

Štiepenie jadier

1-FYZ-601 Jadrová fyzika



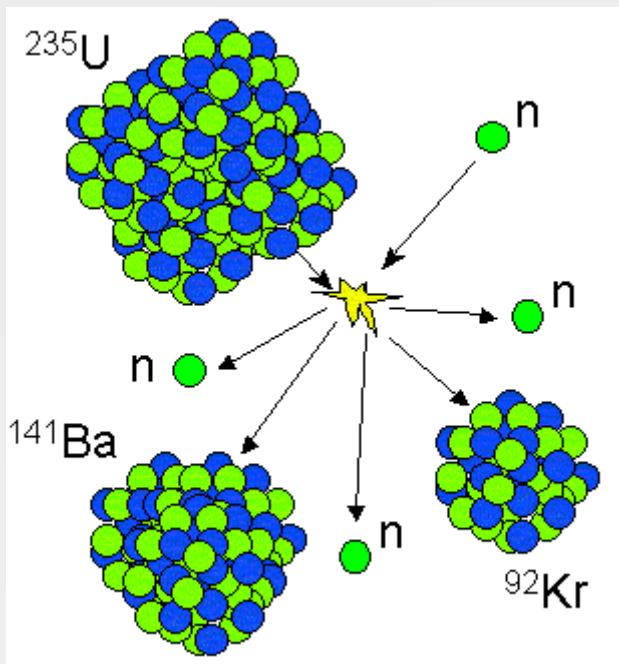


SPONTÁNNE ŠTIEPENIE JADIER

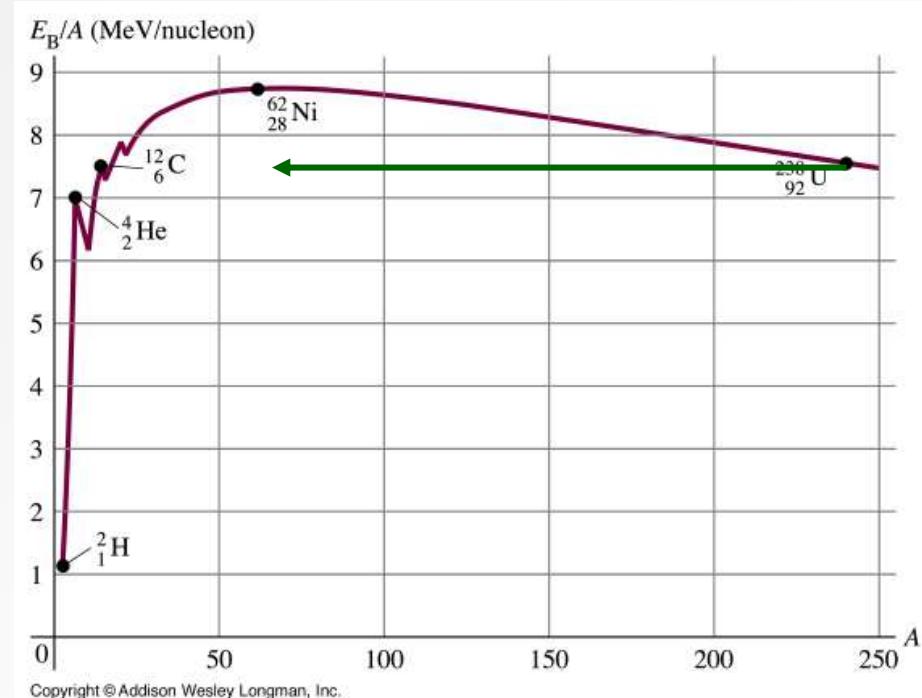
