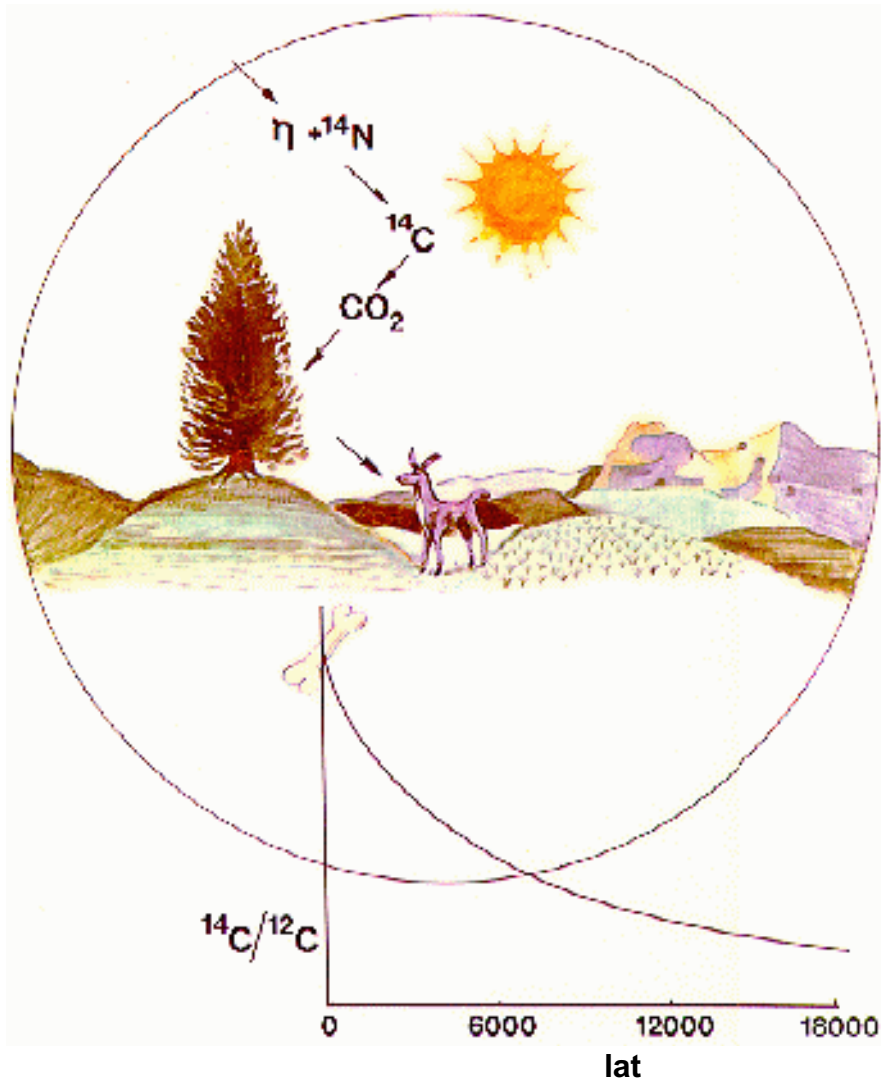




Fizyczne metody datowania w badaniu prehistorii człowieka

- **Metody**
 - radioizotopowe
 - luminescencyjne
 - magnetyczne
 - astro-klimatyczne
- **Wyniki**
 - homo erectus
 - homo sapiens
 - homo sapiens neandertalsis
 - homo sapiens sapiens

Datowanie ^{14}C

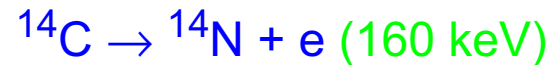


W atmosferze:

kosmiczny p + atmosfera $\rightarrow n$

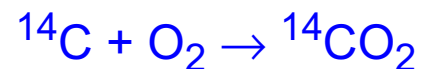


$\sigma = 1.7$ barn daje 7.5 kg/rok



$\tau_{1/2} = 5730$ lat

Równowaga: ${}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C} = 1.5 \cdot 10^{-12}$



${}^{14}\text{CO}_2$ jest absorbowany przez rośliny

Gdy organizm umiera, przestaje absorbować ^{14}C i stosunek ${}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ zmniejsza się.

