

Elementy fizyki jądrowej.

DR DOROTA JAKUBCZYK

KATEDRA FIZYKI I INŻYNIERII MEDYCZNEJ

WYDZIAŁ MATEMATYKI I FIZYKI STOSOWANEJ

POLITECHNIKA RZESZOWSKA

Jądro atomowe

Jądro atomowe zbudowane jest z A (liczba masowa) nukleonów: neutronów (N) i protonów (liczba atomowa Z):

$$A = Z + N$$

Nuklid	Z	N	A	Trwałość ^a	Masa ^b [u]	Spin ^c	Energia wiązania [MeV/nukleon]
¹ H	1	0	1	99,985%	1,007 825	1/2	—
⁷ Li	3	4	7	92,5%	7,016 003	3/2	5,60
³¹ P	15	16	31	100%	30,973 762	1/2	8,48
⁸⁴ Kr	36	48	84	57,0%	83,911 507	0	8,72
¹²⁰ Sn	50	70	120	32,4%	119,902 199	0	8,51
¹⁵⁷ Gd	64	93	157	15,7%	156,923 956	3/2	8,21
¹⁹⁷ Au	79	118	197	100%	196,966 543	3/2	7,91
²²⁷ Ac	89	138	227	21,8 lat	227,027 750	3/2	7,65
²³⁹ Pu	94	145	239	24 100 lat	239,052 158	1/2	7,56

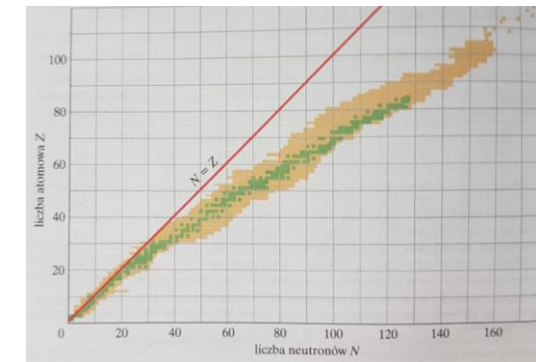
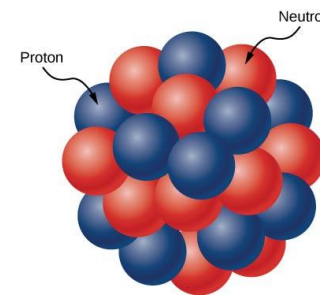
^a W przypadku nuklidów trwałych podano **względną częstość występowania**, która mówi, jaki ułamek atomów typowej próbki pierwiastka stanowią atomy danego izotopu. Dla nuklidów promieniotwórczych podano czasy połowicznego zniknięcia.

^b Zgodnie z powszechnie przyjętą praktyką podano masę atomu obojętnego, a nie samego jądra.

^c Spinowy moment pędu w jednostkach \hbar .

Nuklidy (tak nazywamy jądra, gdy opisujemy je jako samodzielne cząstki, a nie części atomu) o tej samej liczbie atomowej, a różniące się liczbą neutronów to **IZOTOPY**!

Nuklidy promieniotwórcze zmieniają się w inny nuklid ulegając **ROZPADOWI** i emitując pewną cząstkę!



Rozmiar jądra atomowego

Doświadczalnie ustalono efektywny promień nuklidu:

$$r = r_0 A^{1/3}, r_0 = 1,2 \text{ fm}, 1 \text{ femtometr} = 1 \text{ fermi} = 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

Doświadczalnie ustalono, że neutrony mają promień bardzo zbliżony do promienia protonów!

Przybliżona masa protonu: $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Masa protonu i neutronu jest w przybliżeniu taka sama!

Masa jądra jest mniejsza niż suma mas jego protonów i neutronów, a więc energia spoczynkowa jądra jest mniejsza niż suma energii spoczynkowych protonów i neutronów.

Różnica to ENERGIA WIĄZANIA!!!

Energie jąder są SKWANTOWANE!!!

Rozpad promieniotwórczy

Prawa rządzące światem subatomowym mają charakter statystyczny!

NIE MOŻNA powiedzieć, które jądro w próbce N jąder promieniotwórczych w kolejnej sekundzie się rozpadnie.

