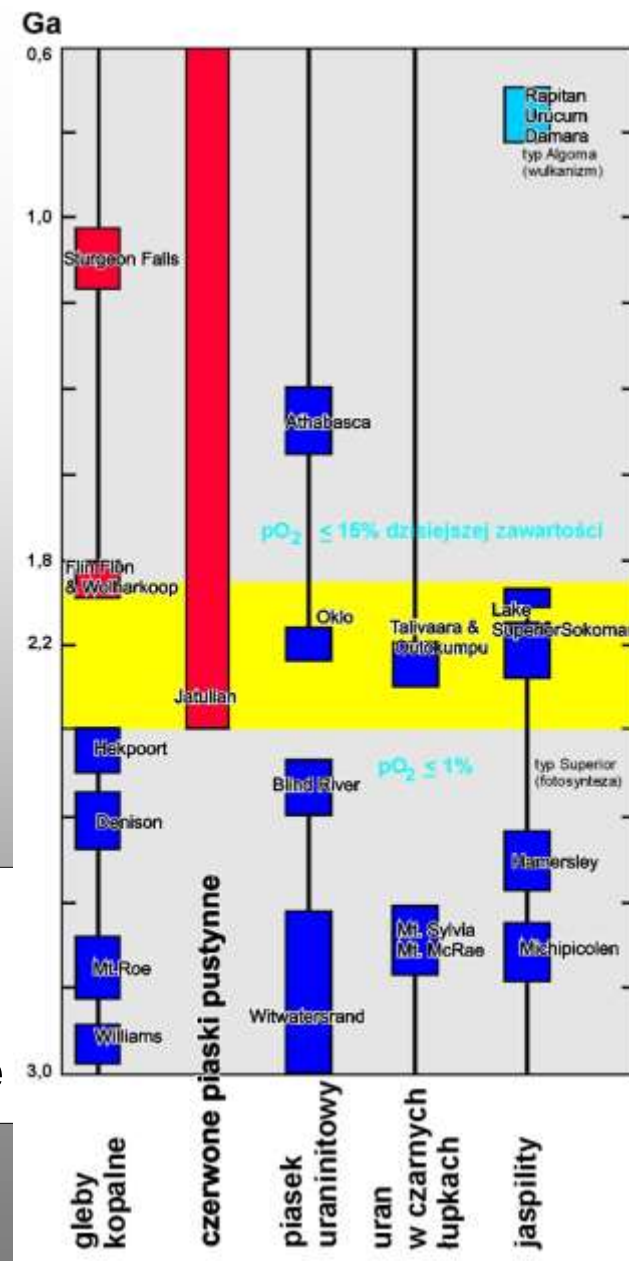
obtoczane ziarna pirytu
2,4 Ga
Koegas Subgroup
Afryka Płd.

Johnson *et al.* (2014)



- beztlenowe warunki erozji swoiste
- bez tlenu otoczaki powstawać mogły z minerałów nieodpornych na utlenienie

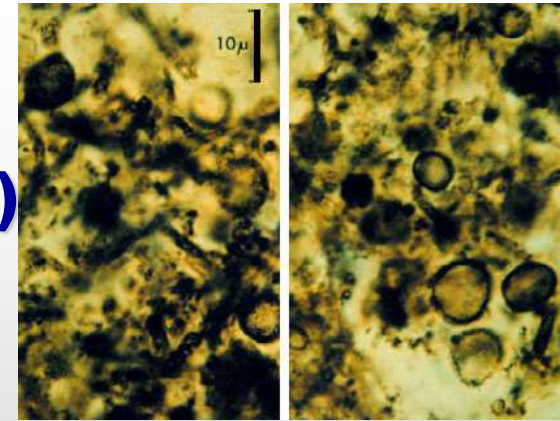
tlon był zabójczy dla pierwotnych bakterii