Historia datowania ^{14}C



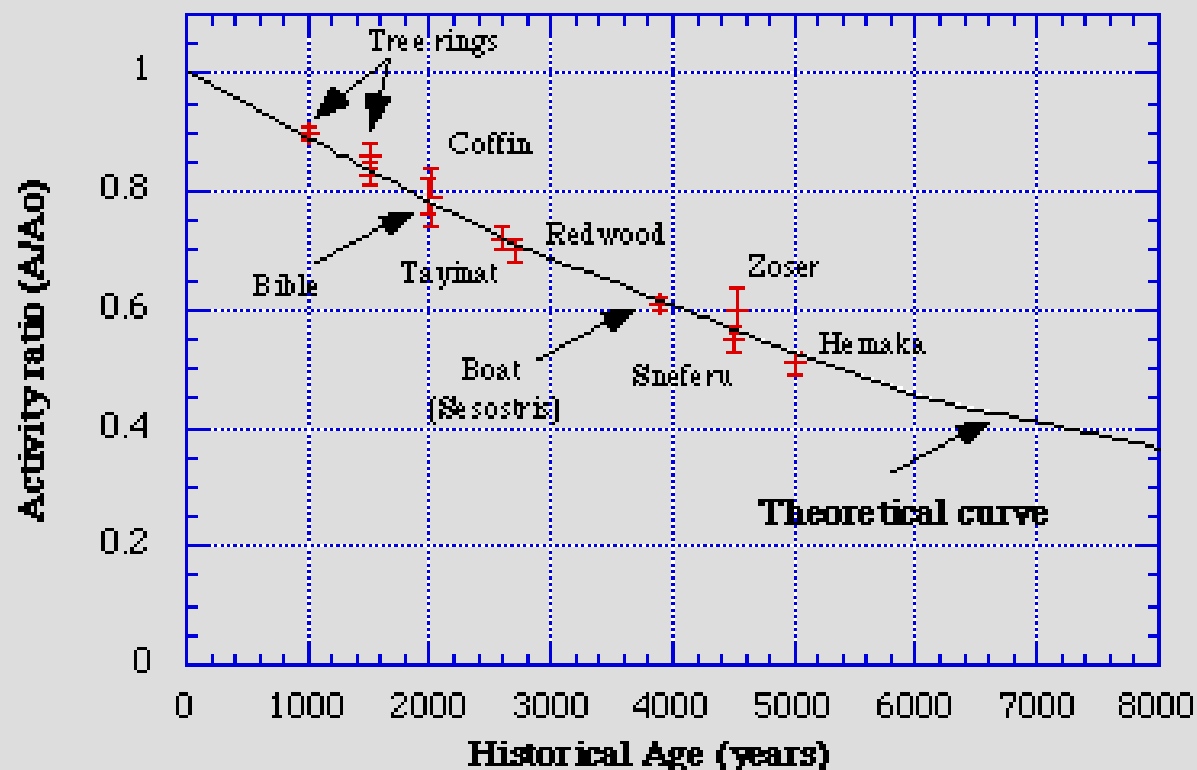
Pierwsze zastosowanie:
wiek miasta Jerycho
7000-8000 lat
dwa razy więcej niż przypuszczano

Metodę opracował Willard F. Libby w 1947 roku.

Nagroda Nobla 1960 r.

Pierwszy sprawdzian: **piramidy egipskie**

Imiona faraonów zaznaczono na wykresie



Cechowanie metody ^{14}C

Zmieniająca się w przeszłości intensywność promieniowania kosmicznego wymaga wprowadzenia poprawek.

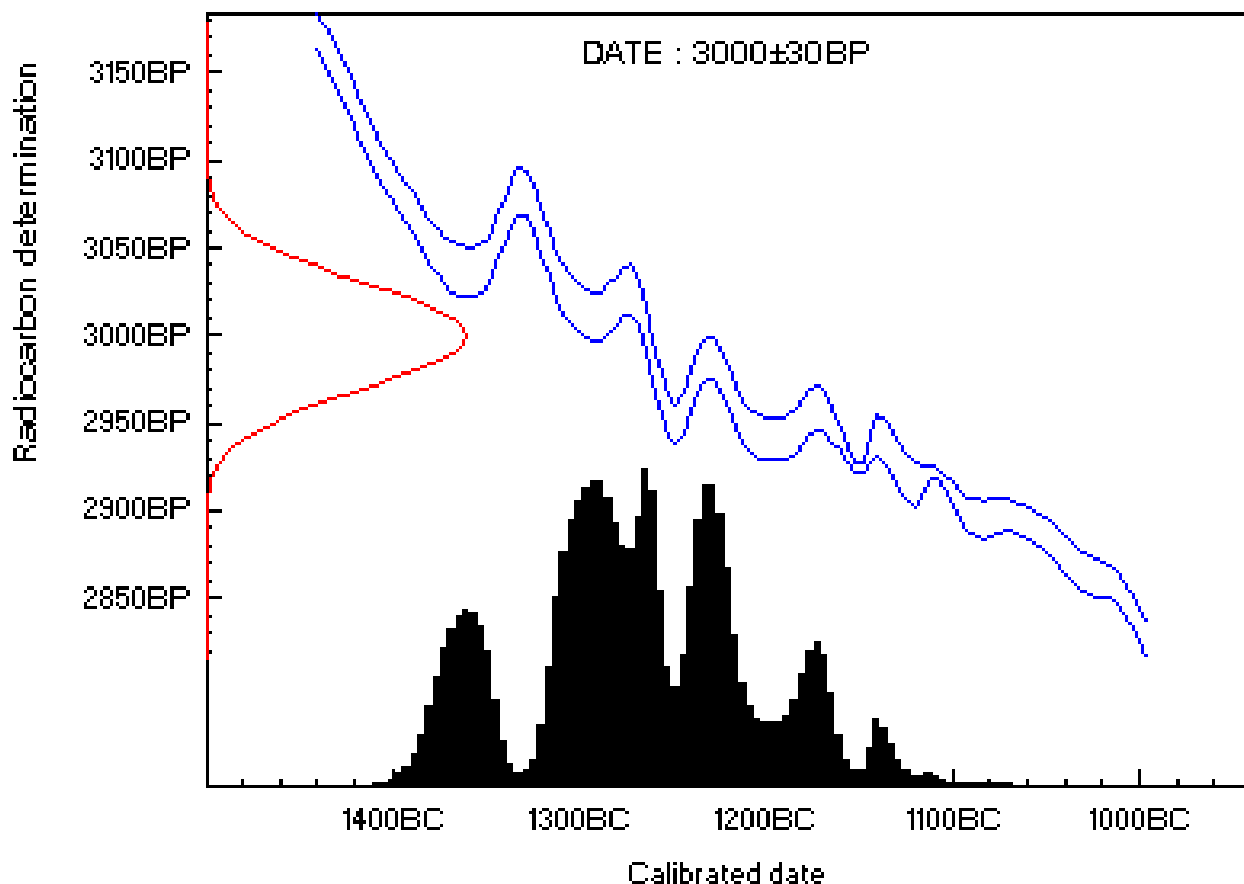
Skalę ^{14}C można cechować zliczając słoje drzew.