Szybkość rozpadu jest proporcjonalna do liczby jąder promieniotwórczych:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

λ – stała rozpadu charakterystyczna dla danego nuklidu

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Szybkość rozpadu jąder

$$R = -\frac{dN}{dt} = \underbrace{\lambda N_0}_{R_0} e^{-\lambda t}$$

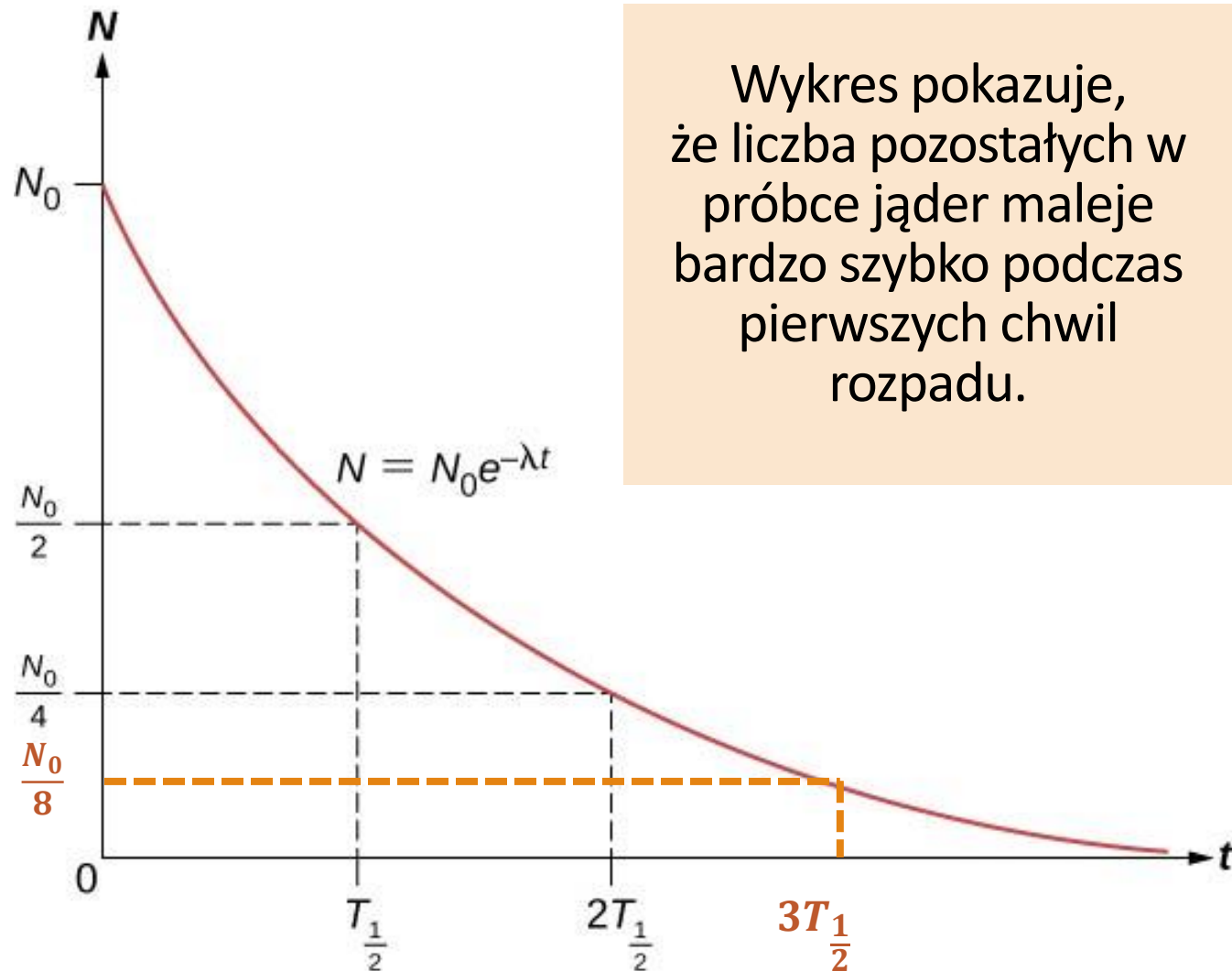
$$R = \lambda N$$

Aktywność próbki to całkowita szybkość rozpadu w próbce zawierającej jeden lub kilka nuklidów. Jednostka aktywności próbki to **bekereł (Bq)**.

