

Energetyka konwencjonalna odnawialna i jądrowa

Wykład 9 - 4.XII.2018

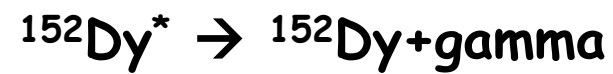
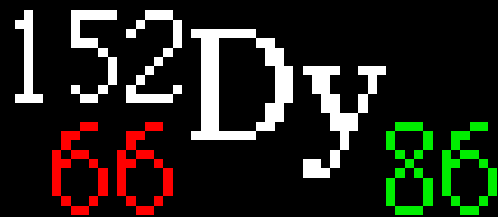
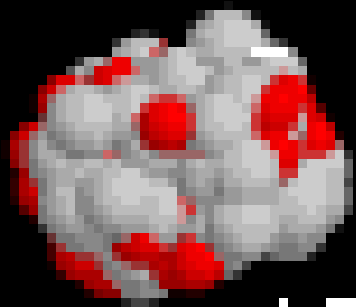
Zygmunt Szefliński

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

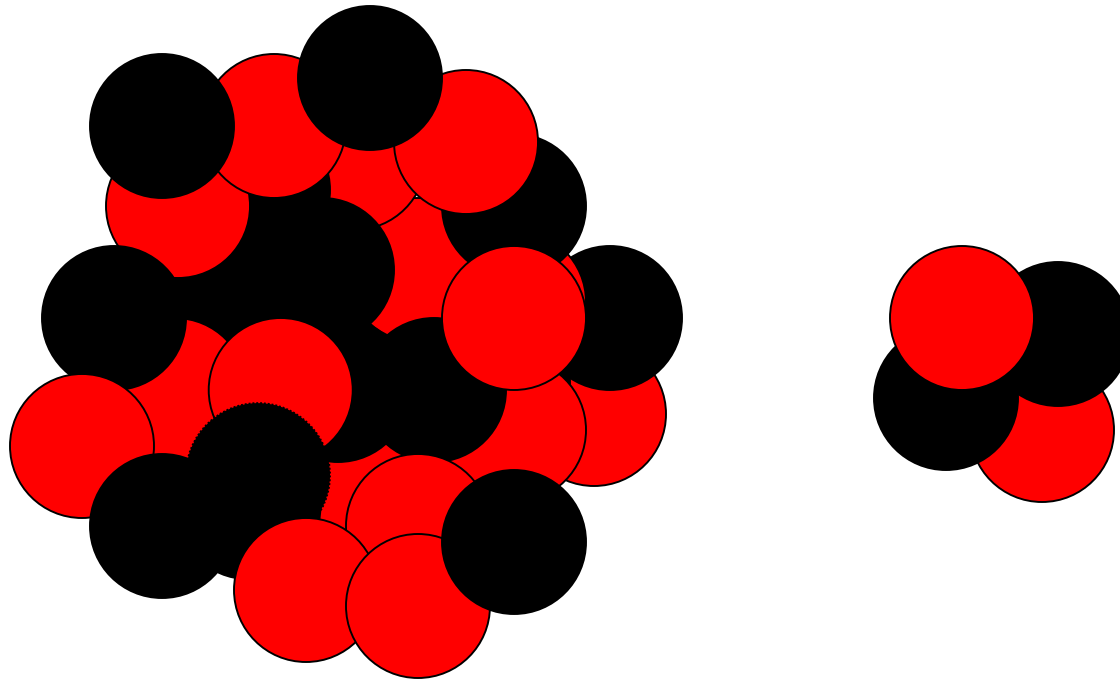
szef@fuw.edu.pl

<http://www.fuw.edu.pl/~szef/>

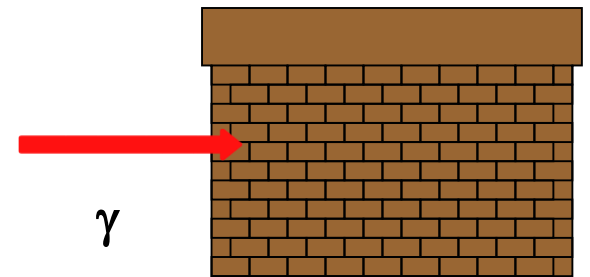
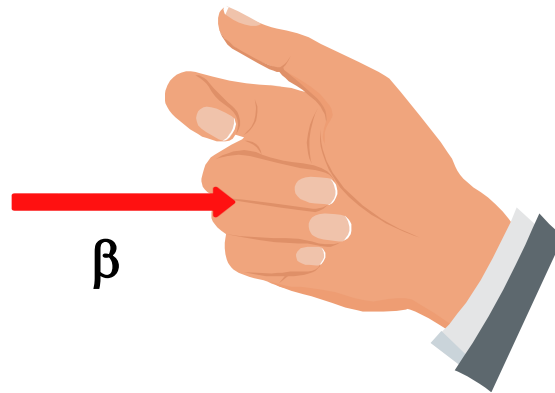
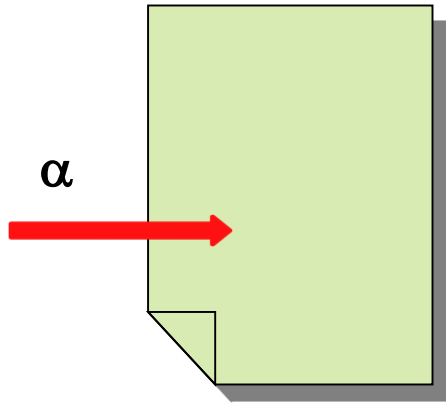
Rozpad gamma