WSPÓLNY PRZODEK

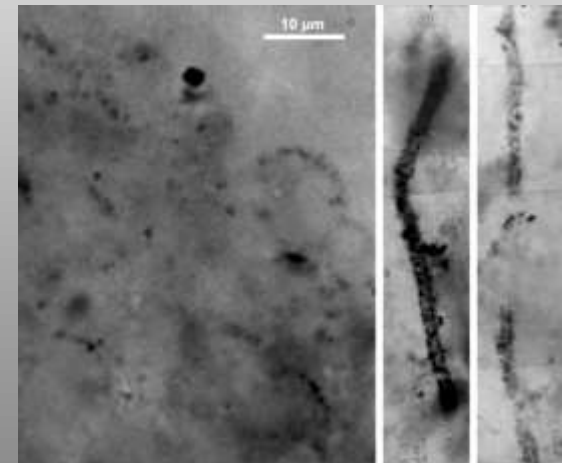
dzisiejszych organizmów (LUCA)

- kataliza przez białka (enzymy)
- ich struktura odczytywana z mRNA
- dziedziczną informację przechowuje DNA
- wszystkie posługują się takim samym (prawie) kodem genetycznym
- wewnątrz lipidowej błony (komórki)



Gunflint, Kanada 1,9 mld lat

Campbellrand, RPA 2,5 mld lat



Altermann & Kaźmierczak (2003)

od świata DNA do początków życia daleka droga

DATOWANIE

zdarzeń geologicznych



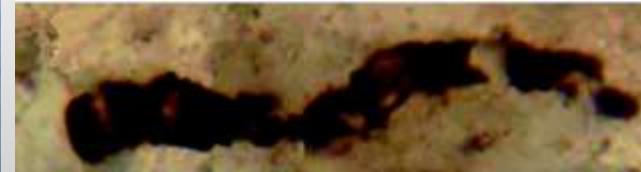
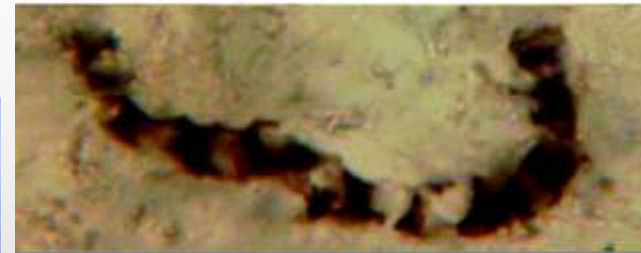
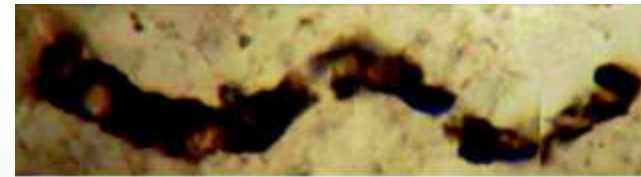
- tempo rozpadu pierwiastków promieniotwórczych umożliwia określenie wieku warstw skalnych
- np. przy znanym udziale ^{14}C w przyrodzie i okresie połowicznego rozpadu 5730 lat, datowanie do 60 ka
- ^{238}U (rozpad 4510 ka) uwieczniony w krystalizujących w magmie cyrkonach ZrSiO_4 do całej historii Ziemi
- najstarsze cyrkony (redeponowane) – 4,3 Ga

jak dawna jest organizacja komórkowa?

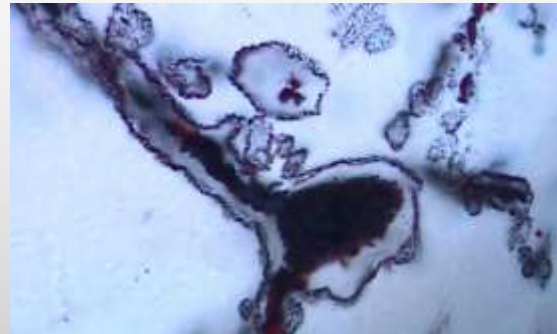
PSEUDOFOSYLIA

archaiku

Schopf (2006)