19. 10. 2015

Stanislav Štípáčik
stipacik@fmph.uniba.sk

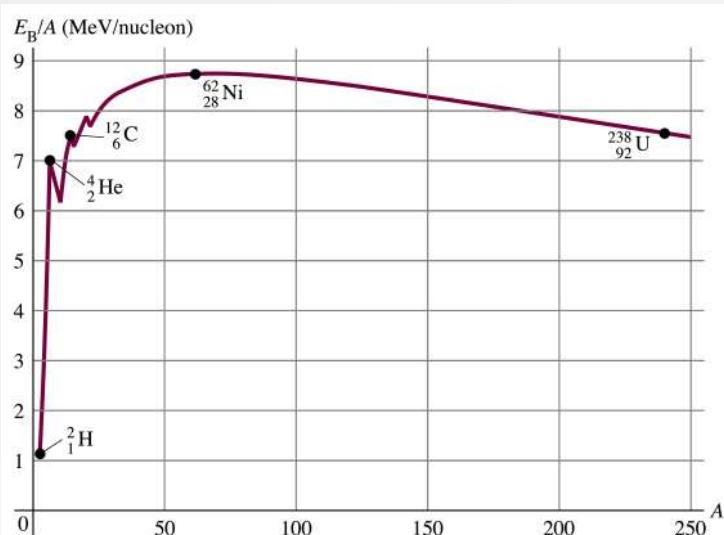
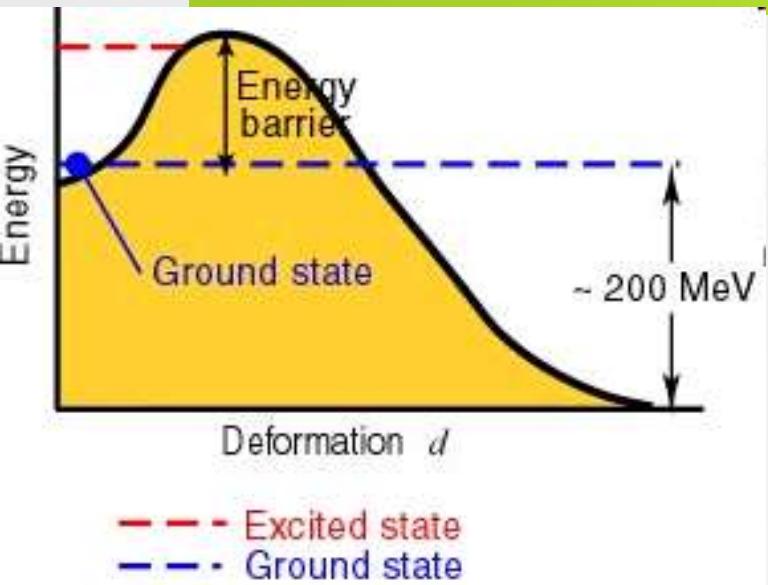
Štiepenie jadier



