# Fenomén OKLO

Irena Špendlíková, Jan Krmela

# Vsuvka aneb co dokáže člověk s reaktorem

- **Černobyl – neslavný důkaz co dokáže člověk s reaktorem**

1977 – v provozu

1982 – první nehoda na reaktoru č. 1 – zveřejněno až v roce 1985 – částečné tavení jádra reaktoru

1986 – havárie v Černobylu; 26.4., č.4, obecně považována za největší nehodu v dějinách jaderné energetiky – radionuklidy z elektrárny jsou i dnes patrné na velké části Evropy

1991 – požár turbíny v 2. bloku

# Vsuvka aneb co dokáže člověk s reaktorem

- Černobyl – neslavný důkaz co dokáže člověk s reaktorem

# Vsuvka aneb co dokáže člověk s reaktorem

- **Černobyl – neslavný důkaz co dokáže člověk s reaktorem**

2000 – 15.12. vypnutí posledního reaktoru, neustále však v reaktorech 1-3 dochází k práci – vyřazování z provozu

První fáze - odstranění vysoce radioaktivních látek a vyhořelého paliva

Druhá fáze – vyřazování budov

Vyřazování probíhá v současnosti na prvním bloku (do 2020-2022)

# Vsuvka aneb co dokáže člověk s reaktorem

- Černobyl – konzervace 4 bloku rekatoru reaktoru

# Vsuvka aneb co dokáže člověk s reaktorem

- **Rychlý množivý reaktor SNR-300 (KALKAR)**

1972 – zahájení projektu

1979 – přerušení výstavby z důvodu bezpečnosti v reakci na nahodu v Three Mile Islands; obavy z kontroly rychlých reaktorů a chlazením (sodík)

1985 – dokončena výstavba; první zkoušky chladiva; zemská vláda blokuje zavážení paliva; federální vládá odkládá zpuštění; nová vláda zamítá další výstavby rychlých reaktorů;

1986 – havárie v Černobylu

# Vsuvka aneb co dokáže člověk s reaktorem

- **Rychlý množivý reaktor SNR-300 (KALKAR)**

1991 – rozhodnutí o uzavření elektrárny; částečná demolice; prodej nepoužitého paliva a strojů;

1995 – zařízení podáno do prodeje

1995 – kupuje Holandský investor za 2,5 mil EUR (celý projekt sežral 4 miliardy EUR) – **co umí holanďani nejlépe ????**

# Vsuvka aneb co dokáže člověk s reaktorem

- **Rychlý množivý reaktor SNR-300 (KALKAR)**

  **= Kernwasser Wunderland (Wunderland Kalkar)**

# Důkaz o existenci štěpné reakce

- zastoupení a množství stabilních štěpných produktů
- izotopy neodymu – odhalování tajných štěpných reaktorů, přepracování, testování jaderných aktivit

| Hmotnostní číslo | Zastoupení | | Zastoupení ze štěpení $^{235}U$ |
|---|---|---|---|
| | přírodní složení | naměřené hodnoty ze vzorků z oblasti Oklo | |
| 142 | 27.19 | 1.68 | - |
| 143 | 12.19 | 22.25 | 28.88 |
| 144 | 23.80 | 31.69 | 26.91 |
| 145 | 8.29 | 17.49 | 19.07 |
| 146 | 17.18 | 15.49 | 13.70 |
| 148 | 5.73 | 7.99 | 8.20 |
| 150 | 5.62 | 3.41 | 3.20 |