Rozpad α



Hamowanie promieniowania w materii

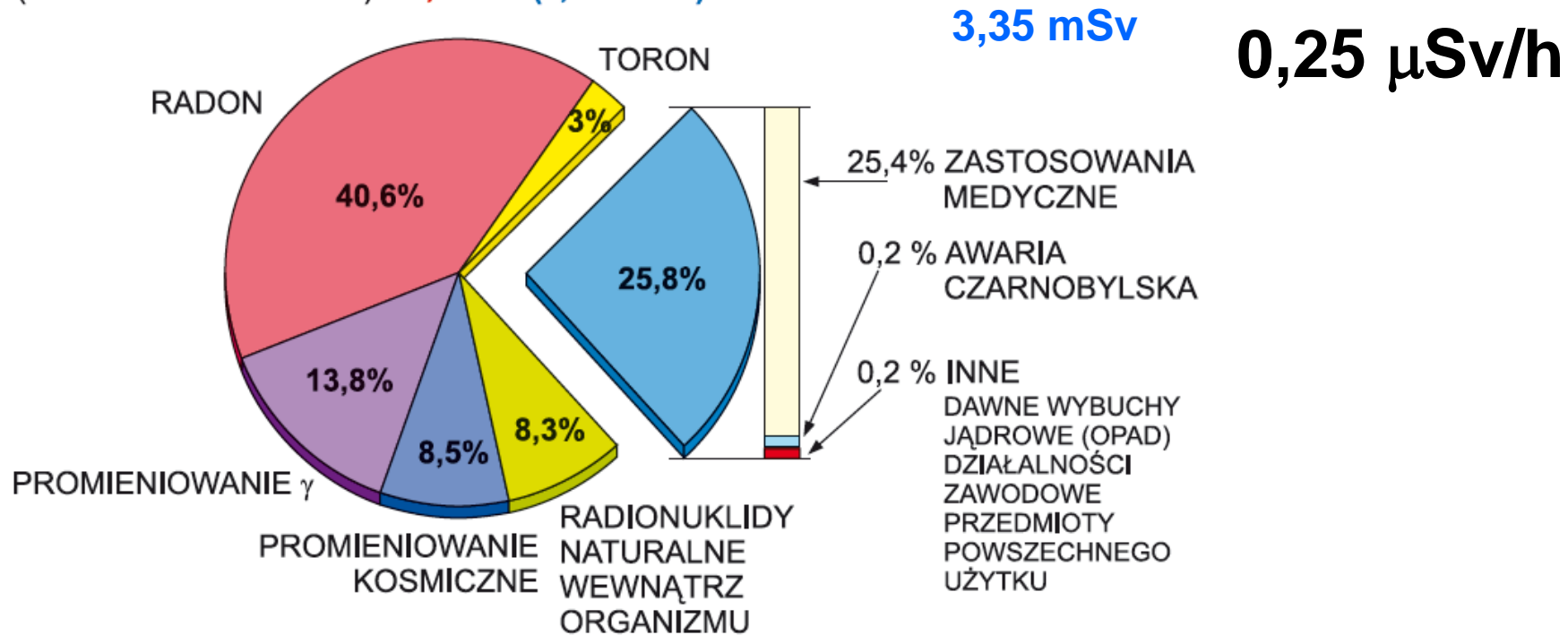


Licznik Geigera- Muellera



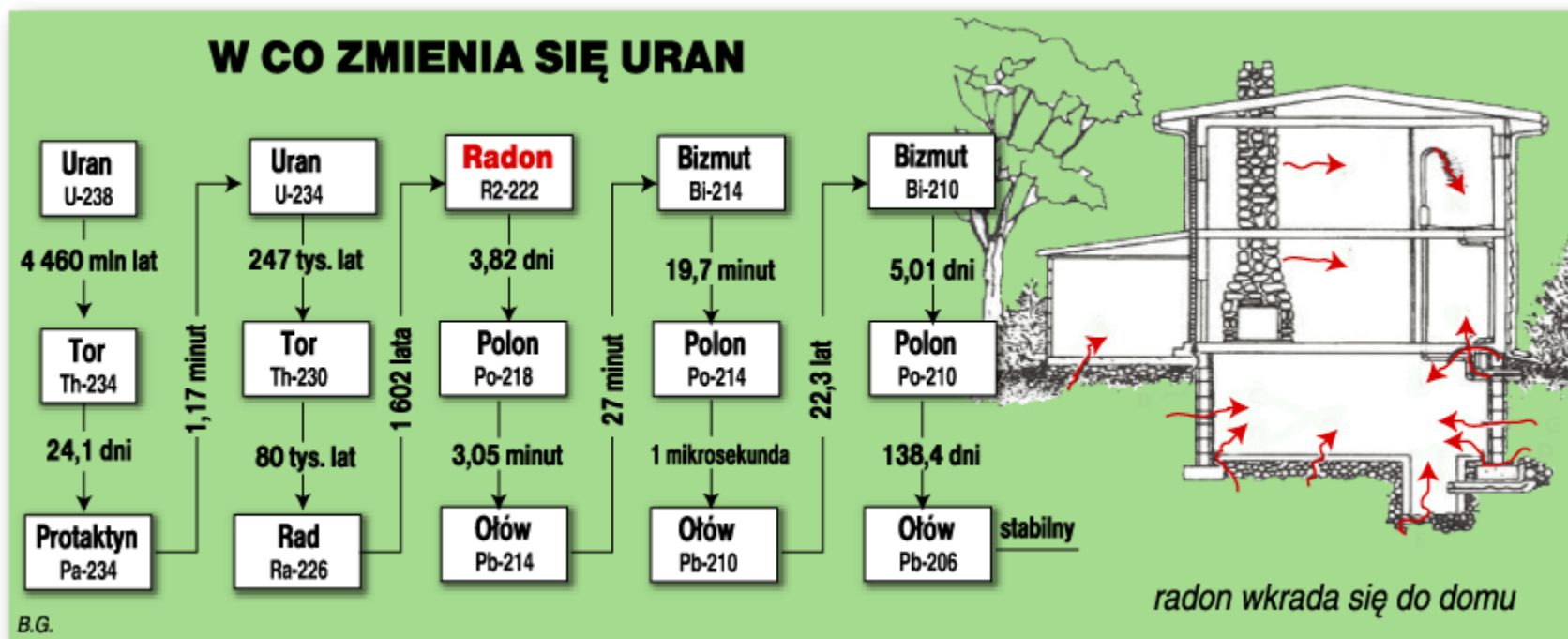
Źródła i wielkość narażenia w Polsce

ŹRÓDŁA NATURALNE **74,2%** (2,486 mSv)
PROMIENIOWANIE OD ŹRÓDEŁ SZTUCZNYCH
(W TYM W MEDYCYNIE) **25,8%** (0,866 mSv)

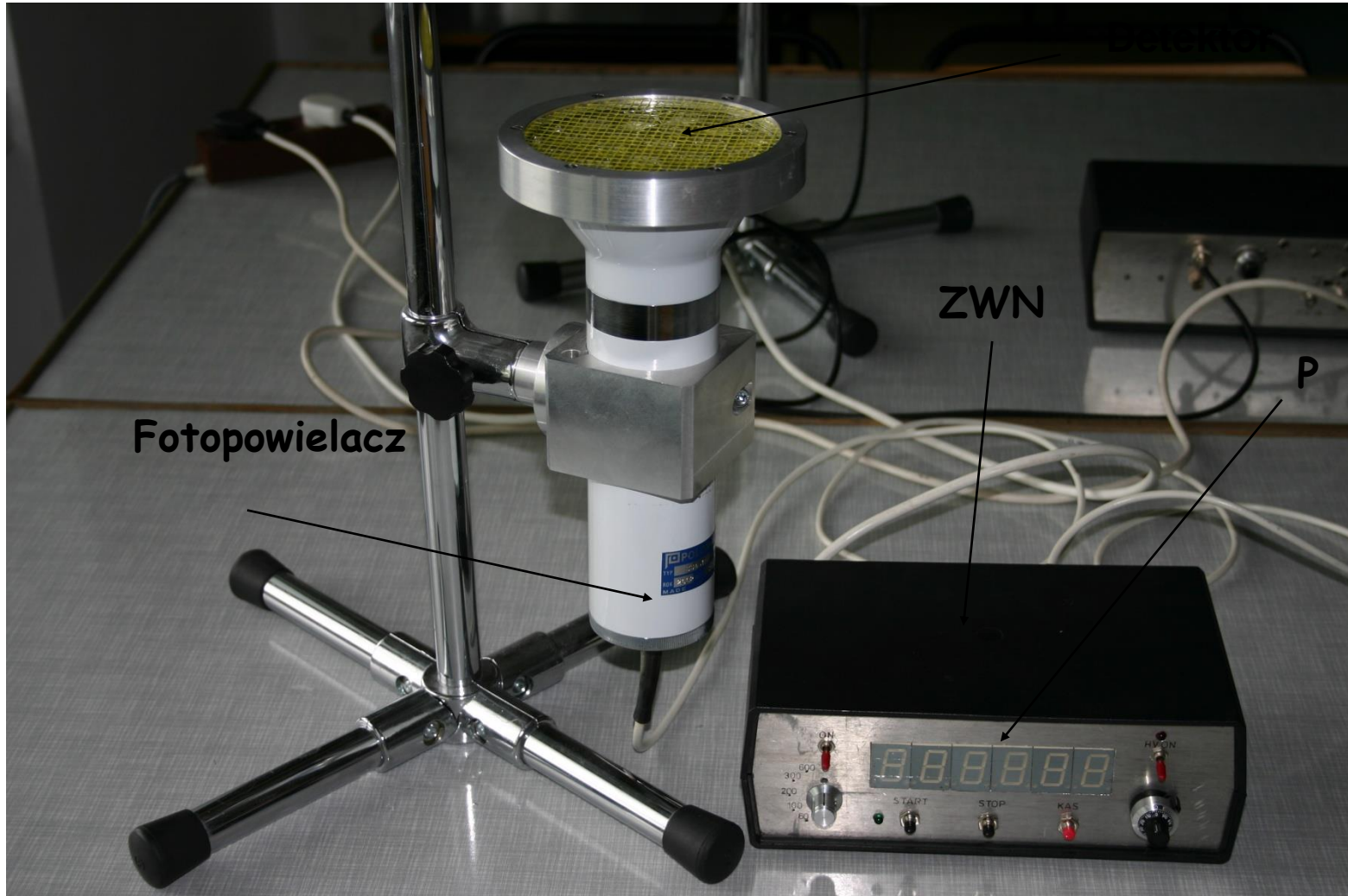


Źródło: Raport PAA, Warszawa 2015

Radon - element szeregu rozpadu promieniotwórczego uranu



Aparatura



Aparatura



Radon

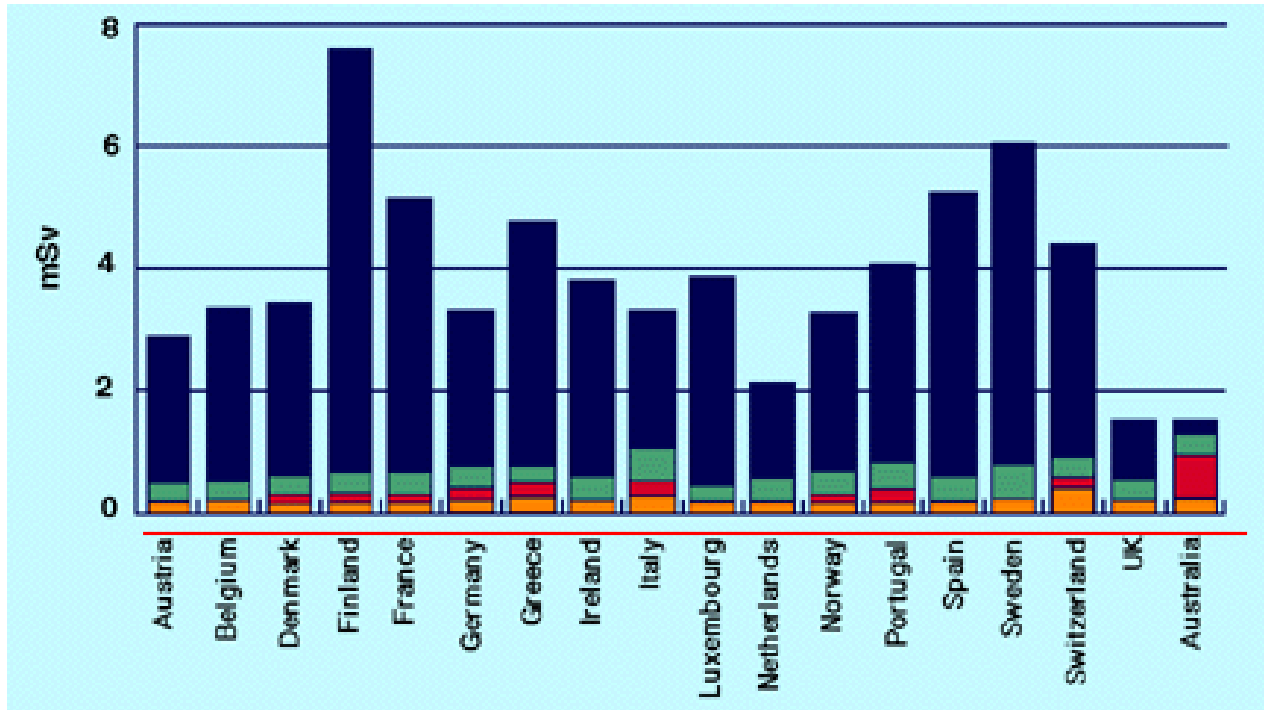
- ❑ symbol Rn, $Z=86$;
- ❑ bezbarwny i bezwonny gaz;
- ❑ główne źródło promieniowania jonizującego na Ziemi;
- ❑ izotopy ^{222}Rn , ^{220}Rn i ^{219}Rn ;
- ❑ izotop ^{222}Rn i produkty jego rozpadu są źródłem 40% promieniowania jonizującego, na jakie jesteśmy narażeni