Rozpad na dva príp. tri fragmenty



Štiepna bariéra

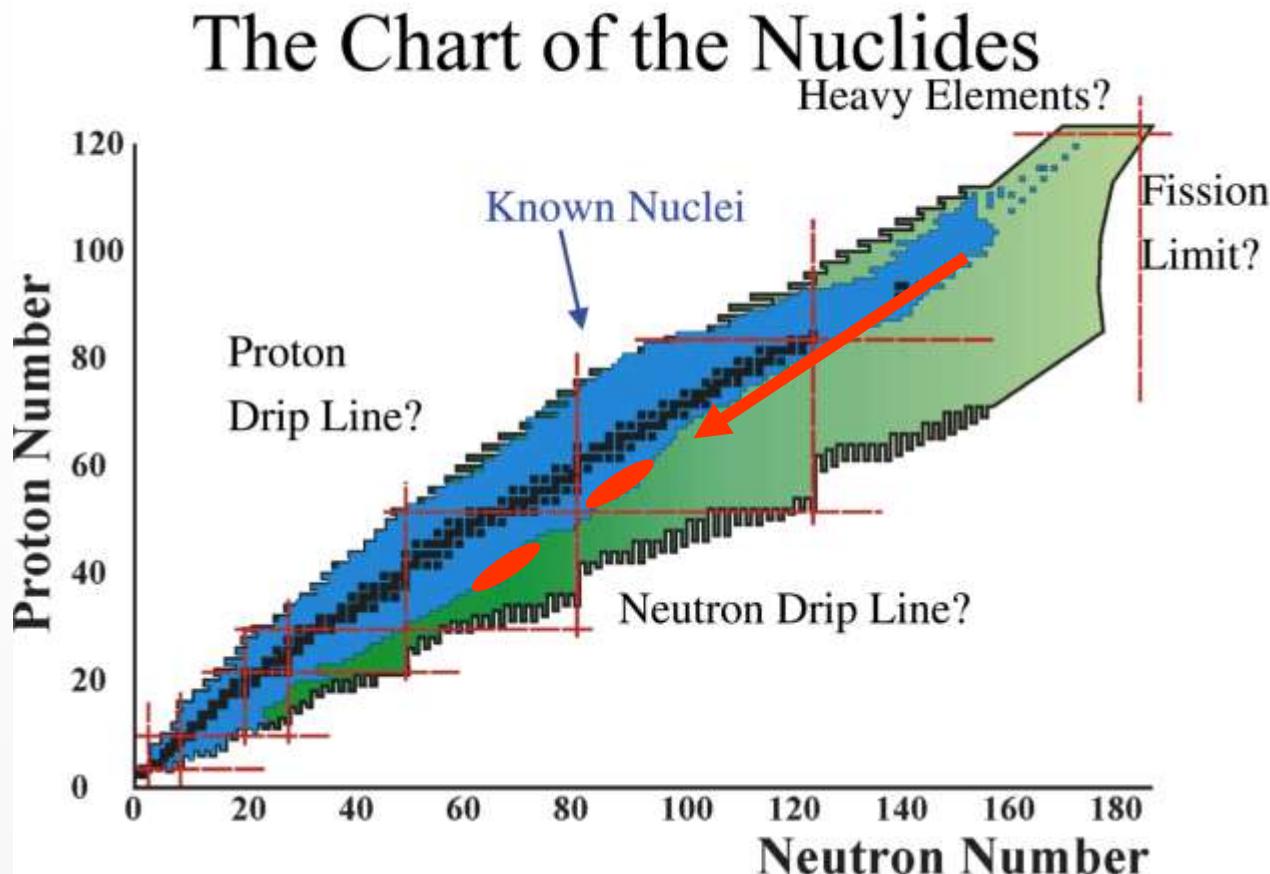


Rozštiepeniu jadra bráni štiepna bariéra.

Štiepenie môže prebehnúť:

1. dodaním aktivačnej energie (indukované štiepenie).
2. tunelovým efektom.
3. Rozpadom na vzbudený stav.

Štiepenie jadier



Produkujú sa neutrónovo bohaté jadrá exotické jadrá

Problém rádioaktivity jadrového odpadu. Produktom su beta nestabilné izotopy.

Možnosť využitia štiepnych zdrojov na vytvorenie rádioaktívnych zväzkov.

SOME HISTORICAL MILESTONES IN FISSION

<http://www.chem.elte.hu/Sandor.Nagy/loadable/6-104-00.Appendix1.htm>



1932 Discovery of neutron (J. Chadwick)

1937 Development of the Liquid Drop Model (N.Bohr)

1939 Neutron-induced fission (O. Hahn and F. Strassmann)

Explanation of fission (L. Meitner and O.R. Frisch)

1940 Spontaneous fission (^{238}U ,G.N. Flerov and K.A. Petrzhak)

1942 First self-sustaining chain reaction (E. Fermi)

1945 First nuclear bomb (The Manhattan project)

1946 Alpha accompanied (ternary) fission

1962 Fissioning shape isomers (V.M. Polikanov et al.)

1966 Delayed fission (V.I Kuznetzov et al.)

1967 Macroscopic-microscopic method (V. Strutinsky)

1984 Discovery of ^{14}C cluster decay (H.J. Rose and G.A.Jones)

~1994 Electromagnetic fission of radioactive ion beams (GSI)



Objav spontánneho štiepenia

Spontaneous Fission of Uranium

With 15 plates ionization chambers adjusted for detection of uranium fission products we observed 6 pulses per hour which we ascribe to spontaneous fission of uranium. A series of control experiments seem to exclude other possible explanations. Energy of pulses and absorption properties coincide with fission products of uranium bombarded by neutrons. No pulses were found with UX and Th. Mean lifetime of uranium follows ten to sixteen or seventeen years.

FLEROV
PETRJAK

Physico Technical Institute (F),
Radium Institute (P),
Leningrad, U. S. S. R.,
June 14, 1940 (by cable).