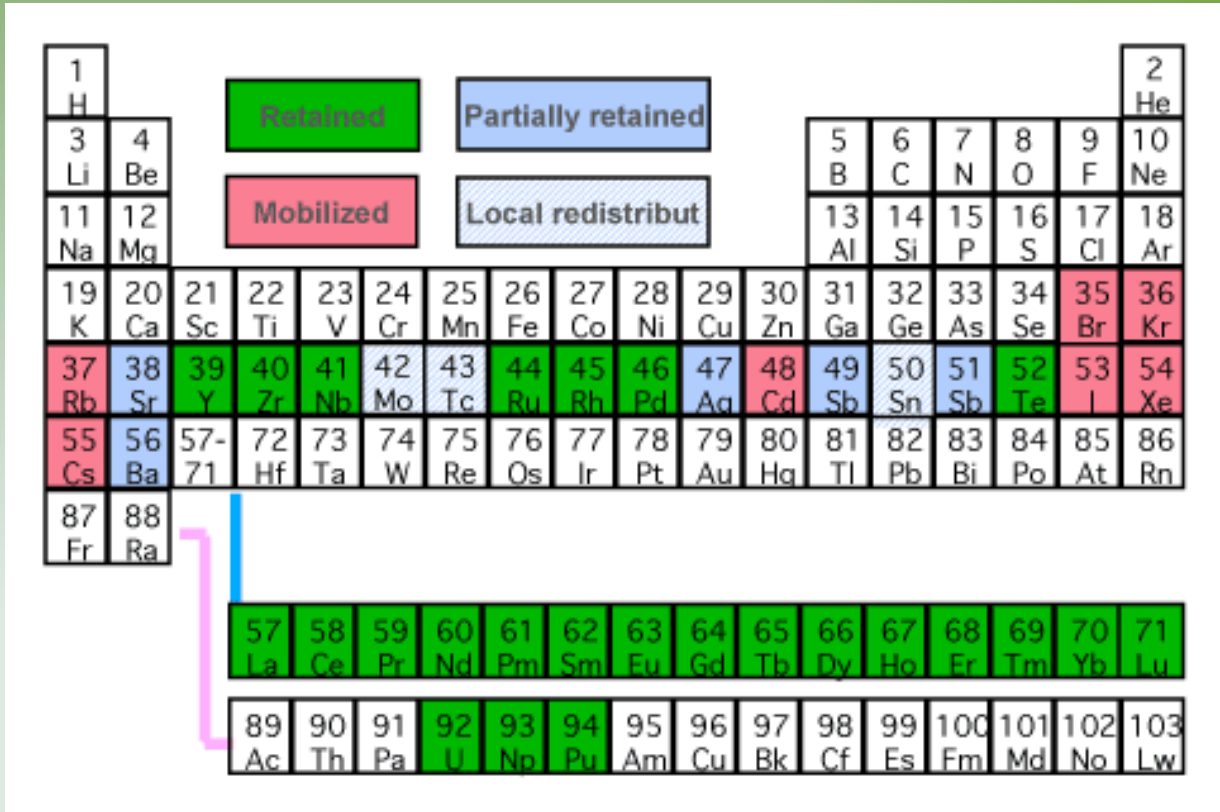
# Přírodní radioaktivní odpady

<u>Migrující</u>

- Xe – v aluminium-fosfátových zrnech
- Cs – po 25-30 milionů let v zónách
- I – rozpustné sloučeniny ve vodě