1 bekerel = 1 Bq = 1 rozpad / sekundę

Czas połowicznego zaniku $T_{1/2}$ nuklidu promieniotwórczego informuje po jakim czasie N i R maleją do połowy swoich wartości:

$$\frac{1}{2}R_0 = R_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \quad \rightarrow \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$



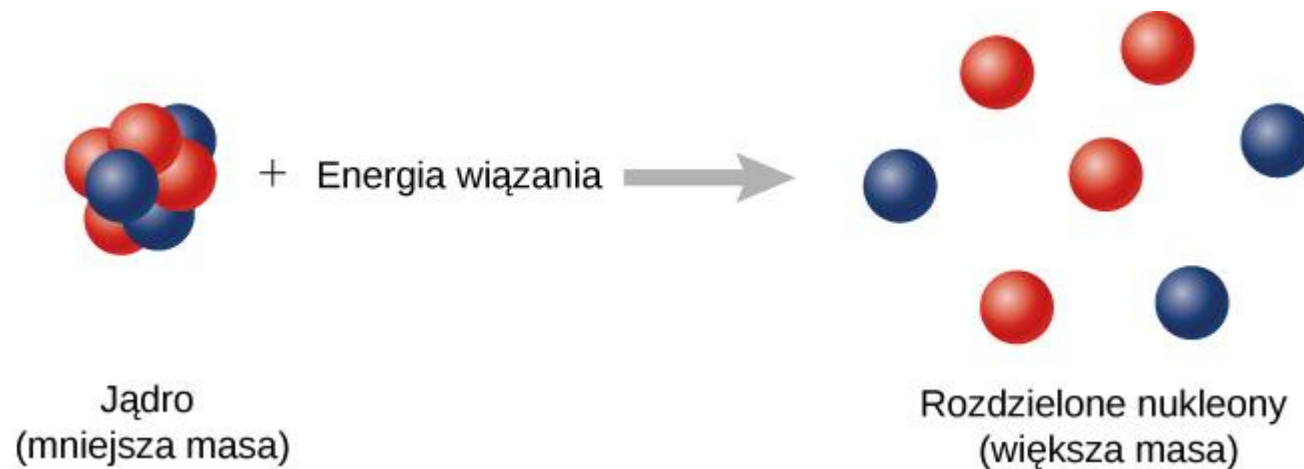
Wykres pokazuje, że liczba pozostałych w próbce jąder maleje bardzo szybko podczas pierwszych chwil rozpadu.

Wykres prawa rozpadu promieniotwórczego

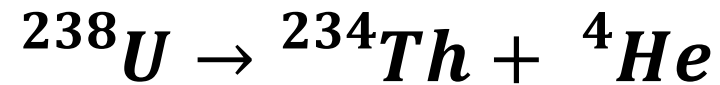
Energia wiązania jądra (E_w)

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_j \quad \rightarrow \quad E_w = \Delta mc^2$$

Energia wiązania jest równa ilości energii uwalnianej w procesie tworzenia jądra!



Rozpad α

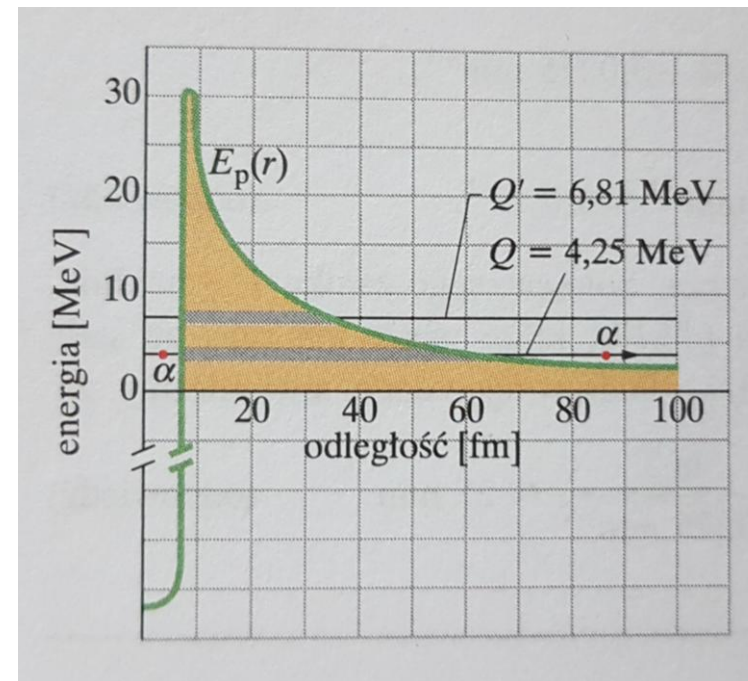


Energia spoczynkowa produktów rozpadu
jest mniejsza niż energia spoczynkowa
rozpadającego się jądra!