Dodd et al. (2017)



struktury hydrotermalne
3,77 Ga Nuvvuagittuq Belt,
Quebec

- niewątpliwe skamieniałości od 2,0 Ga
- starsze to artefakty – identyczne struktury znajdowane są w hydrotermalnych skałach o toksycznym składzie
- wzbogacenie w ^{12}C większe w procesach abiotycznych niż w cyklu Calvina

pseudofosylia (pęknięcia kwarcu wypełnione hematytem)

3,4 Ga krzemień Apex
Australia

wszystkie dzisiejsze organizmy należą do świata DNA

GENEZA świata DNA

komplementarne pary antykodonów
i substratów reakcji Sticklanda

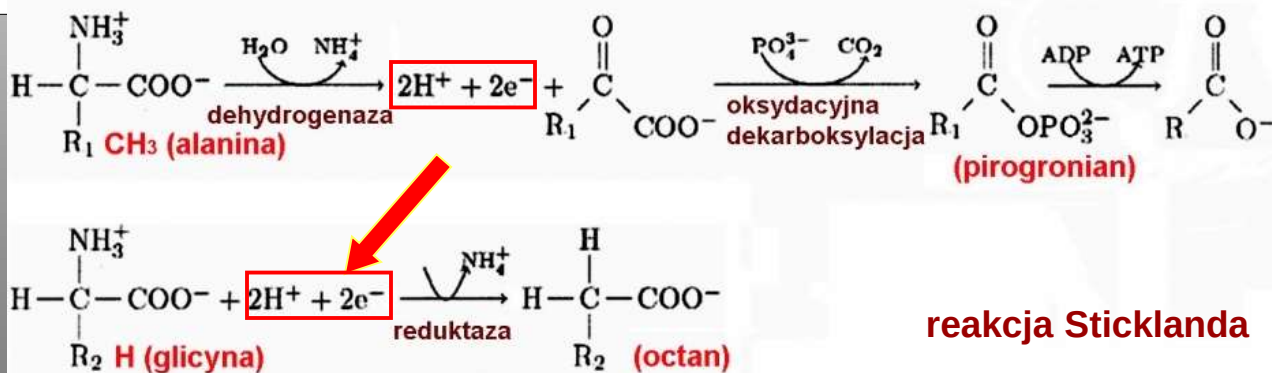


ewolucyjna rozbudowa tRNA



de Vlader (2012)

- pierwotnie aminokwasy źródłem energii (dla ATP)
- reakcja fermentacji Sticklanda par aminokwasów jeden utleniany (np. Ala), drugi redukowany (Gly)

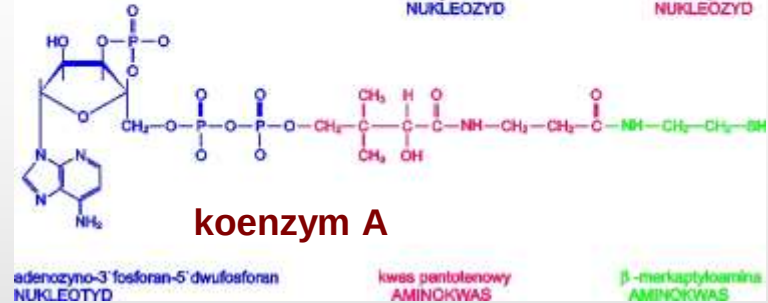
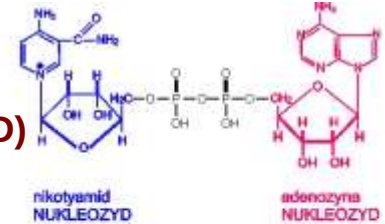