Gdzie jest radon?

Aktywność radonu (w Bq/m³) w naszym otoczeniu - dane orientacyjne .

Miejsce pomiaru	Aktywność [Bq/m ³]
powietrze przy gruncie	10
wietrzony pokój	40
pokój zamknięty	80
piwnica	400
pieczara	10000

Wielkość narażenia na świecie



promieniowanie kosmiczne

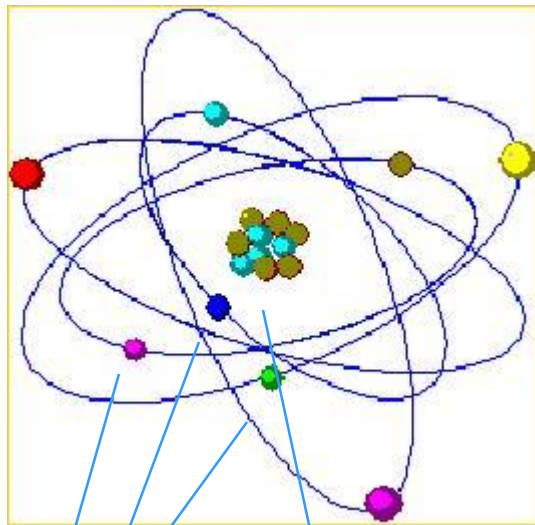
promieniowanie gamma w pomieszczeniach

promieniowanie gamma „na powietrzu”

radon

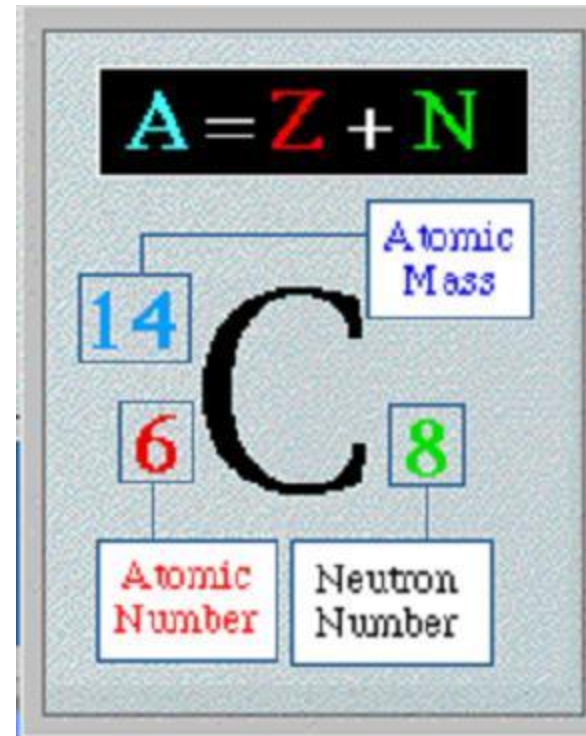
Identyfikacja izotopów

Atom

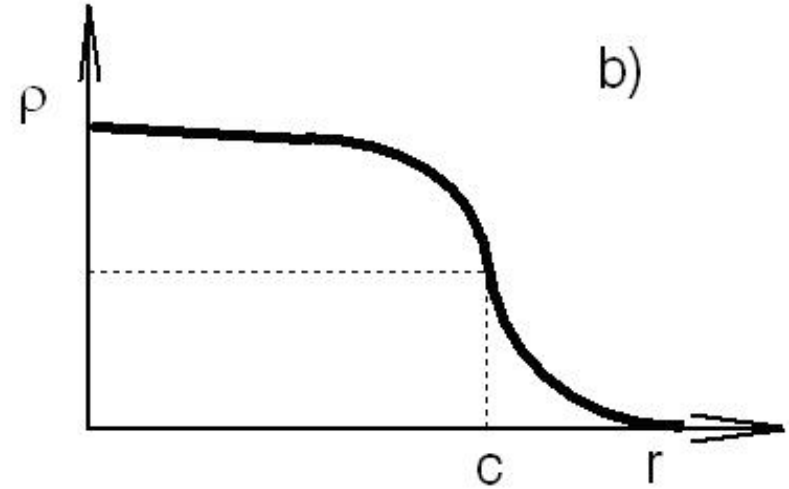
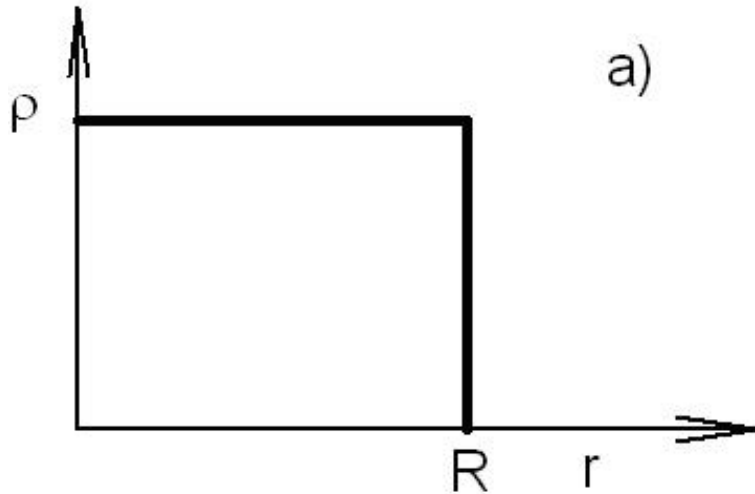