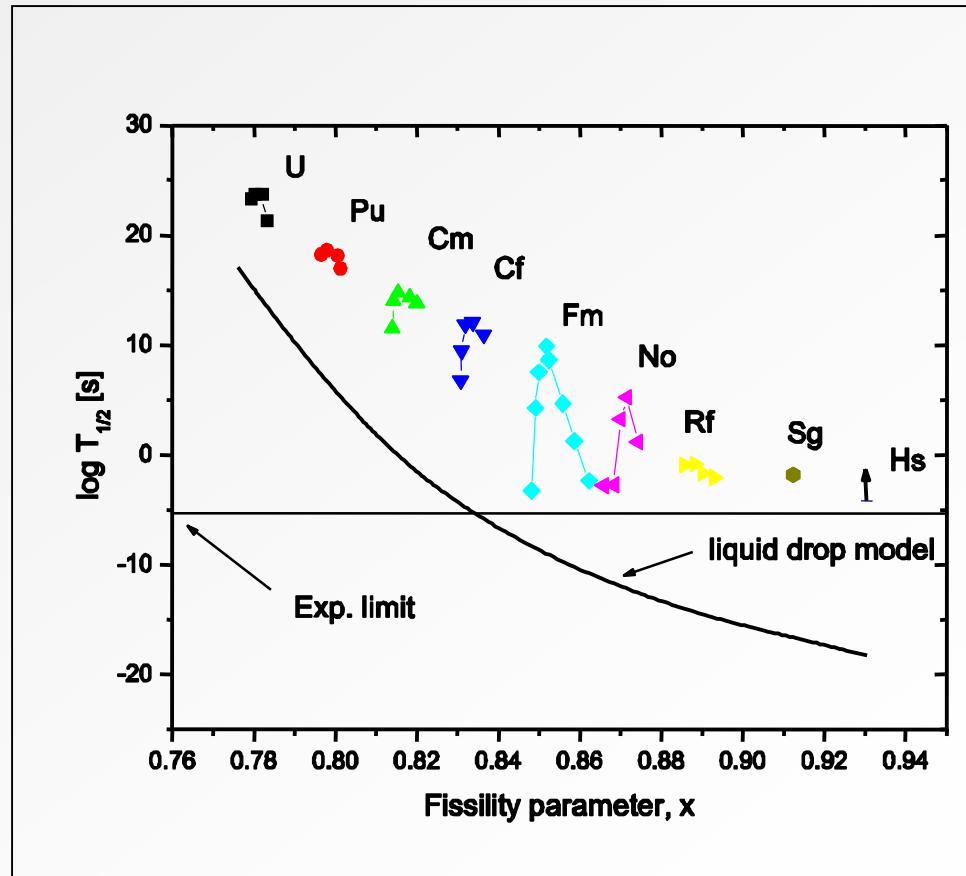
G.N. Flerov and K.A. Peterjak Phys. Rev. 58, 89 (1940)

Pravdepodobnosť štiepenia

$$\left(\frac{Z^2}{A}\right)_{crit} = 50.883 \left(1 - 1.7826 \left[\frac{(A - 2Z)}{A}\right]^2\right)$$

Štiepiteľnosť
(fissility) $x \approx \frac{\left(\frac{Z^2}{A}\right)}{\left(\frac{Z^2}{A}\right)_{crit}}$