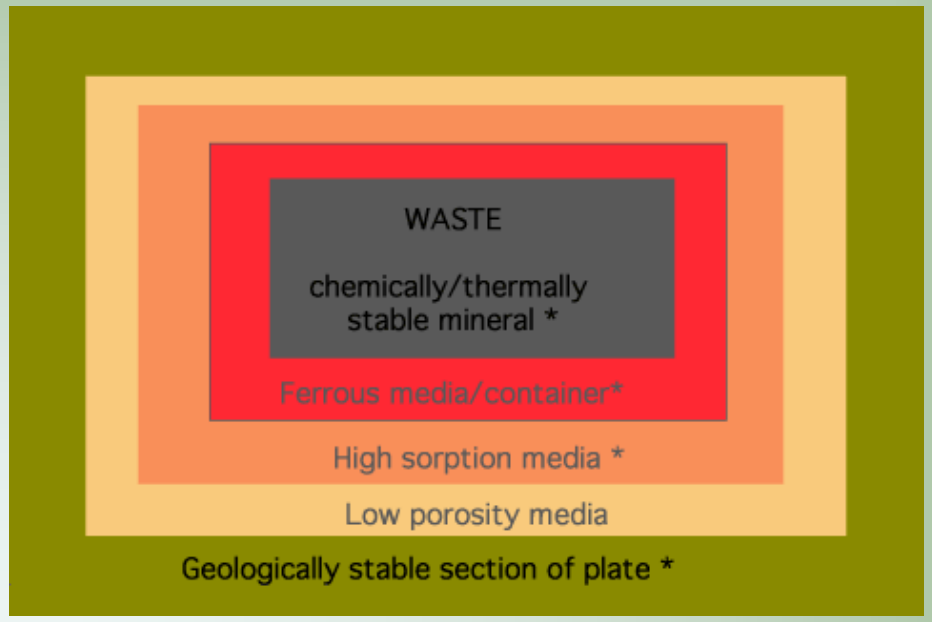
<u>Stálé v zónách</u>

- transurany
- vzácné zeminy



# Moderní úložiště

=> koncept mnohonásobné bariéry




*1 – Struktura JP*

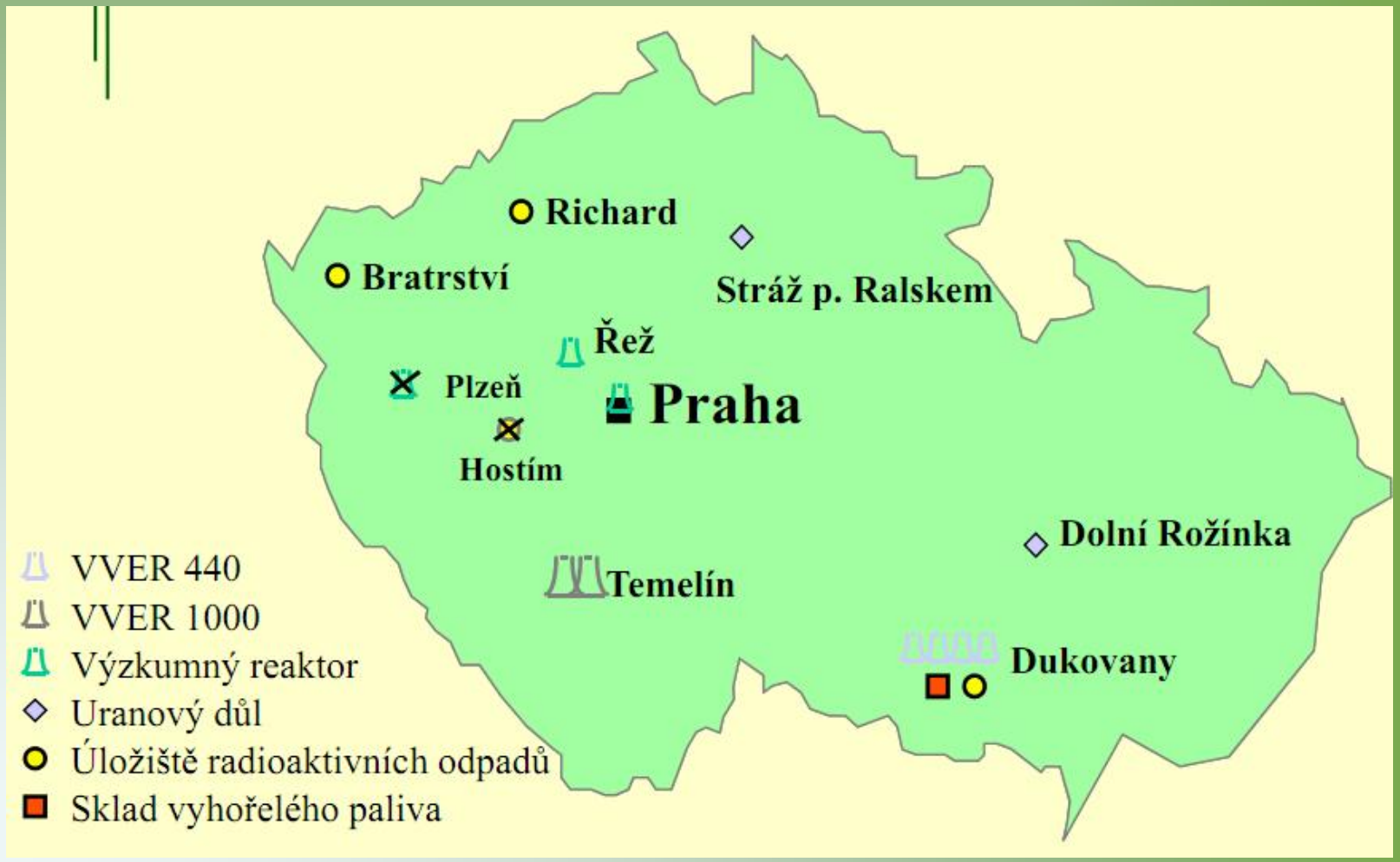
*2 – Povlak palivových kazet*