Elektrony

Jądro

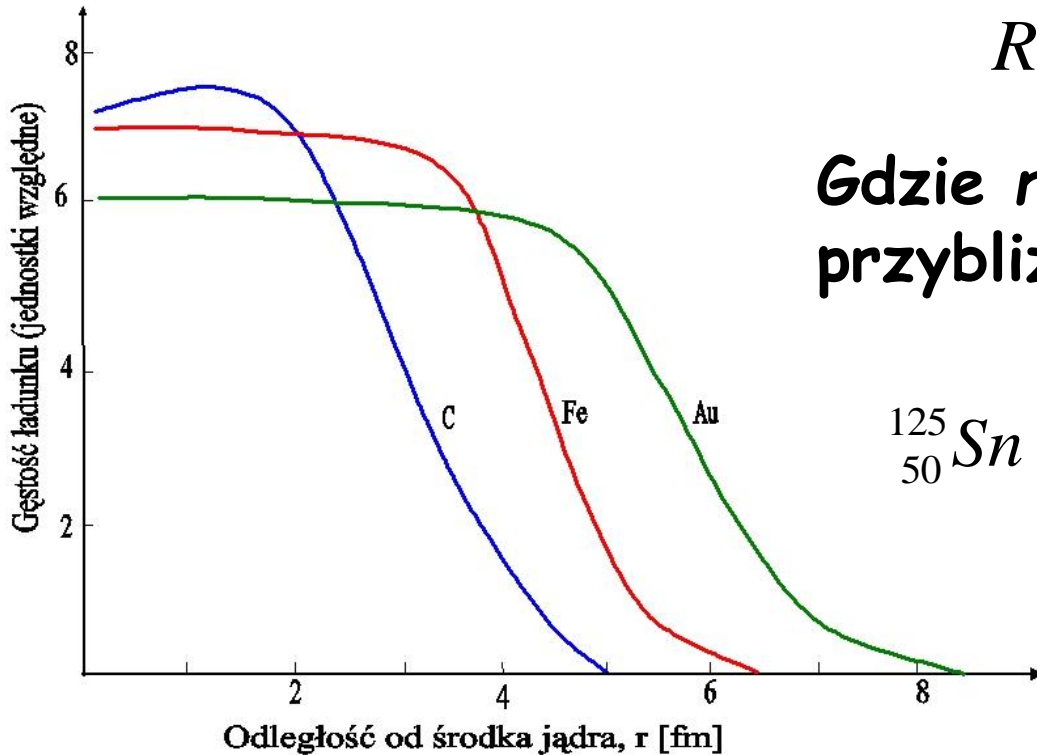


Rozmiary i kształty jąder



$$\rho(r) = \frac{\alpha}{1 + e^{\frac{(r-c)}{a}}}$$

Rozkłady ładunku

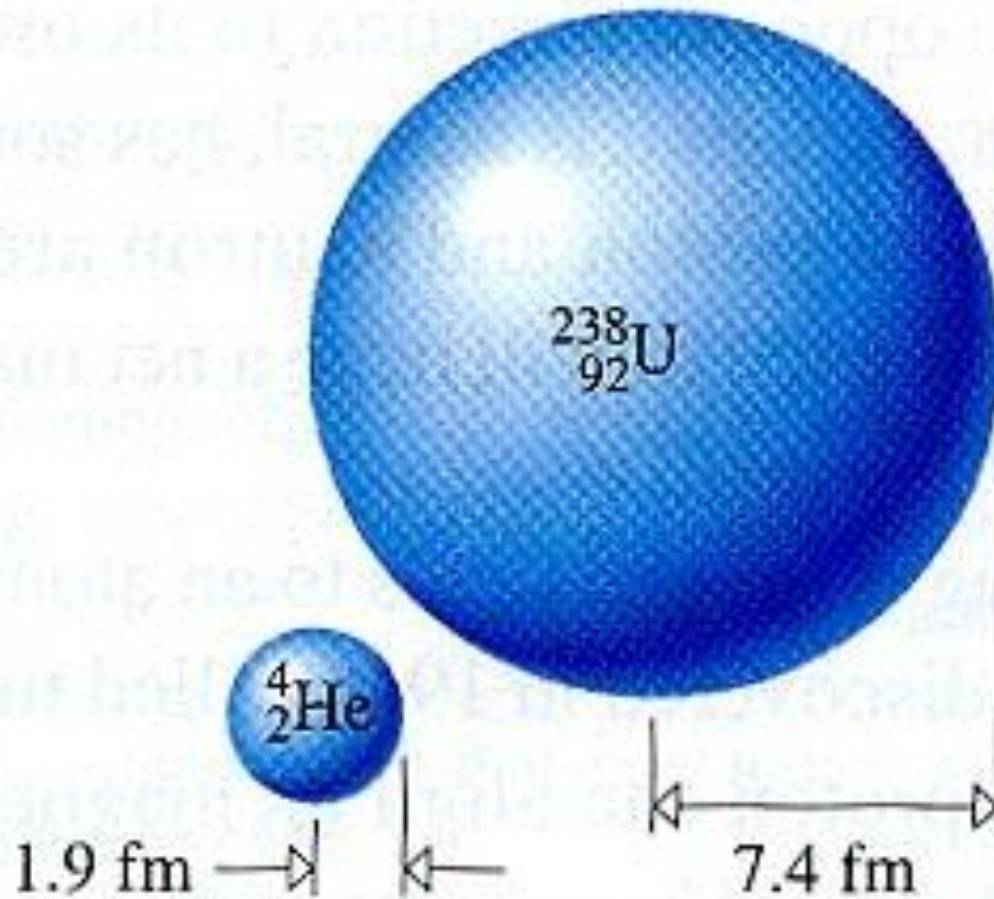


$$R = r_0 A^{1/3}$$

Gdzie r_0 jest parametrem o przybliżonej wartości ok 1.2 fm.

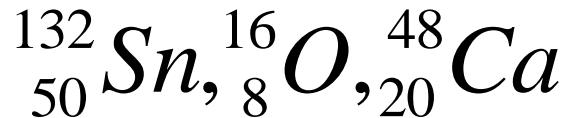
$${}_{50}^{125}\text{Sn} \rightarrow R = 1,2 \cdot 5 \text{ fm} = 6 \text{ fm}$$

Przykład rozmiarów

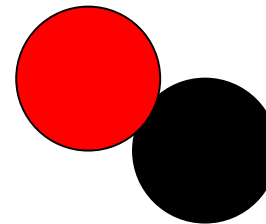


Kształty jąder

- Jądra, zwane magicznymi są sferyczne
- Liczby nukleonów tworzące zamknięte powłoki nazywamy liczbami magicznymi. Liczby magiczne są różne dla protonów i neutronów, a liczby definiujące zamknięte powłoki protonowe i neutronowe to:
 - 2, 8, 20 (28).., 50, 82, 126, (184) dla neutronów,
 - 2, 8, 20 (28).., 50, 82, (114) dla protonów.

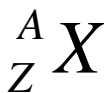
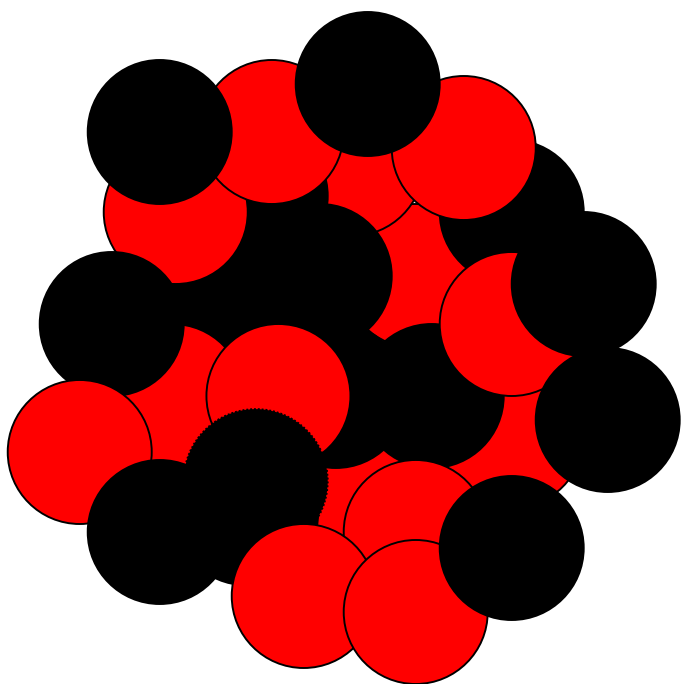


- Jądra, dalekie od liczb magicznymi są niesferyczne



Ogólne własności jąder atomowych (masy ładunki, izotopy, izobary, izotony izomery).

Składniki jądra protony i neutrony



nuklid - obiekt o określonej liczbie masowej (A) i ładunku (Ze) a symbol X określa atom pierwiastka chemicznego o liczbie atomowej Z . Jednocześnie Z określa liczbę protonów w nuklidzie, A - liczbę nukleonów (protonów i neutronów). Wszędzie, gdzie nie budzi to nieporozumień, terminu nuklid będziemy używać zarówno dla określenia atomu, jak i odpowiedniego jądra. W przypadku, gdy rozważania mają charakter ilościowy, wymagający uwzględnienia mas, przez masę nuklidu będziemy rozumieć masę neutralnego atomu pomniejszoną o różnicę między masą elektronów a ich energią wiązania.

Pojęcia fizyki jądrowej

- izotopy - to nuklidy o tym samym Z , lecz różnej liczbie neutronów, a zatem o różnej liczbie masowej A ${}^1_1\text{H}, {}^2_1\text{H}, {}^3_1\text{H},$
- izobary - nuklidy o tej samej liczbie masowej A , lecz różnych liczbach atomowych, Z ${}^{14}_6\text{C}, {}^{14}_7\text{N}, {}^{14}_8\text{O},$
- izotony - nuklidy o tej samej liczbie neutronów ($A-Z$), lecz różnych wartościach A i Z , ${}^6_2\text{He}, {}^7_3\text{Li}, {}^8_4\text{Be}, {}^9_5\text{B}$
- izomery - nuklidy o tej samej liczbie masowej A i atomowej, Z , lecz różniące się masą (energiją) jądra. Są to stosunkowo długo żyjące stany wzbudzone nuklidów ${}^A_Z\text{X}^*$

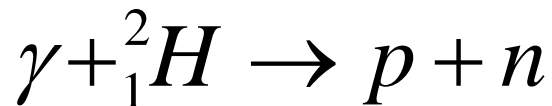
Energie wiązania cząsteczek, atomów i jąder atomowych.

Energia wiązania jąder

Pomiary mas jąder $M(Z, A)$ prowadzą do stwierdzenia, że różnica między sumą mas składników a masą złożonego z nich jądra jest wielkością różną od zera, dodatnią, różną dla różnych jąder.

$$B = m_n \cdot N + m_p \cdot Z - M(Z, A)$$

Energię wiązania można określić jako ilość energii, koniecznej do pełnego rozbicia jądra na wszystkie jego składniki. Np. energia wiązania deuteronu (jądra) wynosi 2.224 MeV



Energia wiązania cząstki alfa (jądra He) wynosi około 27 MeV.