**Różnica = ENERGIA ROZPADU = energia
uwalniana w wyniku rozpadu**

$$T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ lat dla } ^{238}\text{U} \quad (Q)$$

$$T_{1/2} = 9,1 \text{ min dla } ^{228}\text{U} \quad (Q') !!!$$



Rozpad β

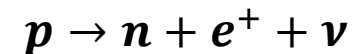
Rozpad β^-



$$+15e = +16e + (-e) + 0$$



Rozpad β^+

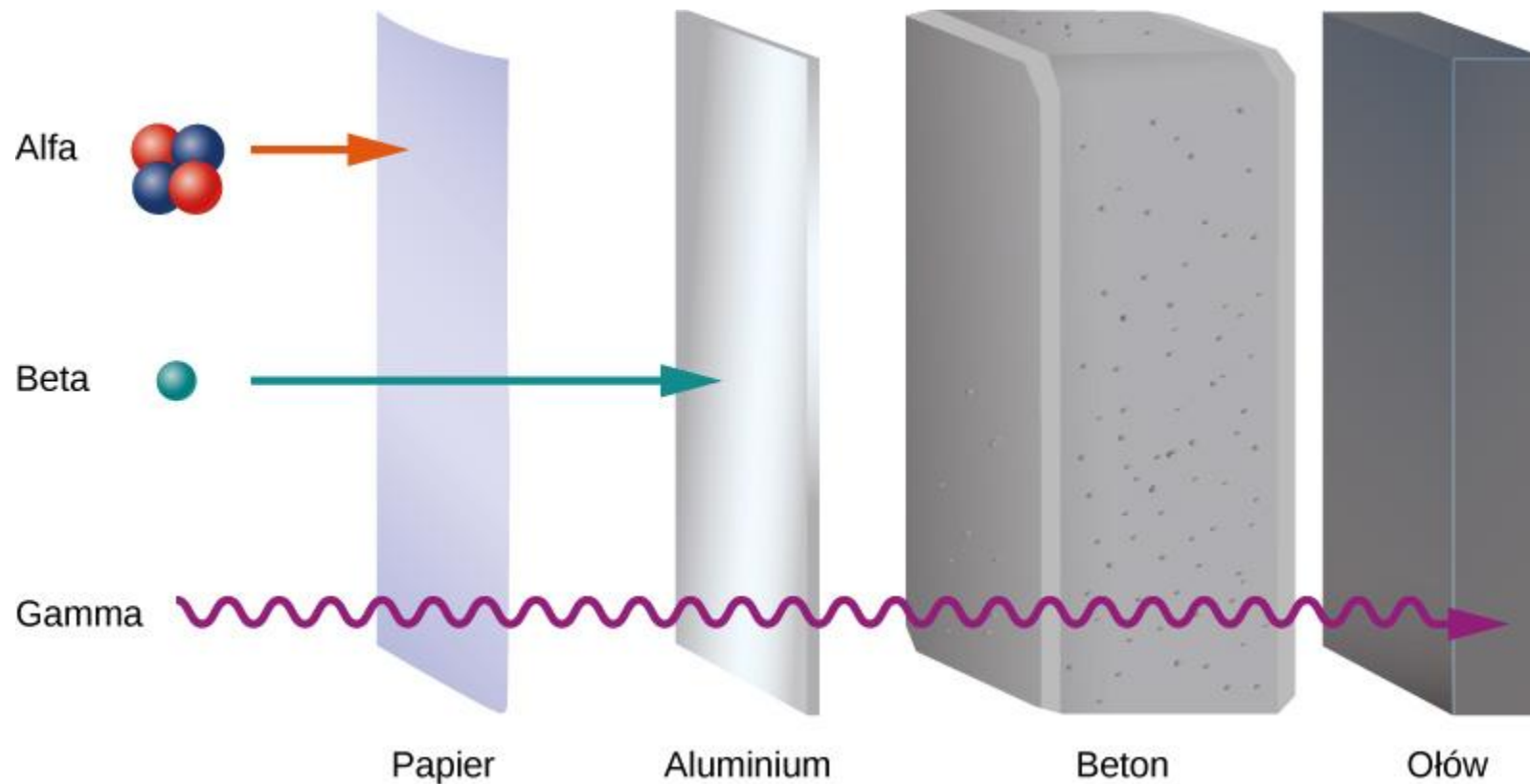


Ładunek i liczba nukleonów są ZACHOWANE!

Protony i neutrony nie są cząstkami elementarnymi!