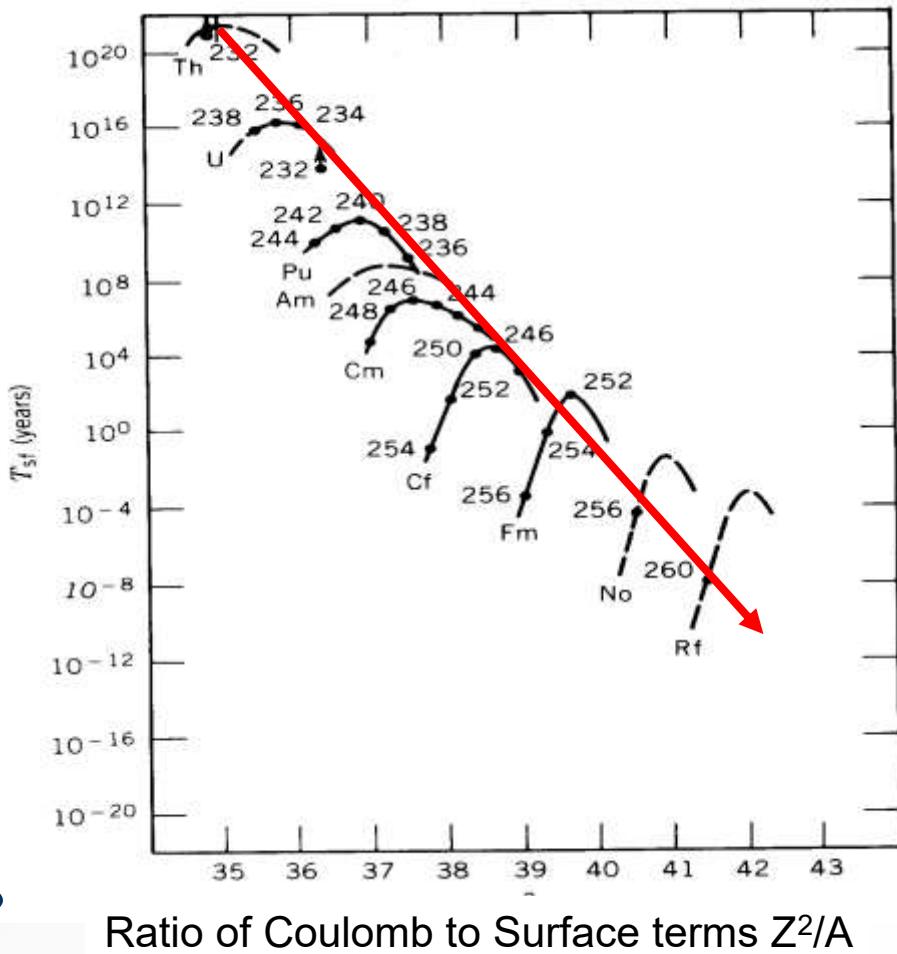
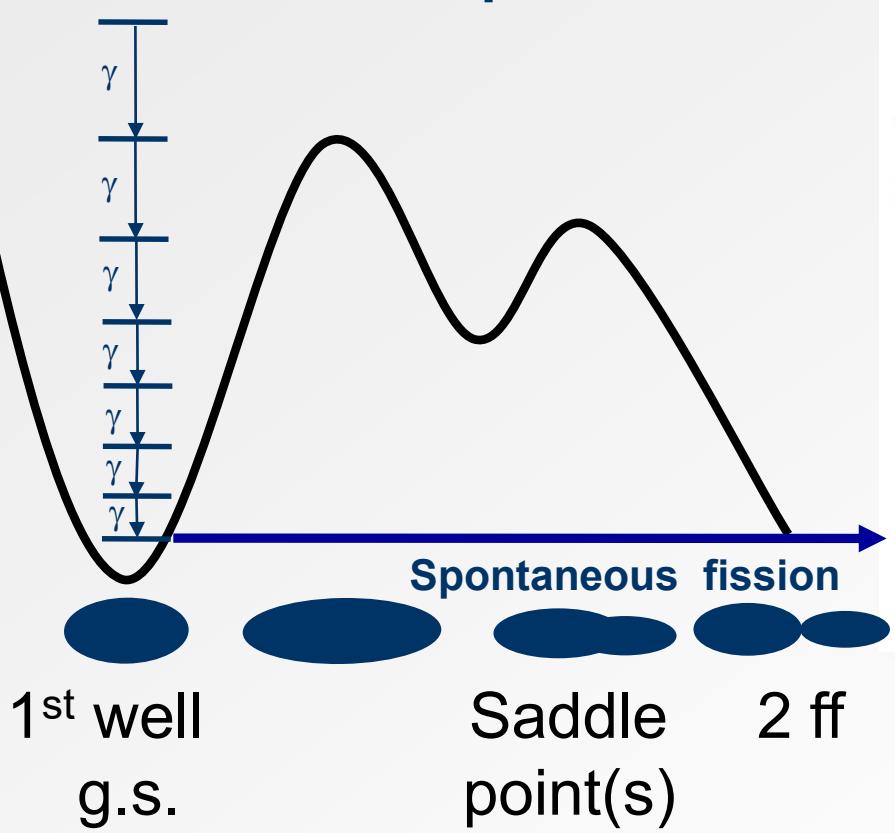
Pravdepodobnosť štiepenia je potlačená pre izotopy s nepárnym počtom protónov a/alebo neutrónov.
Nie je teda ibafunkciou Z^2/A



Spontánne štiepenie ($T_{1/2,\text{sf}} \sim 10^{-6} - 10^{25} \text{s}$)