*3 – Úložný kontejner*

*4 – Zásypové materiály*

*5 - Horninové prostředí*

# Moderní úložiště



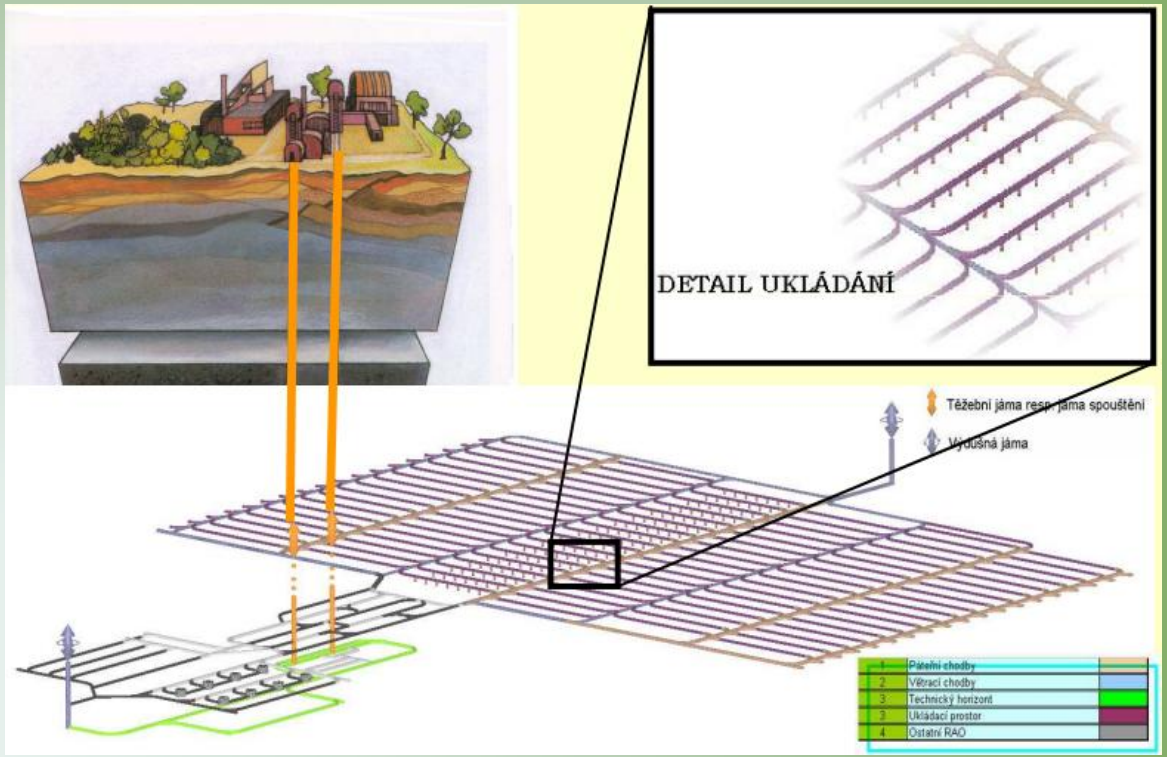
# Moderní úložiště

2003 – návrh nadzemní části úložiště v ČR

# Moderní úložiště

Lokality:

Čertovka, Březový potok, Magdalena, Čihadlo, Boletice



# A co příroda?

1 - uranová ruda: smolinec

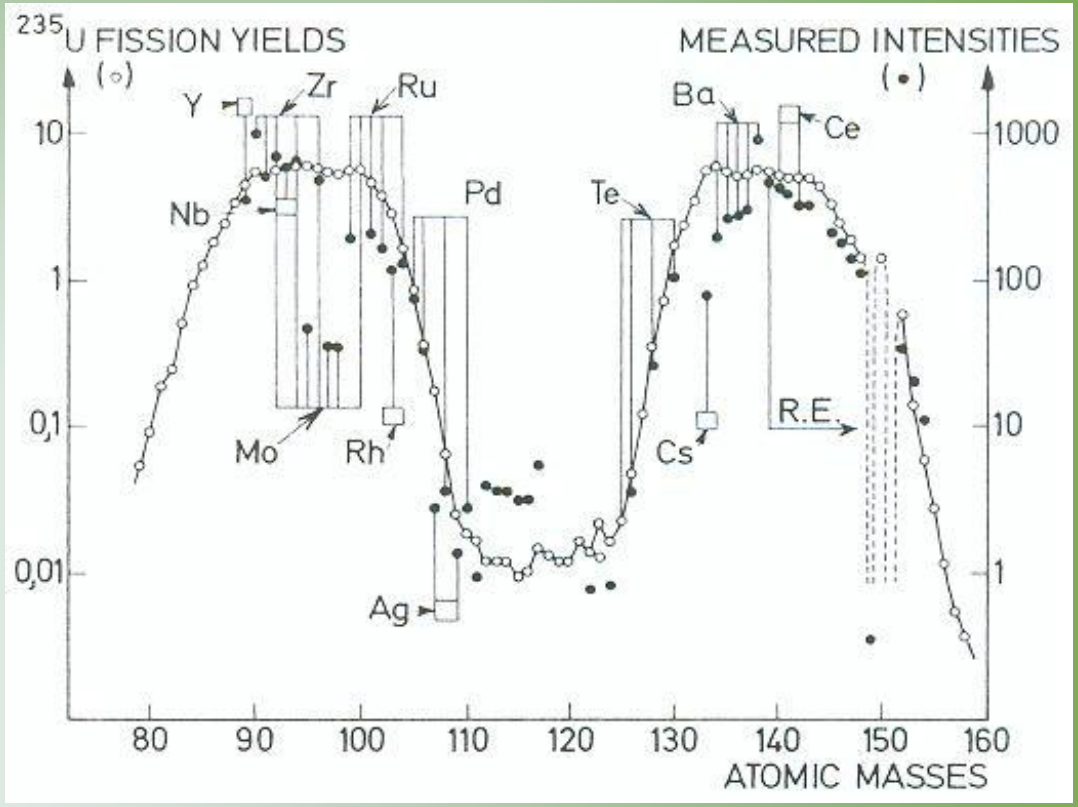
2 - bitumen

3 – jílovité horniny

po 2 miliardy let štěpné produkty udržovány v zónách nebo v jejich blízkém okolí

# Migrace štěpných produktů

- Porovnání zastoupení jednotlivých radionuklidů v OKLO s výtěžky štěpení U-235 tepelnými neutrony



# Migrace štěpných produktů

- **<u>Vzácné zeminy a uran</u>**

- **Uran**

  nedocházelo k výraznému přerozdělení uranu v reaktorových zónách (na okrajích zón – malé anomálie – kontaminace okolo zón ochuz. U – 1 m)

- **Vzácné zeminy**

  limitovaná migrace do několik decimetrů (velmi malá) dána přítomností vodní proudů v čase, odražené atomy, oxidace uranové rudy – rozpouštění (těžší radionuklidy migrovali více)