Rysunek pokazuje krzywą cechowania ($\pm\sigma$)

i przykładową ocenę próbki.

Wiek ^{14}C - 3000 ± 30 lat temu - przekształca się na rozkład prawdopodobieństwa wieku próbki.

Wynik: 1130-1390 I.p.Ch. na poziomie ufności 95%.



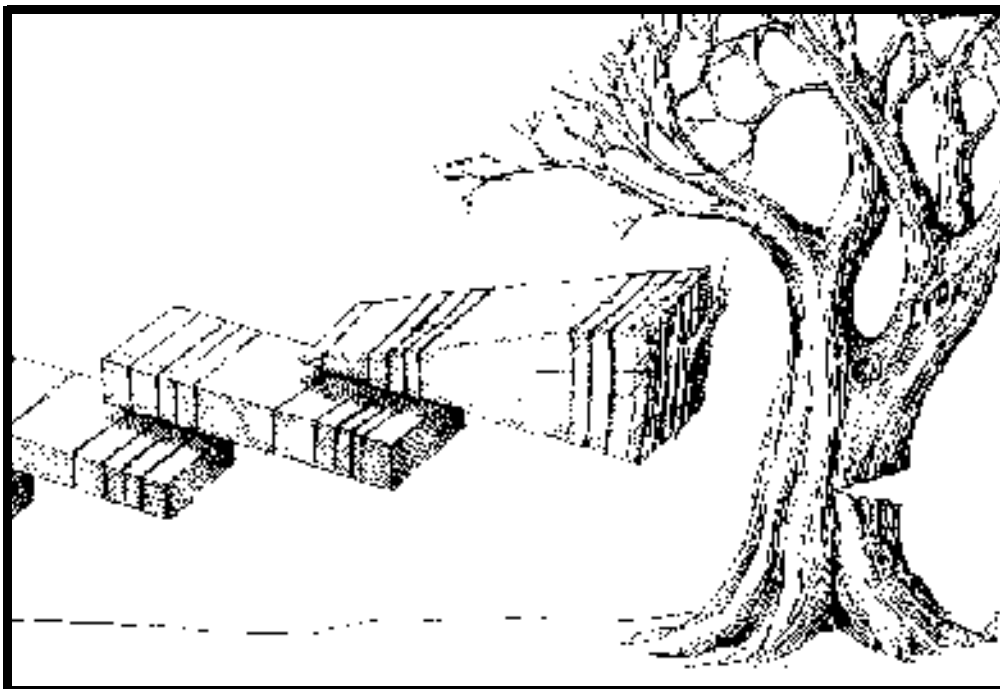
Zliczanie słoï drzew

Do datowania najlepiej nadają się sosny *pinus aristata* *longaeva* rosnące w kalifornijskich górach White-Inyo.