- 1940 Spontaneous fission (^{238}U , G.N. Flerov and K.A. Petrzhak)
- Fission from the ground state
- Shell effects are important

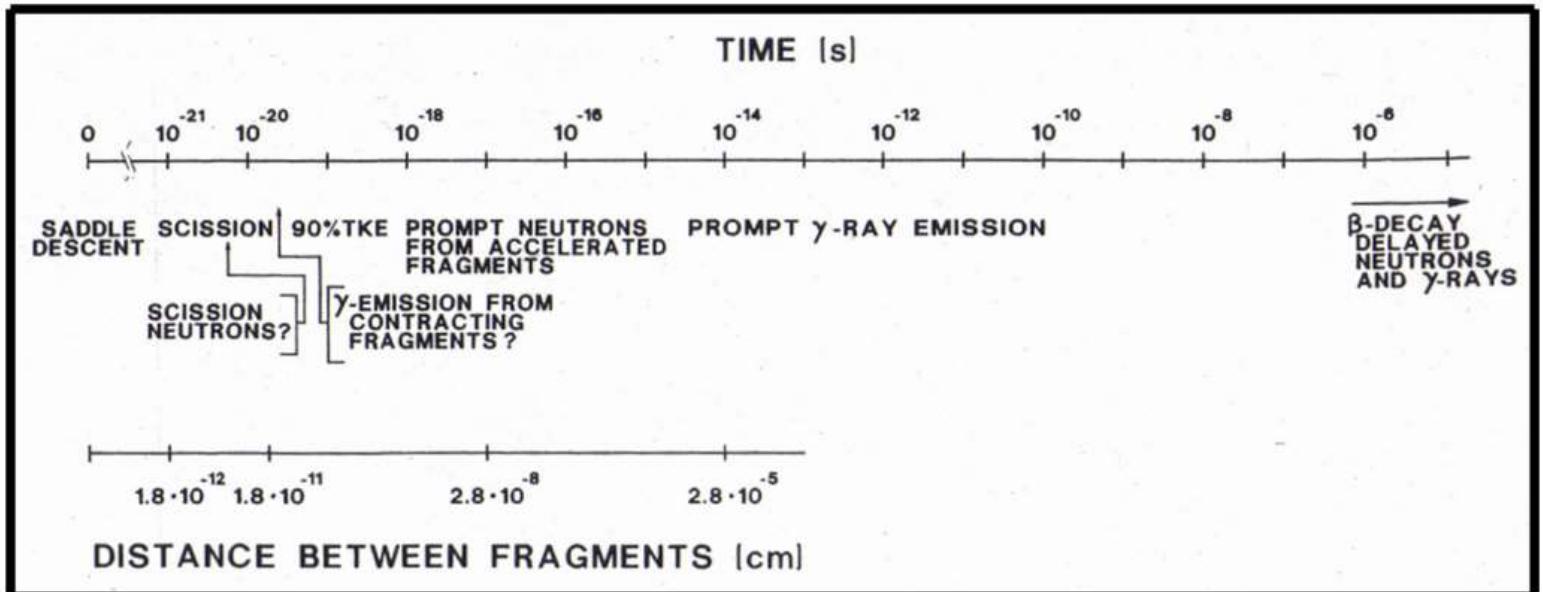


$$\Gamma_f = \frac{1}{2\pi\rho} \left\{ 1 + \exp\left[\frac{2\pi(B_f - E)}{\hbar\omega_f} \right] \right\}^{-1}$$

dynamika štiepenia



(a)



(b)

Figure 1.6: (a) Nuclear shapes in the fission process: ellipsoidal deformation, formation of the neck between the fragments and finally the rupture of the neck with two fission fragments as the result. (b) The fission process as a function of time [Wag91].



Spontánne štiepenie

Spontánne štiepenie prebieha zo základného stavu a potrebuje pri penetrácii prekonáť výrazne širšiu a vyššiu bariéru ako štiepenie zo vzbudených hladín. Preto má relatívne dlhé parciálne polčasy rozpadu.

Reálne sa sleduje iba pre izotopy prvkov tiažších ako tórium ($Z \geq 90$) s parciálnymi polčasmi rádovo 10^{20} rokov.