Energia wiązania He

$$B = m_n \cdot N + m_p \cdot Z - M(Z, A)$$

$$M_p = 1,00728 \underline{u},$$

$$M_n = 1,00866 \underline{u},$$

$$\underline{u} = 931,494 \text{ MeV}/c^2$$

$$M_\alpha = 4.00150 \underline{u}$$

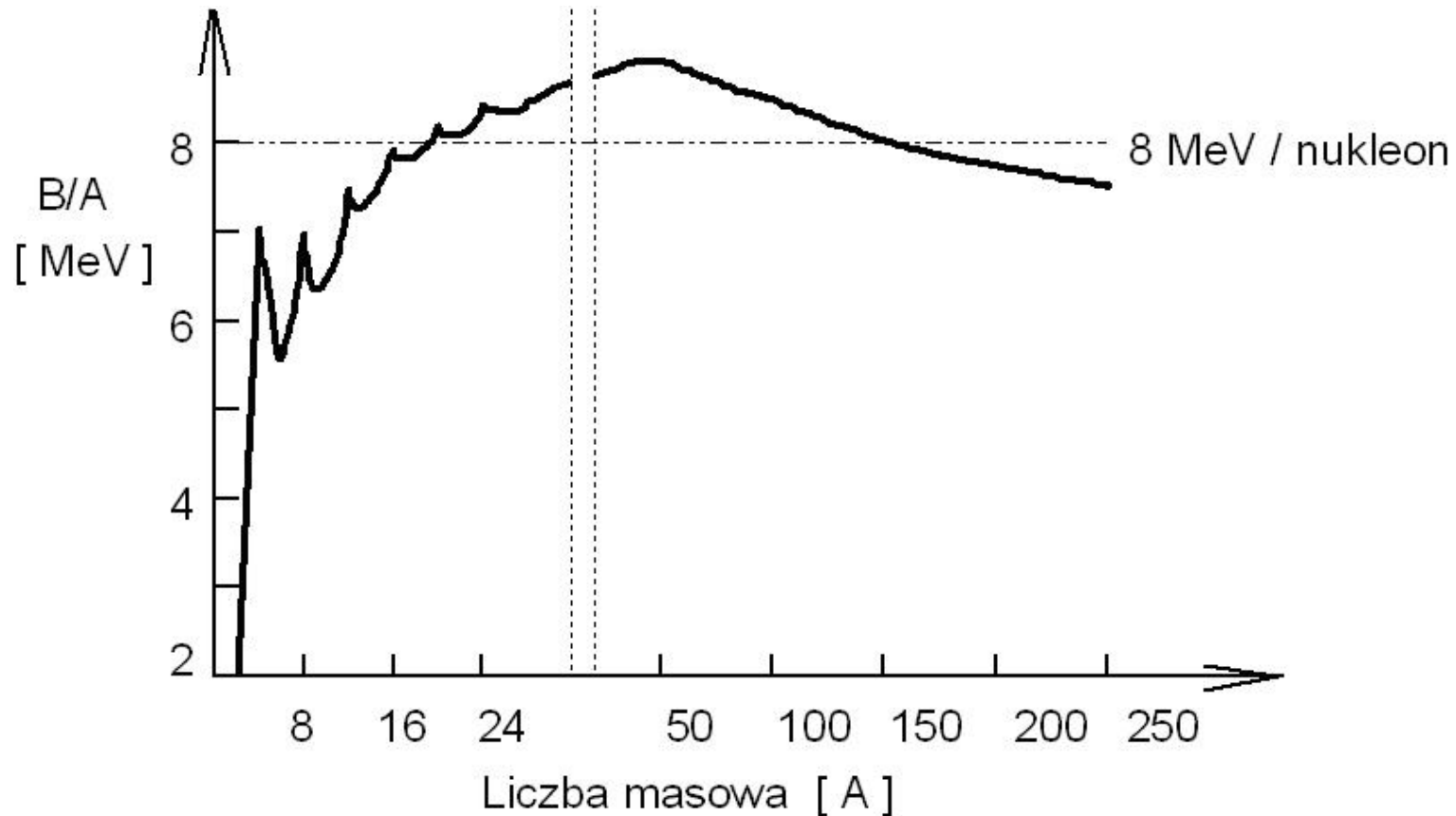
$$2,0146 + 2,0173 = 4,0319$$

$$4,0319 - 4,0015 = 0,0304$$

$$0,0304 * 931,5 \approx 28 \text{ MeV}$$

Energia wiązania nukleonu

Często rozważa się wartość energii wiązania przypadającej - średnio - na jeden nukleon, B/A



Przebieg energii wiązania B/A

Mimo pewnych nieregularności, można sformułować następujące wnioski z przebiegu zależności B/A w funkcji A :

- fakt, że energie wiązania są dodatnie - (mimo odpychania kolumbowskiego między protonami) świadczy o istnieniu silnych oddziaływań przyciągających, działających między nukleonami,
- dla małych liczb masowych wartość B/A rośnie szybko z liczbą nukleonów A (każdy "nowododany" nukleon wzmacnia wiązanie),
- dla średnich liczb masowych wzrost staje się coraz wolniejszy aż do szerokiego maksimum (średnio ciężkie jądra z obszaru $A \sim 60$, mają tę samą energię wiązania przypadającą na jeden nukleon). Świadczy to o krótkim zasięgu sił oddziaływania nukleon-nukleon (N-N) gdyż "nowo-dodane" nukleony nie oddziałują już praktycznie z odległymi nukleonami w centrum. Efekt ten nazywamy "wysycaniem sił jądrowych",
- dla ciężkich jąder wartość B/A powoli maleje, co świadczy o wzmagającej się roli kulombowskiego odpychania między coraz liczniejszymi protonami.

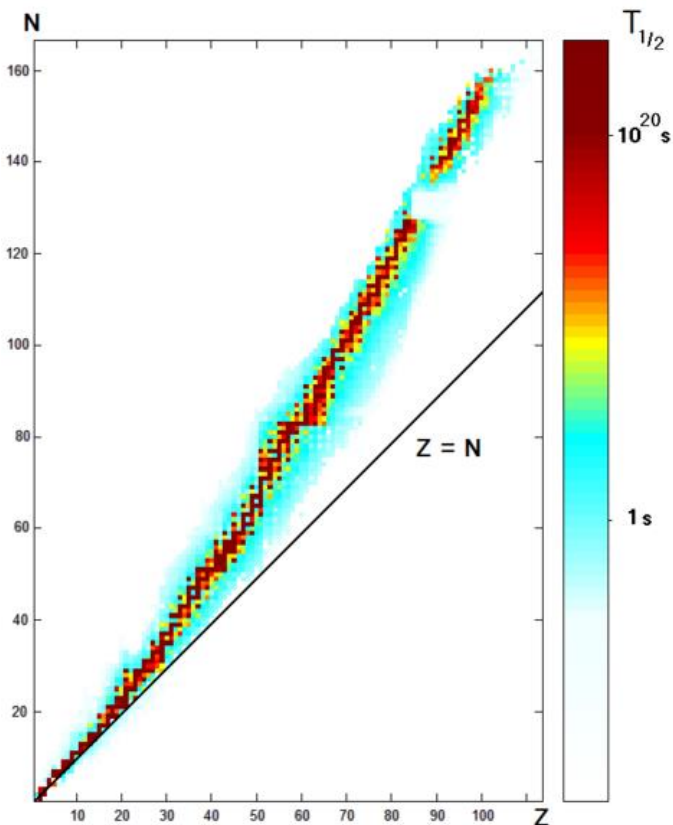
Energia separacji

Energię niezbędną dla oderwania od jądra jednego nukleonu (neutron, proton), z reguły różniącą się od wielkości B/A , nazywamy energią separacji neutronu (S_n) czy protonu (S_p). Energię separacji definiuje się jako różnicę między sumą masy "odrywanej" cząstki i pozostałego jądra, a masą jądra początkowego. Energia separacji neutronu i protonu to:

$$S_n = m_n + M(Z, A-1) - M(Z, A)$$

$$S_p = m_p + M(Z-1, A-1) - M(Z, A)$$

Ścieżka stabilności



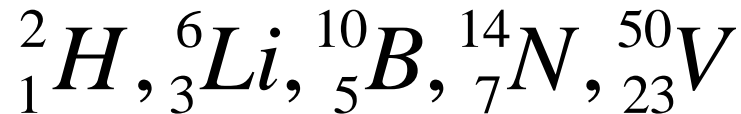
Nad ścieżką znajdują się jądra promieniotwórcze, ulegające rozpadowi β^- , zaś pod nią - jądra ulegające rozpadowi β^+ lub wychwytowi elektronu

Proces rozpadu beta z punktu widzenia składu nukleonowego jądra - prowadzi do zamiany jednego neutronu na proton. W takim wypadku zrozumiałe jest więc grupowanie się nuklidów promieniotwórczych na peryferiach ścieżki stabilności, odpowiadających nuklidom o nadmiarze neutronów w porównaniu z trwałymi jądrami

Występowanie nuklidów

Wśród 264 trwałych nuklidów dominują te, które zawierają parzystą liczbę zarówno protonów jak i neutronów. Jest ich 165.