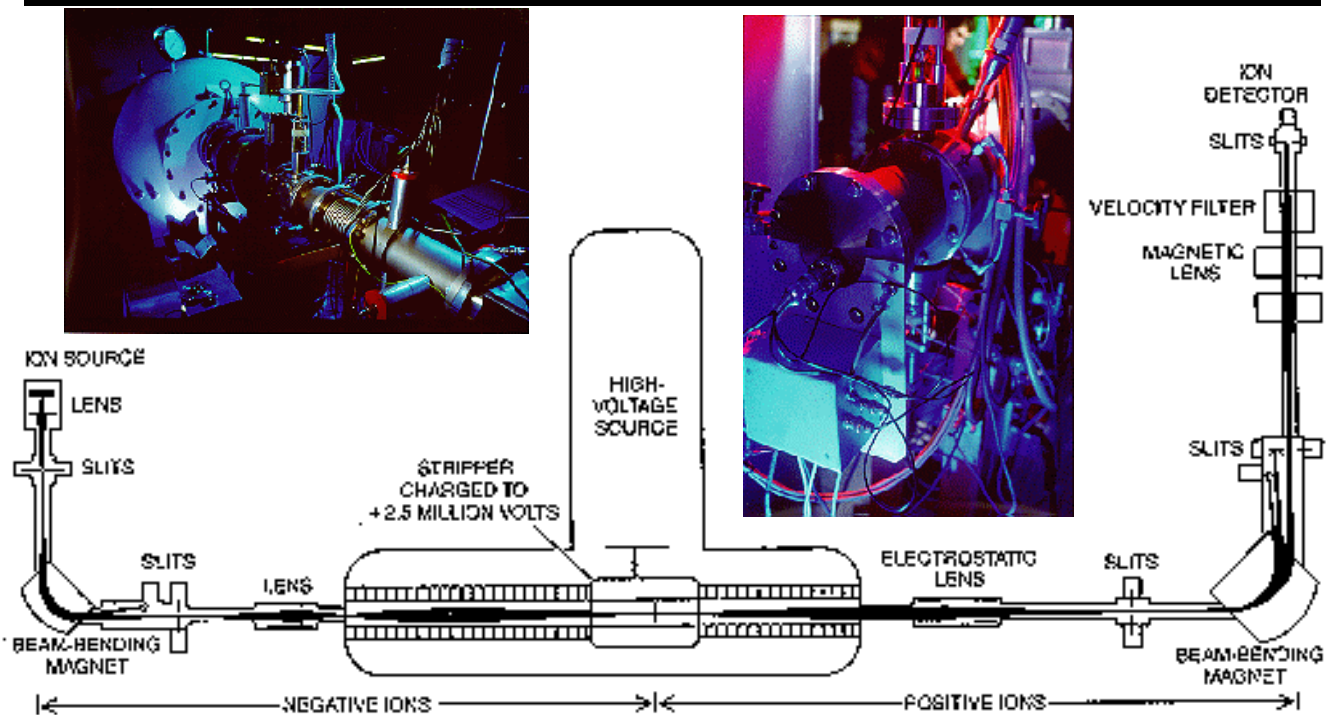
Najstarszy żywy okaz "Methuselach" ma **4764 lata**.



Metodę można rozszerzyć do ~10 000 lat porównując zgęszczenia słoï młodszych i starszych drzew.



^{14}C - akceleratorowa spektroskopia mas



Pierwotnie zawartość ^{14}C oceniano mierząc intensywność promieniowania licznikami gazowymi lub scyntylacyjnymi.

Od lat 80-tych liczbę atomów ^{14}C ocenia się wyodrębniając je z próbki za pomocą akceleratora sprzężonego ze spektrometrem masowym.

Próbka (grafit lub CO_2) jest jonizowana ujemnie (by uniknąć pomyłki z ^{14}N) przez bombardowanie jonami Cs.

Powstałe jony formuje się w wiązkę (typowo 25 keV) i przepuszcza przez spektrometr I stopnia, który wybiera jony o masie 14: $^{14}\text{C}^-$, $^{13}\text{CH}^-$, $^{12}\text{CH}_2^-$.

Wiązka ta jest następnie przyspieszana do 1 MeV i zderzana z cząsteczkami gazu w celu rozbicia $^{13}\text{CH}^-$ i $^{12}\text{CH}_2^-$.

Ostatecznie wiązkę rozpędza się do 8 MeV i spektrometrem II stopnia wybiera ^{14}C .

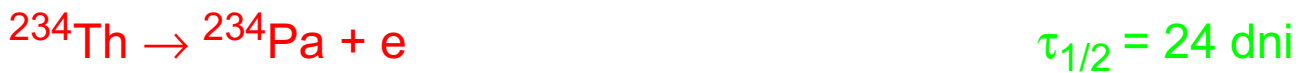
Inne radioizotopy

Metoda ^{14}C ($\tau_{1/2}=5730$ lat) sięga do 40-50 tys. lat wstecz.

Po 40 000 lat zawartość ^{14}C zmniejsza się do 1%.

Tak więc domieszka 1% "nowego" ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}=1.5 \cdot 10^{-12}$) węgla może dowolnie starą próbkę "odmłodzić" do 40 000 lat.

Metoda uranowo-torowa



Uran rozpuszcza się w wodzie, tor nie. Dlatego skały osadowe w momencie tworzenia zawierają uran, a są wolne od toru. Stosunek ^{238}U do powstałego zeń ^{230}Th pozwala więc określić wiek skamieniałości.

Metoda potasowo-argonowa



Argon ulatnia się z roztopionej lawy. W momencie zastygnięcia lawa zawiera ^{40}K , a jest wolna od ^{40}Ar .

Zawartość nowopowstałego ^{40}Ar w skale bazaltowej pozwala określić moment jej zastygnięcia.

Termoluminescencja (TL)

W niektórych kryształach (kwarc, kalcyt) elektrony mogą być przeniesione z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa dzięki promieniowaniu naturalnemu (^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , ^{87}Rb , ^{40}K) lub kosmicznemu.