reakcja Sticklanda

kod genetyczny powstał przed białkami

PRZEJŚCIE między światami

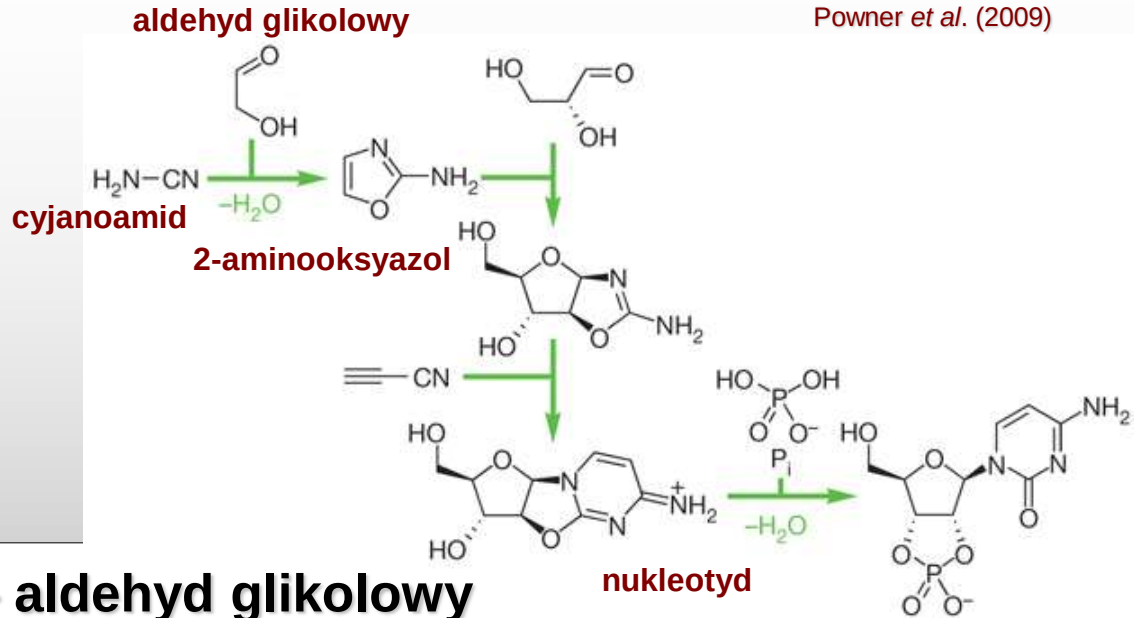
dinukleotyd nikotynamidoadeninowy (NAD)



- DNA powstało jako wyspecjalizowany nośnik dziedziczności dla zapewnienia trwałości przekazu
- nietrwałe RNA tylko przekaźnikiem zapisu i rybozymem
- uzupełnienie rybozymów o części polipeptydowe zwiększało zapewne ich zdolności katalityczne
- rybozimy zastąpione przez enzymy
- NAD i koenzym A to żywe skamieniałości molekularne ze świata RNA

niestabilnej rybozy nie mogło być w archaicznym nośniku dziedziczności

GENEZA świata RNA



- najprostszy cukier – aldehyd glikolowy
- w połączeniu z cyjanoamidem
- buforowany i katalizowany przez jony fosforanowe
- daje 2-aminooksyazol, który w sieci reakcji może dać nukleotyd pirymidynowy

UV i spontaniczna destylacja mogły oczyszczać i koncentrować „zupę”

PIERWOTNE

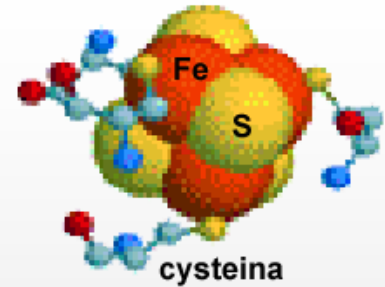
substancje zapasowe

- reakcja fermentacji glicyny pierwotniejsza niż glukozy:
 $\text{Gly} + \text{NADH} + \text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{octan} + \text{NH}_4^- + \text{NAD}^- + \text{ATP}$
- pierwotna rola aminokwasów jako nośników energii
- i (być może pojedynczo) jako centra aktywne katalizy
- ale nie wiadomo, jak aminokwasy syntezowane były pierwotnie bez udziału katalizy enzymatycznej

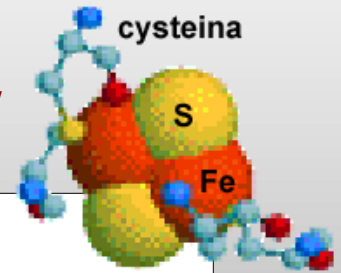
niektóre aminokwasy i metale mogły katalizować przed enzymami