Tylko 5 jąder trwałych ma nieparzystą liczbę neutronów i nieparzystą liczbę protonów.



Liczby jąder trwałych parzysto-nieparzystych (parzyste Z i nieparzyste N) oraz nieparzysto-parzystych wynoszą po kilkadziesiąt.

Szczególnie silnie (trwałe) związane są jądra, w których każdy nukleon ma "swoją parę" (pp, nn)

Jądra transuranowe

Najbliższe jądra transuranowe

Z = 93 Neptun,	Z = 98 Kaliforn,
Z = 94 Pluton,	Z = 99 Einstein,
Z = 95 Ameryk,	Z = 100 Ferm,
Z = 96 Kiur,	Z = 101 Mendelew
Z = 97 Berkel,	Z = 102 Nobel

Badania, które stały się początkiem odkrycia procesu rozszczepienia, a mianowicie *produkcja jąder transuranowych* - były i są nadal rozwijane. W ich wyniku odkryto i zbadano cały szereg transuranowców, jąder nie występujących w przyrodzie. Są one z reguły jądrami nietrwałymi, najczęściej ulegają przemianie α , niekiedy - spontanicznemu rozszczepieniu.

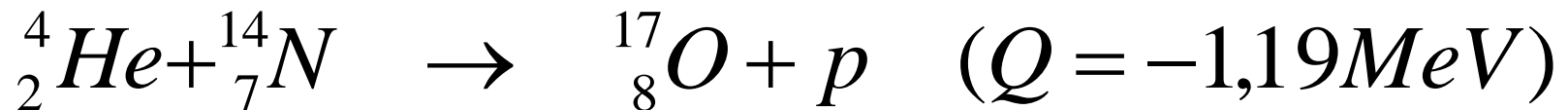
Reakcje jądrowe - wytwarzanie sztucznych izotopów promieniotwórczych

Reakcje jądrowe

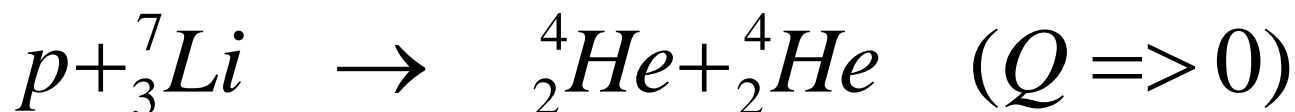
Reakcjami nazwiemy oddziaływania z udziałem dwóch obiektów, z których przynajmniej jeden jest jądrem - obiektem złożonym z protonów i neutronów. Procesy, w których uczestniczą w stanie początkowym dwie cząstki elementarne nazwiemy oddziaływaniami elementarnymi. Zapisem reakcji jest:



W 1919 r. Rutherford zaobserwował pierwszy przypadek "zamiany" jednego jądra (azotu) na inne (tlenu) w wyniku reakcji jądrowej:



W 1932 r. dysponowano już protonami, jako pociskami przyśpieszonymi w silnym polu elektrycznym, uzyskiwanym w tzw. generatorze Cockrofta-Waltona. Pierwszą reakcją wywołaną przez protony była:

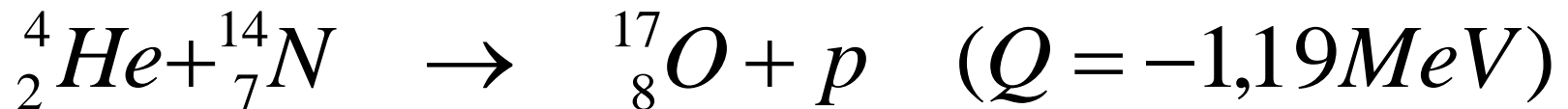


Reakcje jądrowe

Reakcjami nazwiemy oddziaływania z udziałem dwóch obiektów, z których przynajmniej jeden jest jądrem - obiektem złożonym z protonów i neutronów. Procesy, w których uczestniczą w stanie początkowym dwie cząstki elementarne nazwiemy oddziaływaniami elementarnymi. Zapisem reakcji jest:



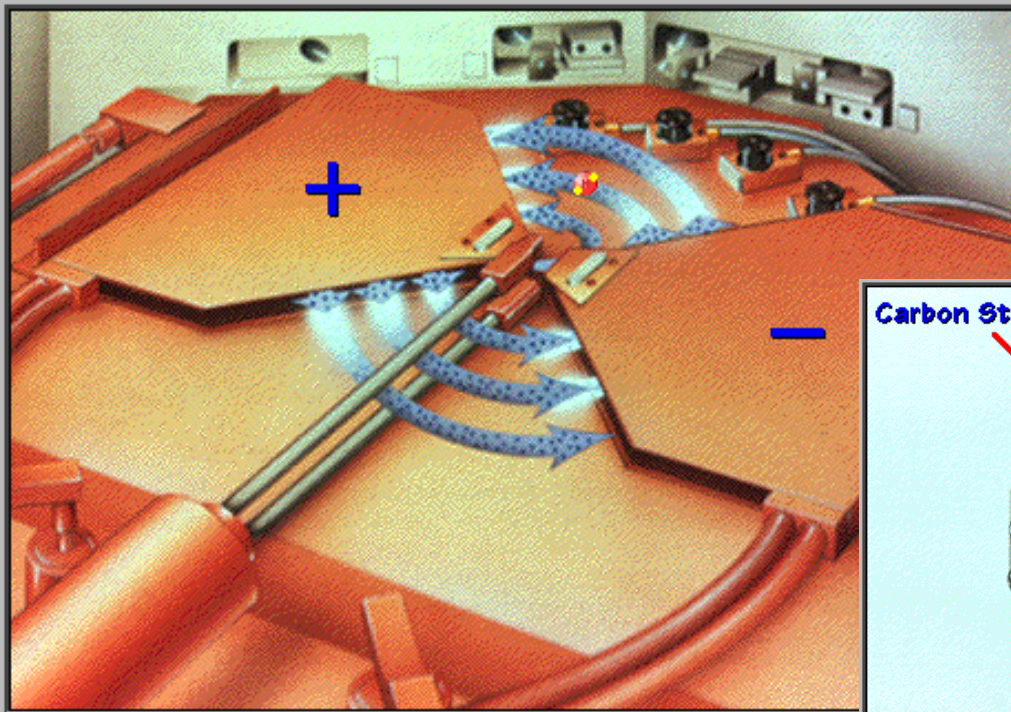
W 1919 r. Rutherford zaobserwował pierwszy przypadek "zamiany" jednego jądra (azotu) na inne (tlenu) w wyniku reakcji jądrowej:



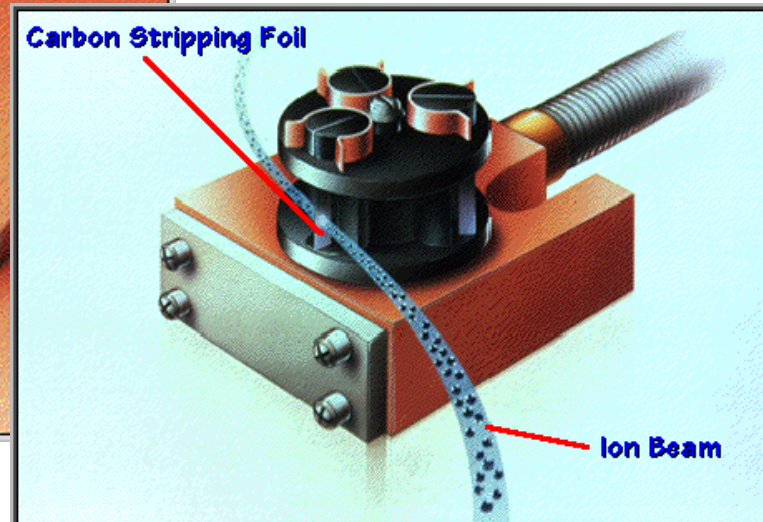
W 1932 r. dysponowano już protonami, jako pociskami przyśpieszonymi w silnym polu elektrycznym, uzyskiwanym w tzw. generatorze Cockrofta-Waltona. Pierwszą reakcją wywołaną przez protony była:



Cyklotron i wyprowadzenie wiązki

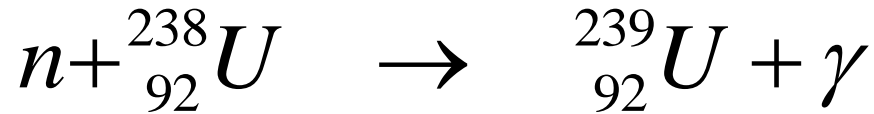


Przyspieszanie ujemnych jonów!