# Migrace štěpných produktů

- **<u>Alkalické kovy a kovy alkalických zemin</u>**

- **Rb, Cs, Sr, Ba**

do dnešní doby bylo prakticky všechno vylouženo – 5% zůstalo

poměr Ba-135/Ba-137 – vyšší než přírodní

$$^{135}Cs \xrightarrow{2.10^6\ let} {}^{135}Ba$$

$$^{137}Cs \xrightarrow{30{,}17\ let} {}^{137}Ba$$

Cs bylo zadržováno alespoň částečně po dobu 25 – 30 mil. let

# Migrace štěpných produktů

- **<u>Ruthenium a Technecium</u>**

  různé zastoupení Ru-99 (-30% - +15%)

  Tc-99 (2,13.10E6 let) → Ru-99

  způsobeno jak moc v daném místě migrovalo Tc-99

  Ruthenium méně migrující než neodym

# Migrace štěpných produktů

- **Pd, Ag, Te**
  z velké části zůstali v reaktorové zóně
- **Cd**
  zachyceno pouhých 10%
- **Zr, Ce, Sr**
  zachycovávání v okolních jílovitých horninách

# Migrace štěpných produktů

- **<u>Plutonium</u>**

  na 100 vzniklých jader (Pu-239, T = 24 100 let) – 93 alfa rozpadem na U-235, 5 podlehlo štěpení, 3 reakcí s neutronem na Pu-240 (6500 let)

  nebyly dosud nalezeny žádné důkazy o jeho migraci z reaktorových zón

# Proč nedošlo k výbuchu?

- autoregulační mechanismus založen na přítomnosti vody

voda

konec moderace neutronů
„chladnutí“ zóny
snížení teploty pod $t_V$(voda)

zažehnutí reakce
moderace neutronů
zvýšení teploty nad $t_V$(voda)

pára

# Migrující izotopy xenonu

- **<u>Základní info o xenonu a jeho izotopů</u>**

  Xenon

  - bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu, nereaktivní

  - zastoupení v zemské kůře 5.10E-6 %

  - 9 stabilních izotopů ($^{124}Xe$, $^{126}Xe$, $^{128}Xe$, $^{129}Xe$, $^{130}Xe$, $^{131}Xe$, $^{132}Xe$, $^{134}Xe$, $^{136}Xe$) a asi 40 nestabilních – slouží pro studium geologických přeměn v zemské kůře

# Izotopová analýza xenonu

1) Leštěný plátek horniny z oblasti OKLO rentgenový spektrometrem – mapa složení leštěného plátku
2) vybudit xenon ze struktury krystalu (tepelně nad bod tání krystalické struktury, nebo laserově – xenon se uvolní z malé části krystalové struktury)
3) Čistění plynu – snadné díky inertnosti Xe
4) hmotnostní spektrometr – analýza zastoupení jednotlivých izotopů

Výsledek: Xe nebyl objeven výrazný podíl v uranové rudě, ale v aluminium fosfátových minerálech

# Izotopová analýza xenonu

Další výsledky:

A) Byl objeven Xe-130 ve větší míře v alumino-fosfátech, který nevzniká izobarickou řadou a je chráněn Te-130, vzniká:

I-129 (n,γ) I-130 -> Xe-130

=> migrace I-129 – na základě množství Xe-130 lze odhadnout neutronové toky v reaktoru 1,7.10E21 n/cm$^2$ (elektrárny u nás: 10E11-10E12 n/cm$^2$)

B) Růst teploty reaktoru způsobuje větší migraci nuklidů Xe – zvýšený podíl Xe v alumino-fosfátech od přirozeného zastoupení

# Izotopová analýza xenonu

Další výsledky:

C) I se více zachycuje v reaktorové zóně než Xe – Xe-130 v reaktorové zóně, na základě analýz meteoritů,

pouze v případě reaktorového pulzu docházelo k migraci I – rozpad a vznik izotopů Xe – zachycen v alumino-fosfátech

růst krystalů při teplotě cca 300 stupňů Celsia – zachycování Xe, uvolnění není možné, kvůli, vysoké teplotě tání krystalů na rozdíl od teploty, která byla cca 400 stupňů Celsia