ŚRODOWISKO

wodne wczesnego życia



kompleksy FeS z cysteiną w enzymach
beztlenowego transportu elektronów



- archaiczny ocean prawdopodobnie kwaśny, bo
- w enzymach tylko metale tworzące siarczki rozpuszczalne w kwaśnym środowisku (Fe, Mn, Zn, Co, Ni)
- siarczki nierozpuszczalne w takim środowisku, są truciznami (Pb, Hg, Sn, As, Sb, Bi, Cd, Cu, Ag)
- miedź dopiero u organizmów tlenowych

biologiczna ważność siarki (tioestry) i żelaza daje do myślenia

ŻYCIE

na podłożu mineralnym



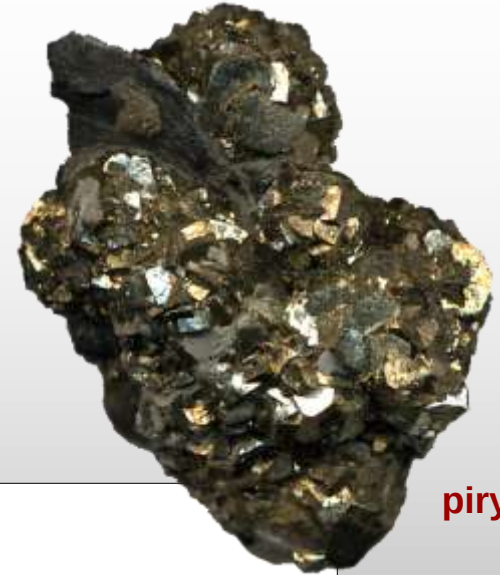
Günther Wächtershäuser (1938-)
1987 koncepcja „pierwotnej pizzy”

- **substraty pierwotnego życia musiały być skoncentrowane**
- **absorbpcja na powierzchni mineralnego kryształu ułatwia polimeryzację i uporządkowuje przestrzennie procesy**
- **być może były to glinokrzemiany (minerały ilaste), ale**
- **piryt (FeS_2) daje też możliwość pozyskania źródła energii**

energia z katalitycznego przekształcenia siarczków żelaza

CHEMOAUTOTROFIA

przedkomórkowa



piryt

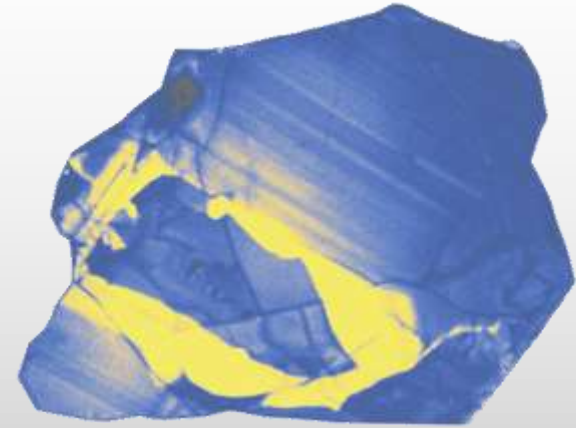
- pierwszym źródłem energii do procesów biologicznych mogła być synteza pirytu
- $\text{FeS} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS}_2 + \text{H}_2$
- $\text{HCO}_3^- + \text{FeS} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{HCOO}^- + \text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- bilans energetyczny reakcji dodatni $\Delta G = -37,1 \text{ kJ/mol}$
- reakcja wymaga katalizy

warunki musiałyby być beztlenowe, środowisko kwaśne

ŚRODOWISKO

początków życia

najstarszy cyrkon
Jack Hills Australia
4,4 Ga
(termoluminescencja)



- stopień utlenienia ceru ($\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$) w kryształach cyrkonu 4,4 Ga wskazuje na utlenienie hydrosfery takie jak dziś
- choć bez udziału wolnego tlenu
- głównymi składnikami atmosfery były więc CO_2 , SO_2 i N_2