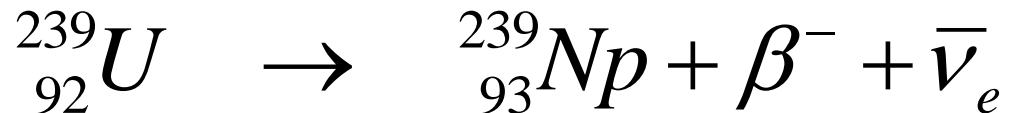


Reakcja rozszczepienia

Badanie procesów wychwytu neutronu doprowadziło do stwierdzenia, że gdy tarczą jest ciężkie jądro ($A > \text{ok. } 200$), a źródło i tarcza są otoczone materiałem bogatym w wodór (np. parafina), ta obserwowana po procesie "wymuszona" aktywność jest szczególnie silna. W latach 30-ch prowadzono intensywne, systematyczne badania procesów wychwytu neutronów przez bardzo ciężkie jądra. Oczekiwano w ich wyniku powstawania transuranowców (jąder o $Z > 92$), np.:



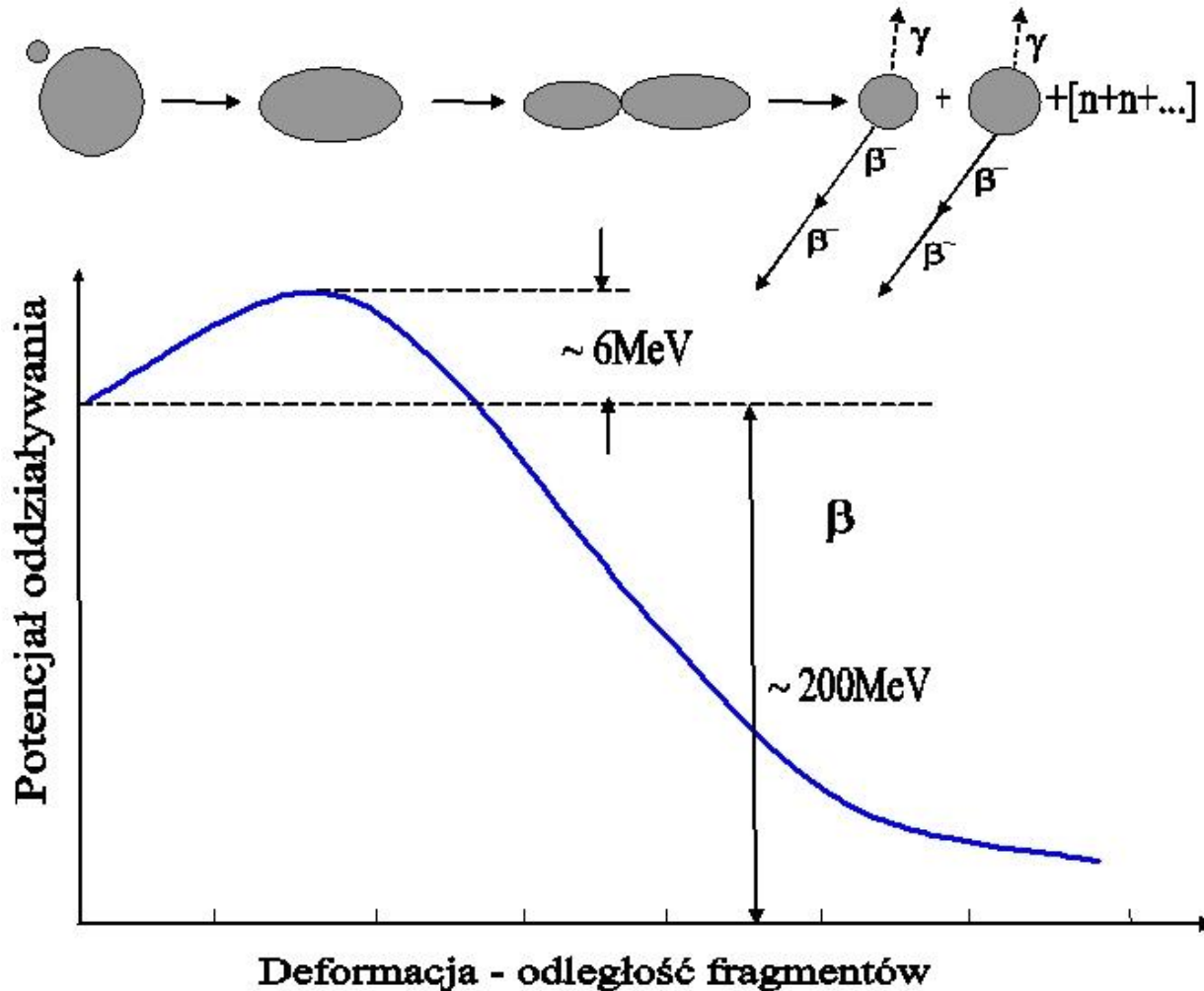
po czym następowałby rozpad β , prowadzący do powstania jądra o liczbie Z większej o jedność, czyli jądra transuranowego



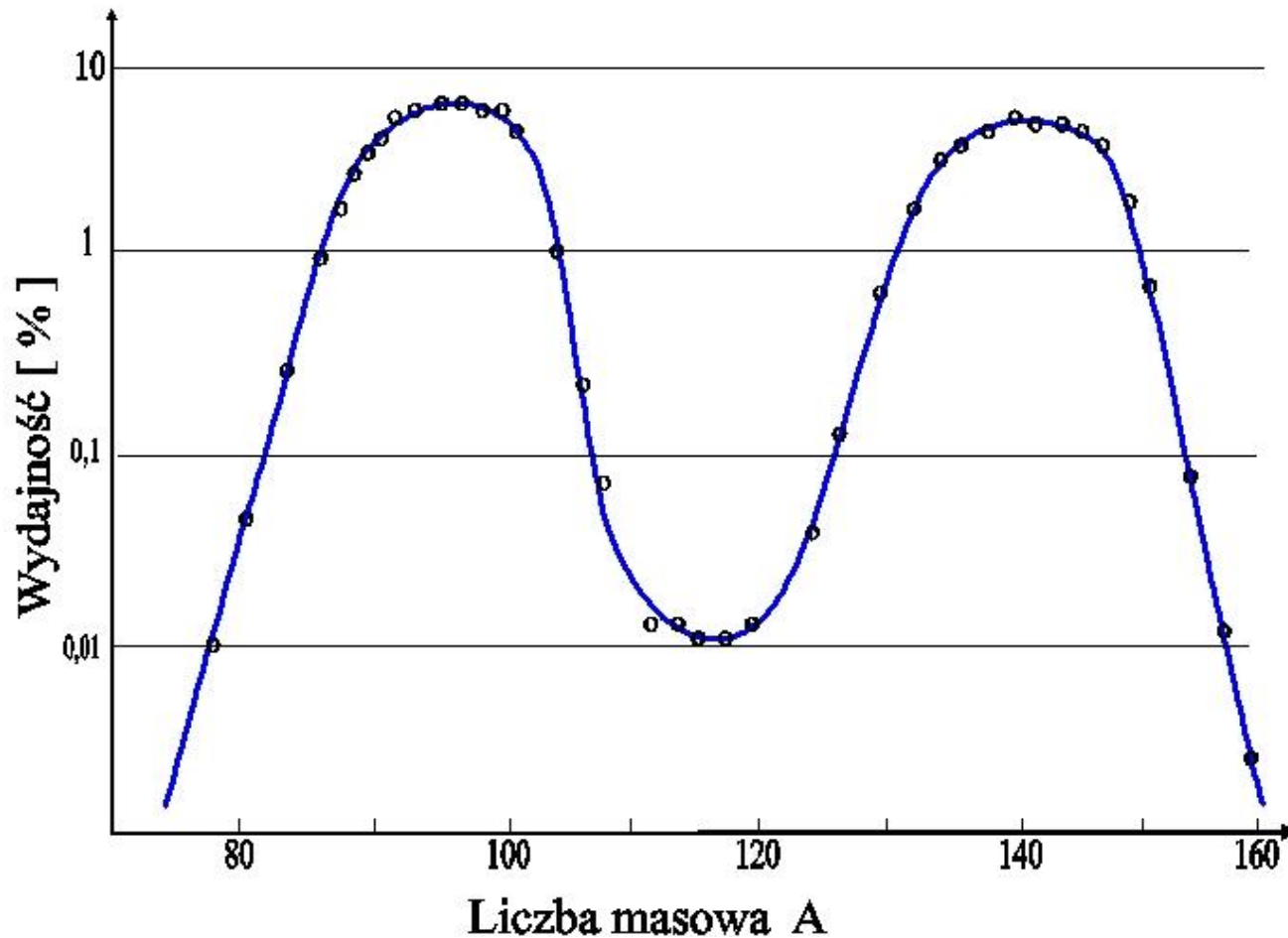
Poza procesami, jak zapisane powyżej, stwierdzono występowanie w stanie końcowym znacznie lżejszych jąder promieniotwórczych,

należących do środkowej części układu periodycznego pierwiastków!!!