Dyfundując mogą napotkać defekty sieci, w których zostaną uwięzione.

Dostarczenie energii (np. przez podgrzanie) powoduje ich uwolnienie, po którym może nastąpić emisja fotonu.



Metoda TL mierzy czas od ostatniego "wyzerowania" próbki, tj. uwolnienia wszystkich elektronów w temperaturze $>300^{\circ}\text{C}$ (krzemień rozgrzany w ogniu, wypalone wyroby garncarskie).
dłuższy czas \rightarrow więcej e^{-} w pułapkach \rightarrow silniejsza luminescencja

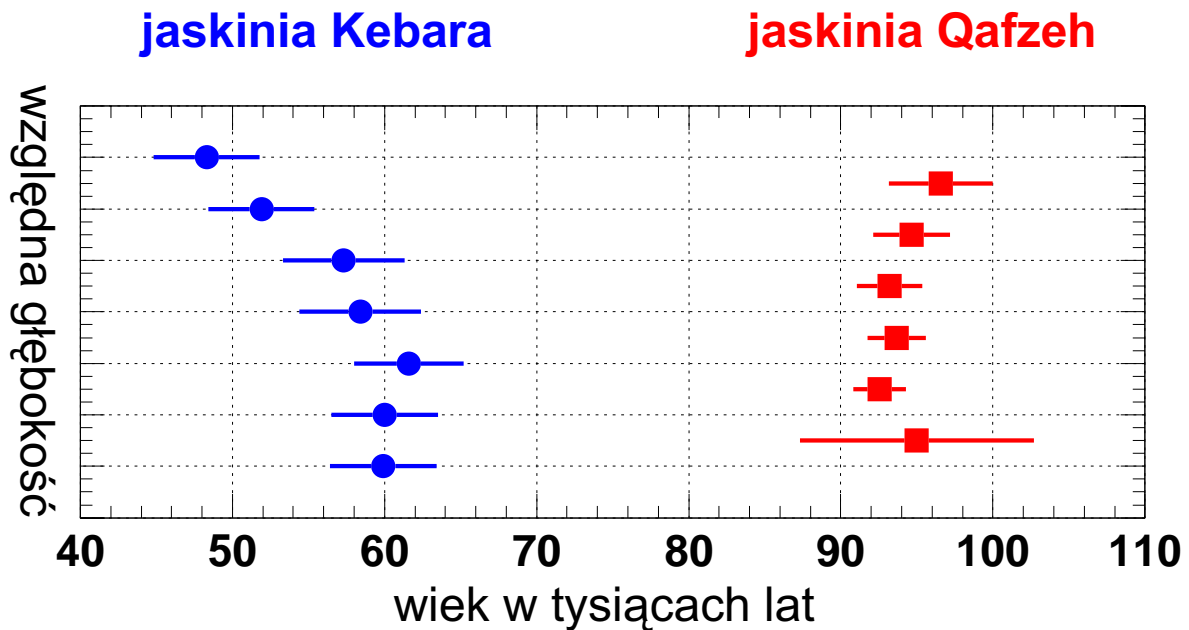
Pomiar składa się z trzech faz:

1. Pomiar intensywności luminescencji L podgrzanej próbki
2. Naświetlenie źródłem wzorcowym w celu znalezienia dawki P potrzebnej do wywołania luminescencji L
3. Ocena rocznej dawki D zaabsorbowanej przez próbkę
 - pomiar promieniowania w miejscu znaleziska, lub
 - pomiar laboratoryjny przywiezionej stamtąd gleby

$$\text{wiek} = P/D$$

Zastosowanie TL

Dzięki zastosowaniu TL do datowania krzemienia w jaskiniach izraelskich, w których znaleziono szczątki **Neandertalczyków** i **Homo sapiens sapiens** stwierdzono, że gatunki te współistniały na tych terenach przez ~40 tl.



OSL & ESR

Wymuszona fotoluminescencja

Optically-Stimulated Luminescence (OSL)

- **Metoda podobna do TL**
 - elektrony uwalnia się naświetlając próbkę
- **OSL jest czulsza niż TL**
 - gdyż uwalnia e jedynie z płytszych pułapek do wyzerowania wystarcza silne nasłonecznienie
- **Nadaje się do datowania osadów**
 - less, wydmy, pył w lodowcach, dno morskie

Pre-neandertalskie czaszki sprzed 200 tlt w Biache, Francja

Elektronowy rezonans spinowy (ESR)

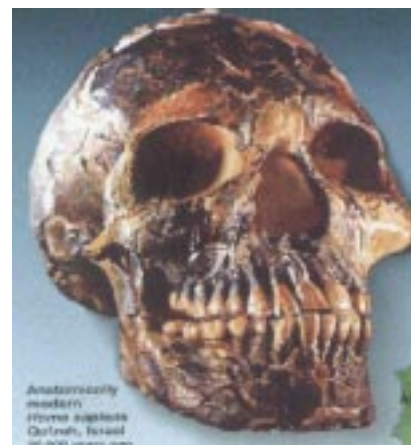
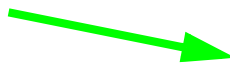
Liczba elektronów w pułapkach jest mierzona za pomocą rezonansu spinowego.