Pre tiažšie prvky však štiepna bariéra rýchlo klesá a polčas klesá rádovo na sekundy a menej napr. v prípade izotopov rutherfordia ($Z = 104$) je to typicky v rozsahy od 10 mikrosekúnd po 10tky sekúnd.

SOME HISTORICAL MILESTONES IN FISSION

<http://www.chem.elte.hu/Sandor.Nagy/loadable/6-104-00.Appendix1.htm>



1932 Discovery of neutron (J. Chadwick)

1937 Development of the Liquid Drop Model (N.Bohr)

1939 Neutron-induced fission (O. Hahn and F. Strassmann)
Explanation of fission (L. Meitner and O.R. Frisch)

1940 Spontaneous fission (^{238}U ,G.N. Flerov and K.A. Petrzhak)

1942 First self-sustaining chain reaction (E. Fermi)

1945 First nuclear bomb (The Manhattan project)

1946 Alpha accompanied (ternary) fission

1962 Fissioning shape isomers (V.M. Polikanov et al.)

1966 Delayed fission (V.I Kuznetzov et al.)

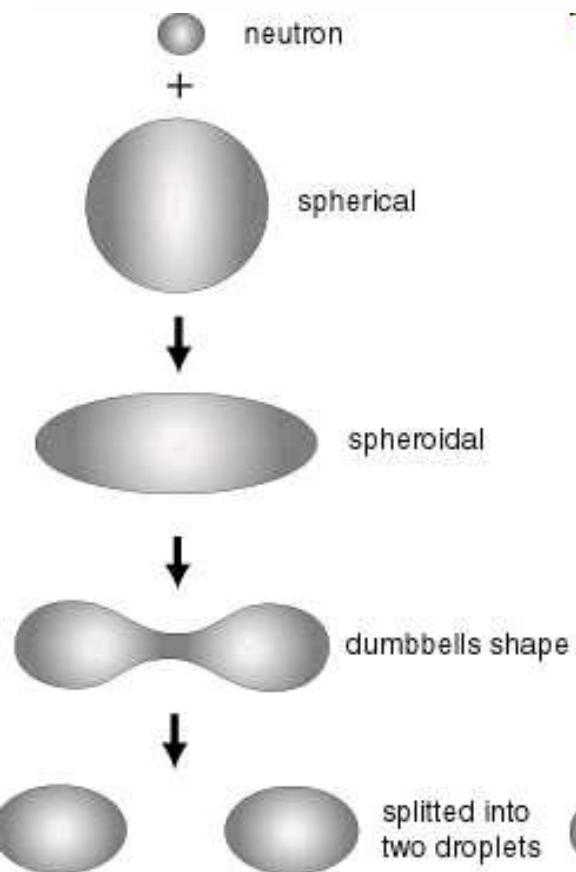
1967 Macroscopic-microscopic method (V. Strutinsky)

1984 Discovery of ^{14}C cluster decay (H.J. Rose and G.A.Jones)

~1994 Electromagnetic fission of radioactive ion beams (GSI)



Mechanizmus indukovaného štiepenia



1939 Neutrónovo idnukované štiepenie
- O. Hahn and F. Strassmann.

Vysvetlenie mechanizmu štiepenia poskytli L. Meitner and O.R. Frisch.

Pri štiepení jadier sa emitujú tzv. promptné neutróny, ktoré môžu sposobiť ďalšie štiepenie.

V procese štiepenia sa môžu emitovať aj tzv. oneskorené neutróny, nasledujúce po beta premene štiepnych fragmentov.