Mechanizm rozszczepienia



Reakcja rozszczepienia



Energie w rozszczepieniu

Oszacowanie ilości energii uwalnianej w jednym procesie rozszczepienia, traktowanego jako podział jądra na dwa, w przybliżeniu równe, fragmenty jądrowe.

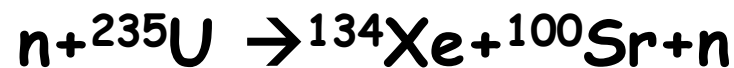
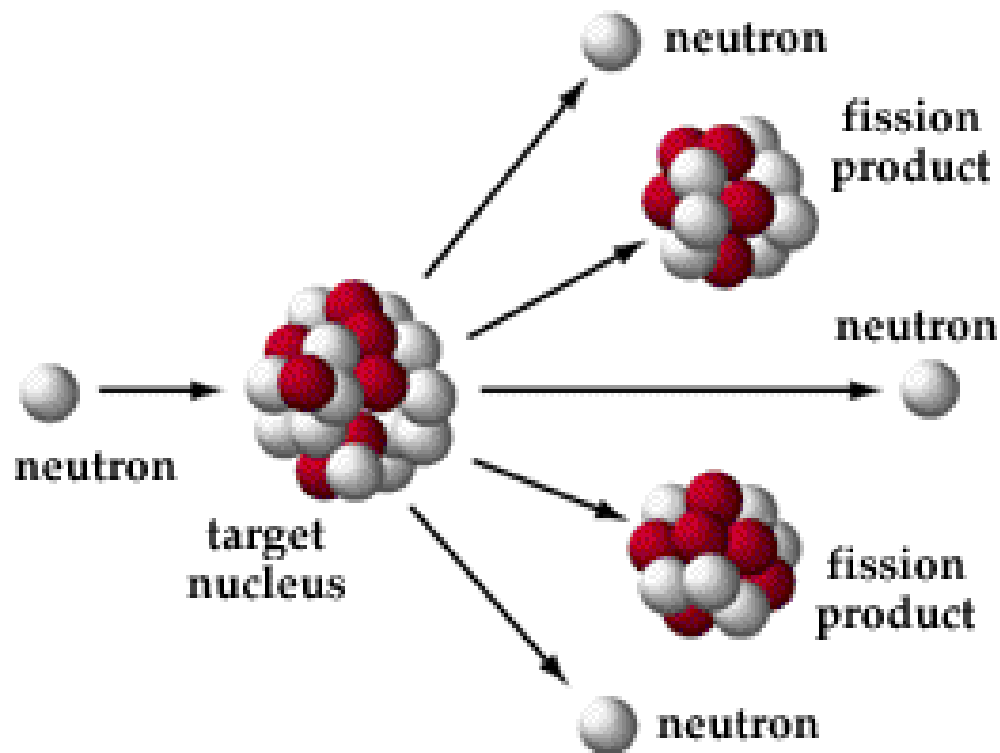
Podział tej energii między poszczególne produkty procesu przedstawia się w istocie następująco:

energia kinetyczna jąder-produktów	ok. 165 MeV
energia wynoszona przez neutron	ok. 5 MeV
energia wynoszona przez "natychmiastowe,,	ok. 7 MeV
energia wynoszona przez elektrony i kwanty z wzbudzonych jąder promieniotwórczych	ok. 25 MeV

Rozszczepienie spontaniczne



Rozszczepienie indukowane



n

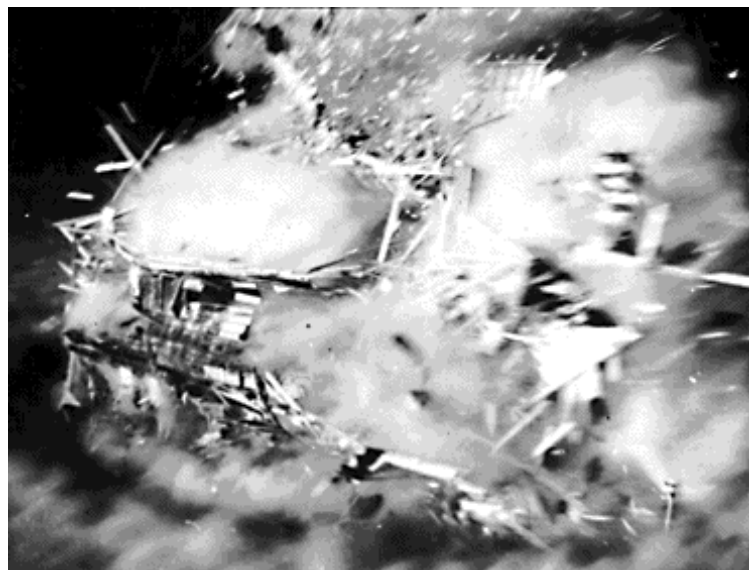
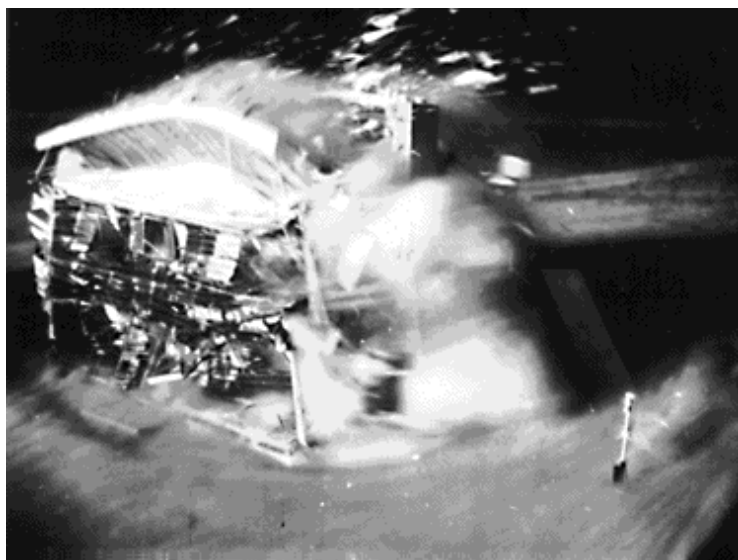
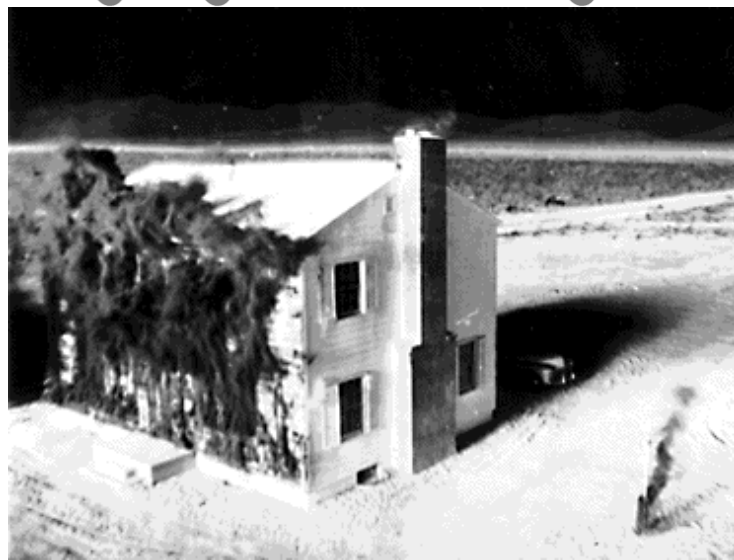
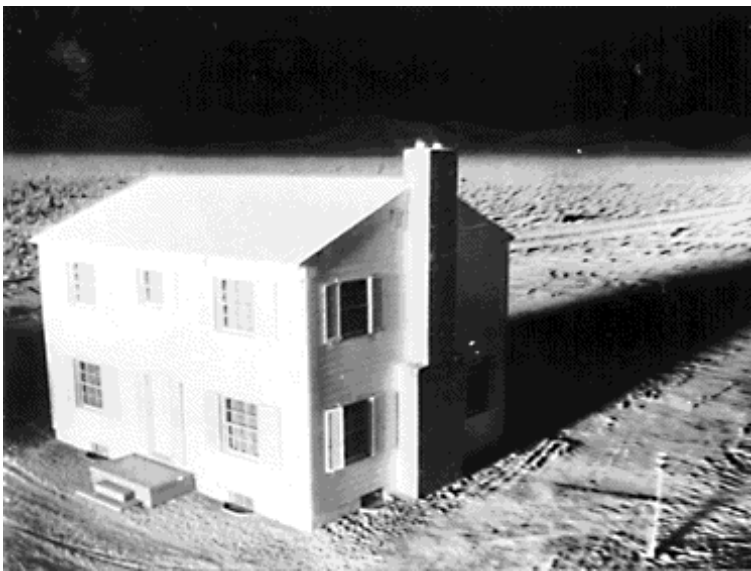
${}^{235}\text{U}$
92 143

Rozszczepienie



4.XII.2018

Skutki eksplozji jądrowej



4.XII.2018

EKOJ - Wykład 9

41/21

Elektrownia jądrowa