- Próbkę umieszcza się w silnym, statycznym polu magnetycznym ($\sim 1T$), które powoduje rozszczepienie poziomów różnych stanów spinowych elektronów.
 - Poddaje się ją działaniu mikrofal ($f \sim GHz$).
 - Rezonansowe pochłanianie energii mikrofal zachodzi gdy ich częstość odpowiada rozszczepieniu.
- **Znakomita metoda datowania emalii na zębach.**

Homo sapiens sapiens
w jaskiniach izraelskich
Skhul i Qafzeh:

110 ± 10 i 120 ± 8 tlt

Homo erectus na Jawie:
 27 ± 2 i 53 ± 4 tlt!



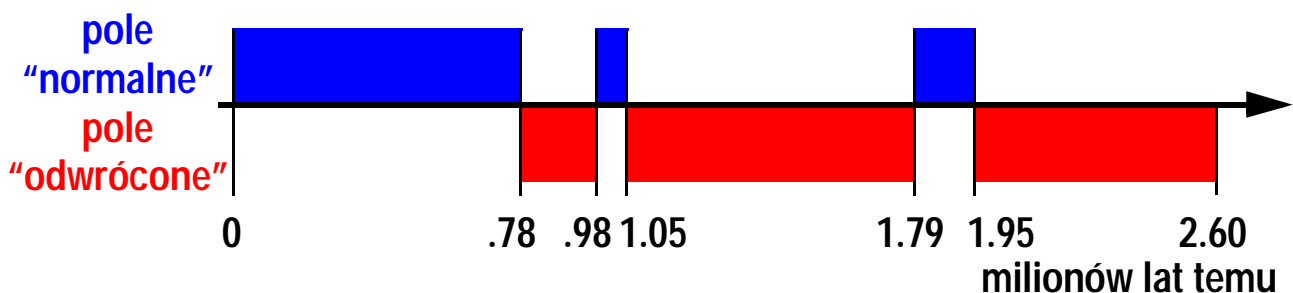
Metody "globalne"

Metody magnetyczne

Domeny tlenku żelaza w rozgrzanym materiale (lawa, glina w piecu garncarskim) układają się zgodnie z polem magnetycznym Ziemi.

Zmienność kierunku ziemskiego pola pozwala na wykorzystanie "zamrożonej" magnetyzacji do datowania.

Dziecko homo erectus na Jawie — namagnesowanie minerałów "normalne" → wiek=1.81±0.04 M lat.