życie możliwe tylko w roztworze ciekłej wody

POWSTANIE hydrosfery

Sleep & Hessler (2006)

konglomerat
z otoczkami krzemienia
grupa Moodies, Afryka Płd.
3,2 Ga

- wysoka zawartość $\delta^{18}\text{O}$ i inkluzje SiO_2 w kryształach cyrkonu 4,4 Ga wskazują na krystalizację w granicie
- który jest przekrystalizowaną skałą osadową
- wzbogacenie w kwarc skutkiem erozji wodnej
- otoczki (z wody) w konglomeracie od 3,2 Ga

ale kosmolodzy dowodzą bladego Słońca i mroźnego archaiku



ZIEMIA

bez kontynentów

zmetamorfizowany komatyt
trudno się topi, bo dużo Mg



- pierwsze stromatolity hydrotermalne
- lawy komatytowe (topnienie 1700°C – bazalt 1200°C) dowodzą intensywnego dryfu kontynentów
- późniejsze stygnięcie wyniosło kontynenty do góry
- wraz z diamentami powstałymi na głębokości 120 km

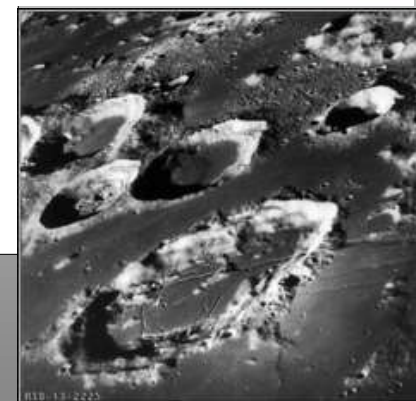
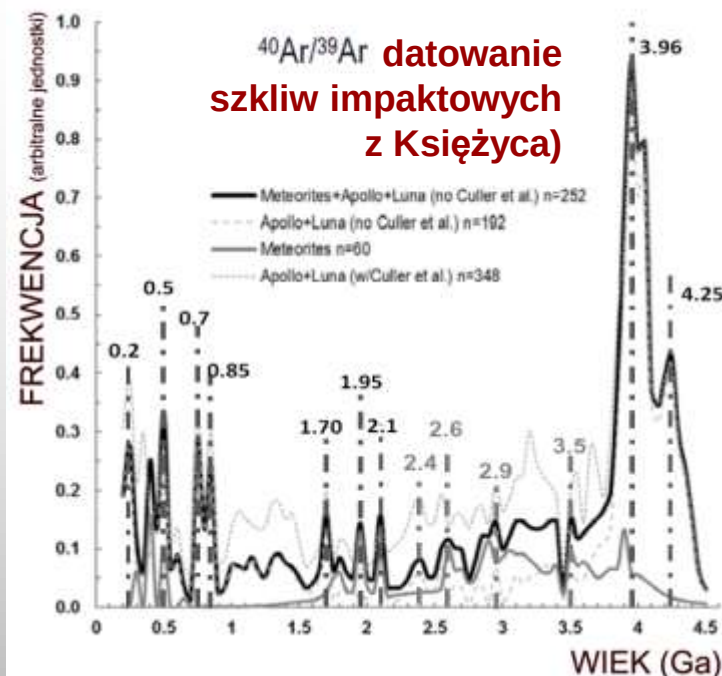
najwcześniejsze zdarzenia wymazane z zapisu

GRANICA

zapisu kopalnego



Gerald J. Wasserburg (1927-)
1971 koncepcja *late heavy bombardment*



- datowania kraterów na Księżycu dowodzą intensywnego bombardowania aż do 3,8 mld lat
- życie na Ziemi nie może być dawniejsze

w geologach nadzieja na zrozumienie początków życia

EWOLUCJA ŻYCIA NA ZIEMI

zapis kopalny

- skamieniałości dokumentują tylko ewolucję z tlenem
- dane geologiczne sporne
- teoria pochodzenia życia wciąż niekompletna