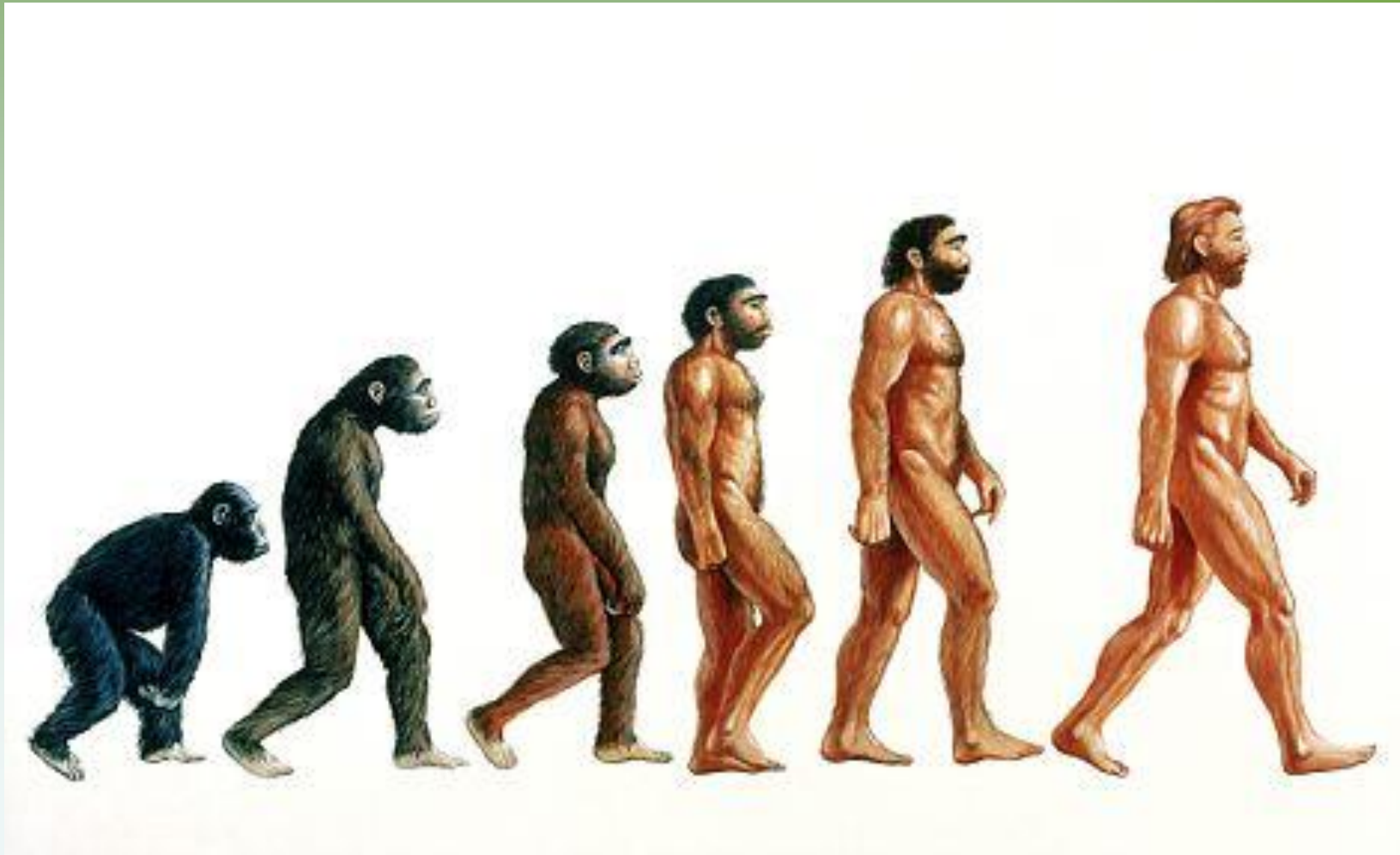
# Reaktorové pulzy?

izotopové analýzy Xe

↓

doba činnosti – 30 minut

doba „chladnutí“ – 2,5 hodiny

# Ojedinělá událost?

# Vliv reaktoru na vývoj člověka