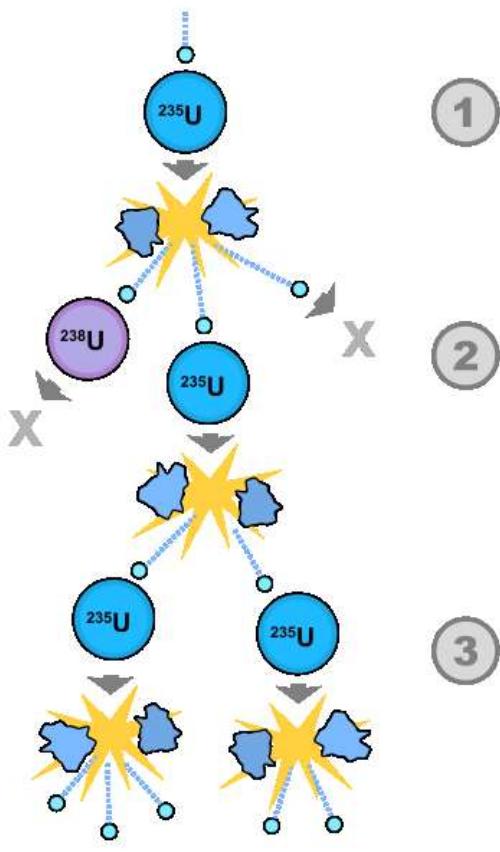
Štiepna reakcia

①

1942 Prvá reťazová reakcia (E. Fermi)

②

③





Spontánne štiepenie

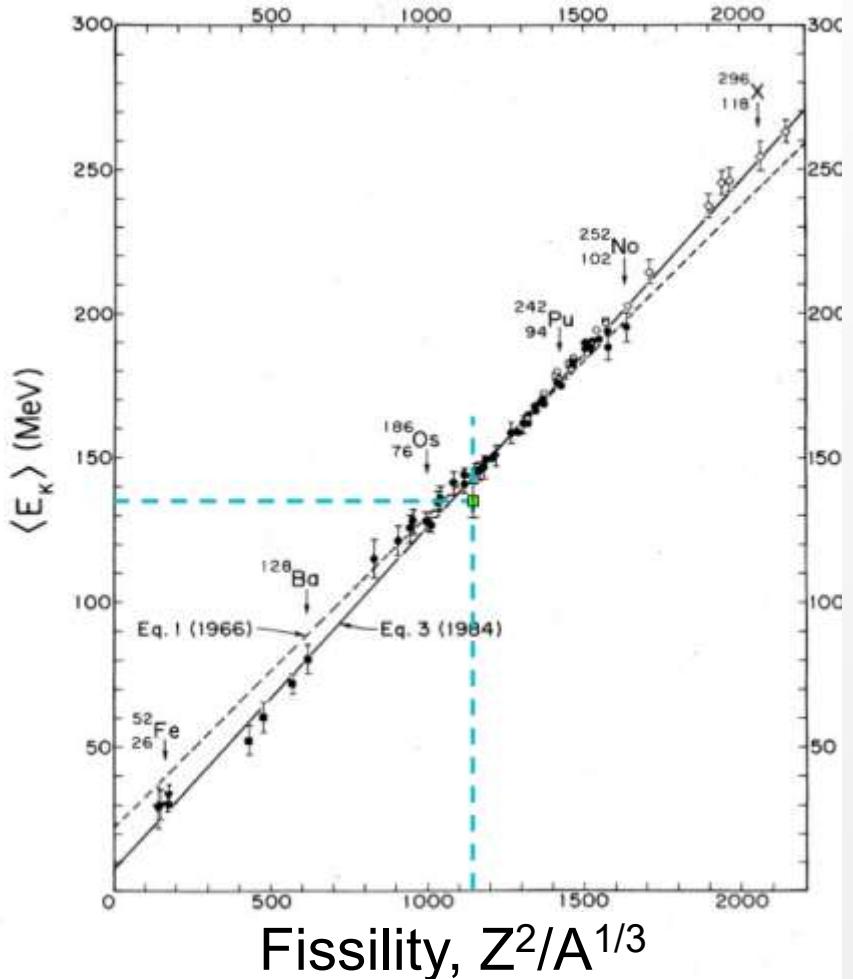
Spontánne štiepenie prebieha zo základného stavu a potrebuje pri penetrácii prekonáť výrazne širšiu a vyššiu bariéru ako štiepenie zo vzbudených hladín. Preto má relatívne dlhé parciálne polčasy rozpadu.

Reálne sa sleduje iba pre izotopy prvkov tiažších ako tórium ($Z \geq 90$) s parciálnymi polčasmi rádovo 10^{20} rokov.

Pre tiažšie prvky však štiepna bariéra rýchlo klesá a polčas klesá rádovo na sekundy a menej napr. v prípade izotopov rutherfordia ($Z = 104$) je to typicky v rozsahy od 10 mikrosekúnd po 10tky sekúnd.



Viola Seaborg systematika



Celková kinetická energia fragmentov narastá so štiepitoľnosťou jadra.

Pre najťažšie jadrá dosahuje typicky aj cez 200 MeV.



THE END