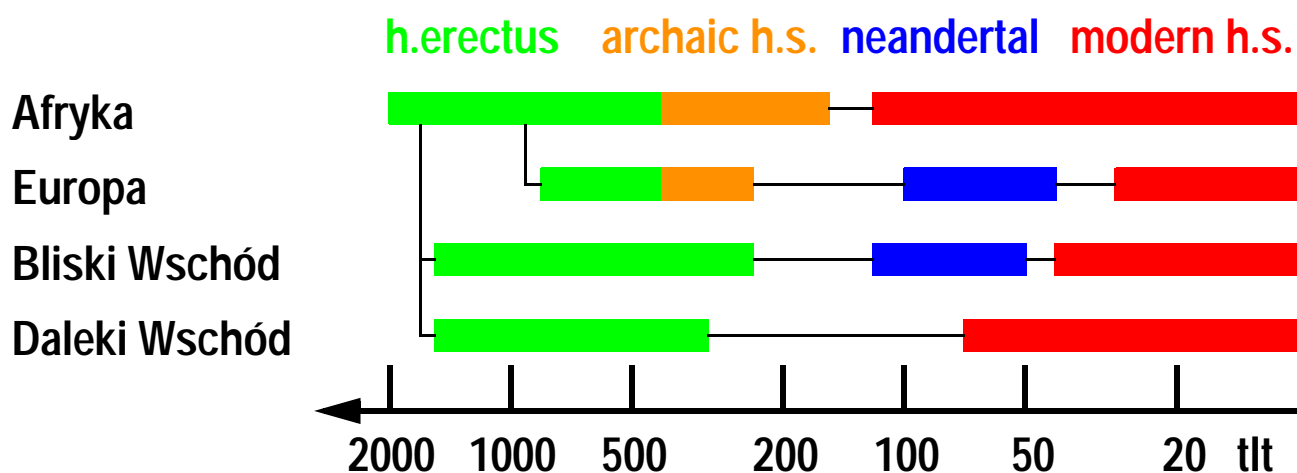


Metody astro-klimatyczne

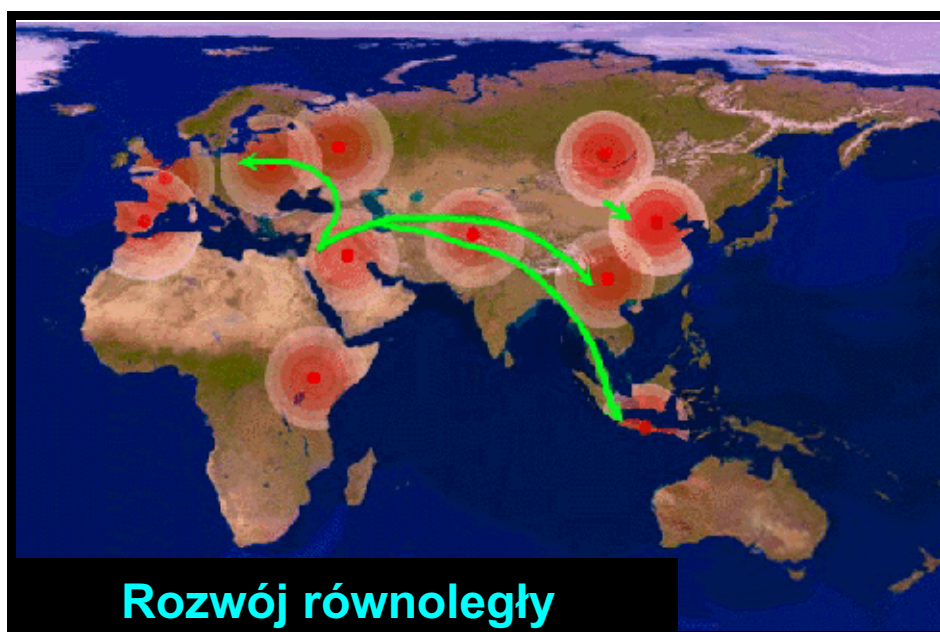
Korelacja

- zmian położenia Ziemi względem Słońca,
- długoterminowych zmian klimatycznych
- oraz ich efektów fizycznych i biologicznych
 - poziom oceanów — niski w okresach zlodowaceń
 - nagromadzenie pyłków kwiatowych w osadach — bogatsze w cieplejszych okresach
 - przenikalność magnetyczna osadów — zależna od rozpuszczania magnetytu w procesach biologicznych
 - względne stężenia izotopów, np.
 - $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ czuły na temperaturę,
 - $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ zależny od fotosyntezy,
 - itp.

Stan wiedzy w 1980 roku



Model ewolucji zakładał równoległy rozwój na różnych kontynentach od homo erectus do h.s. współczesnego.



Rozwój równoległy

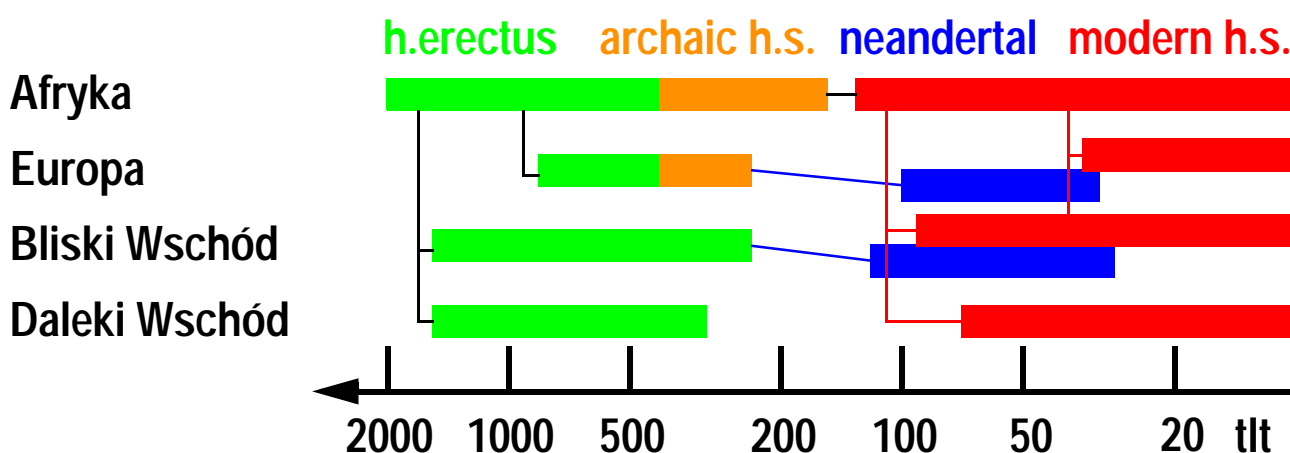
Stan wiedzy w 1998 roku

Pierwszy Neandertalczyk: Zuttiyeh, Izrael, 105-120 tlt
w Europie: Saccopastore, Włochy, 100 tlt

Ostatni Neandertalczyk: Amud, Izrael, 28 tlt
Zafarraya, Hiszpania, 27 tlt;

Pierwszy homo sapiens sapiens: Omo Kibish, Etiopia, 130 tlt
Qafzeh, Izrael, 92 tlt

w Europie: Cro Magnon, Francja, 28 tlt (ozdoby 34 tlt)



Model “wyjścia z Afryki” zakłada rozwój od wspólnego przodka homo sapiens sapiens.



Metody genetyczne

Wyznaczanie wieku i genotypu wspólnego przodka poprzez odtwarzanie w tył mutacji koniecznych do wygenerowania obserwowanej różnorodności.

1987, A.Wilson, et al. — mitochondrialne DNA (mtDNA)
(dziedziczone tylko od matki)

147 ludzi z Afryki, Azji, Australii, Kaukazu, Nowej Gwinei

→ dwie grupy: "Afryka" i "reszta" zbiegające się **90-180 tlt**

→ "Ewa": Afryka, **140-290 tlt**

procedura obliczenia tempa mutacji zakwestionowana w 1992

1995, K.Tamura, M.Nei — mtDNA z Afryki, Europy i Japonii

→ "Ewa": Afryka, **143 tlt**, (120-470 tlt)

1995, M.F.Hammer — fragment chromosomu Y

(dziedziczonego tylko od ojca)

8 Afrykanów, 2 Australijczyków, 3 Japończyków, 2 Europejczyków

→ "Adam": Afryka, **184±94 tlt**, (51-410 tlt @ 95% CL)

1995, L.S.Whitefield, et al. — fragment chromosomu Y

Włoch, Melanezyjczyk, Rondon, Tsumkwe, Mbuti

→ "Adam": Afryka, **37-49 tlt**

1996, S.A.Tishkoff, et al. — gen CD4 w chromosomie 12

1600 ludzi z 42 populacji: Afryka, Azja, Europa, Pacyfik, Ameryki

→ "wyjście z Afryki": między **102 a 217-313 tlt**

DNA Neandertalczyka

1997, M.Krings, et al. odtwarza sekwencję (397 par nukleotydów) mtDNA Neandertalczyka sprzed 40 000 lat i porównuje z 2051 sekwencjami ludzkimi i 59 szympansimi.

Badaną zmienną jest liczba różnic (najczęściej zamiana piramidyn lub puryn) między dwoma sekwencjami.

- *Średnie różnice:*

– człowiek – człowiek =	8.0
– człowiek – Neandertalczyk =	25.6
– człowiek – szympan =	55.0

– Europejczyk – Neandertalczyk =	28.2
– Afrykańczyk – Neandertalczyk =	27.1
– Azjata – Neandertalczyk =	27.7
– Amerykanin – Neandertalczyk =	27.4
– Oceanoaustralijczyk – Neand. =	28.3

- *Rozgałęzienie homo sapiens sapiens – Neandertalczyk:*
555-690 tlt

- *“Ewa”:* **120-150 tlt**

Prawdopodobny scenariusz

- ~2000 tlt** Wyodrębnienie się **homo erectus** w Afryce
- 1600-800 tlt** **Homo erectus** przenosi się na inne kontynenty
- 500-200 tlt** **Homo erectus** przekształca się stopniowo w archaicznego **homo sapiens**
- 130-100 tlt** **Homo sapiens** w basenie Morza Śródziemnego daje początek **Neandertalczykowi**, który opanowuje całą Europę i Bliski Wschód
- 150-120 tlt** **Homo sapiens** w Afryce daje początek **homo sapiens sapiens**
- 110-90 tlt** **Homo sapiens sapiens** pojawia się na Bliskim Wschodzie
- ~35 tlt** **Homo sapiens sapiens** gwałtownie opanowuje całą Europę, wypierając **Neandertalczyka**
- ~35 tlt** Eksplozja kulturalna **homo sapiens sapiens** (**Cro Magnon**)

Eksploracja kulturalna



Chauvet, 31 tlt

Wenus z Willendorf, 25-30 tlt

Mamut z Pech-Merle, 20 tlt

Hohlenstein, 32 tlt

głowa z kości mamuciej, 26 tlt

Lascaux, 15-17 tlt



Pytania bez odpowiedzi

W Europie odkryto >200 jaskiń. Co roku odkrywa się nowe. Żadna jednak nie przekracza magicznej granicy 35 000 lat.

Dlaczego homo sapiens sapiens, genetycznie i anatomicznie niemal identyczny z nami, od 120 do 35 tlt nie rozwinął żadnej kultury?

Co się wydarzyło 35 000 lat temu?

Dlaczego Cro Magnon nagle tak bardzo się rozprzestrzenił, i całkowicie wyparł Neandertalczyka?

Dlaczego zaczął zdobić narzędzia, rzeźbić, malować na ścianach jaskiń?

Wydaje się, że dlatego iż rozwinął język, zaczął używać symboli, myśleć abstrakcyjnie.

Ale dlaczego nastąpiło to tak nagle i dlaczego dopiero 35 000 lat temu, a nie np. 80 000 lat wcześniej?

A może istnieją dawniejsze malowidła i rzeźby, które czekają na odkrycie?

Albo pomyliliśmy się w datowaniu pierwszych h.s.s. lub przegapiliśmy istotne różnice anatomiczne czy genetyczne?

To wszystko mało prawdopodobne, ale nie wykluczone.

Odpowiedź może przybliżyć jedynie cierpliwe poszukiwanie i dalsze doskonalenie metod fizycznych i genetycznych.