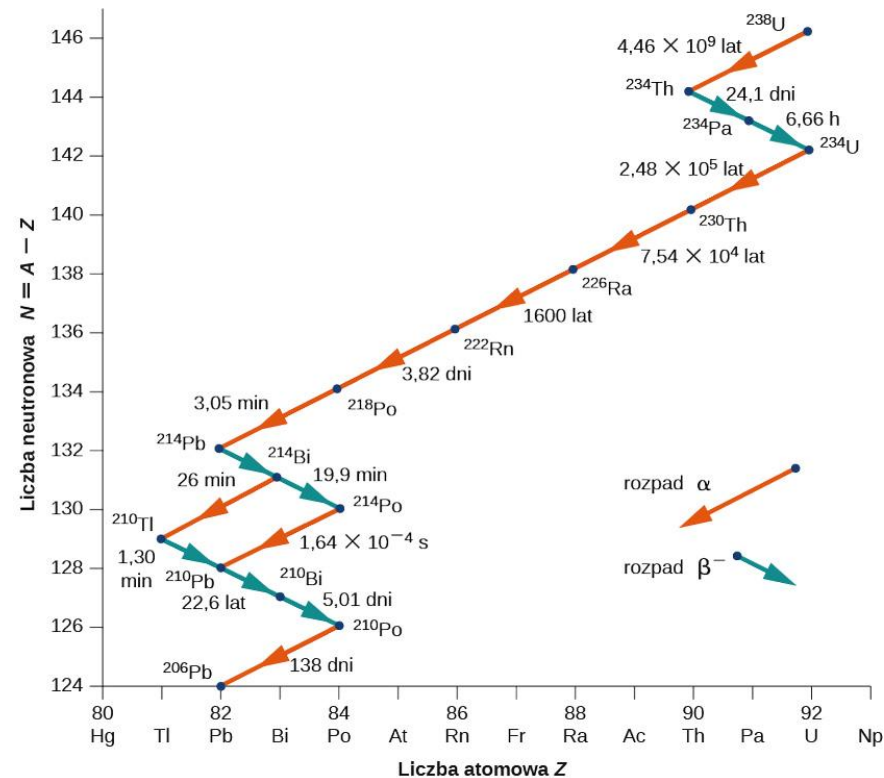
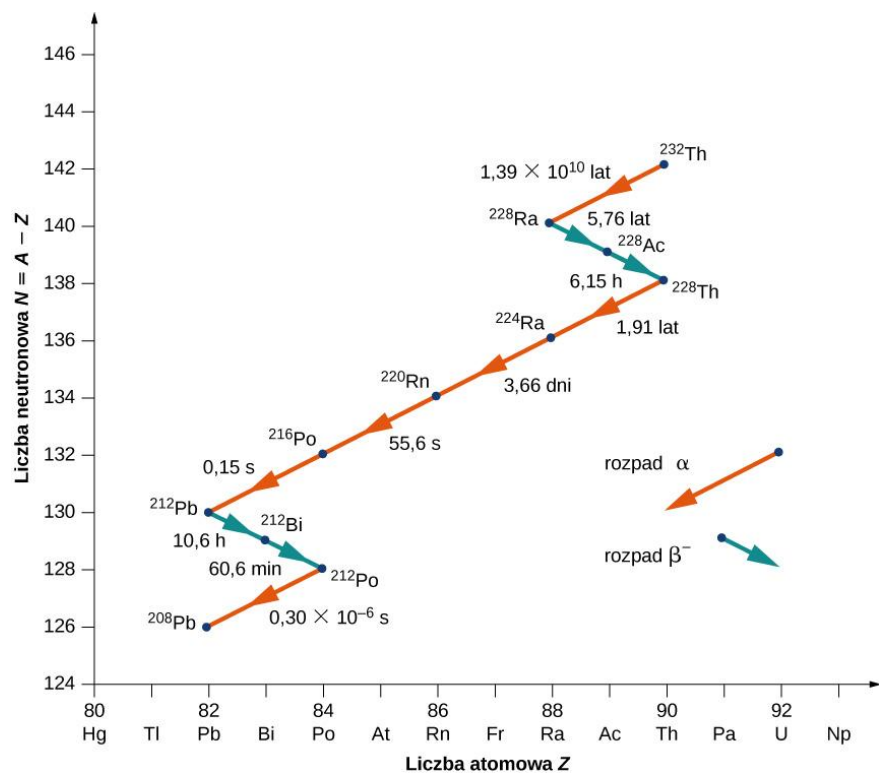
Energia rozpadu ulega podziałowi (nie zawsze równemu) pomiędzy emitowany elektron a neutrino!

Neutrino ν unosi energię w przybliżeniu równą 0.



Gamma – rozpad γ polega na emisji fotonów promieniowania gamma podczas przechodzenia jądra ze stanu wzbudzonego do stanu o niższej energii.

Szereg promieniotwórczy



Treści dostępne za darmo na

<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szkół-wyższych-tom-3/pages/1-wstep>

Radon

Radon Rn jest jednym z produktów rozpadu **radu** ^{226}Ra .

Radon jest szkodliwy, ponieważ szybko się rozpada na kolejne promieniotwórcze pierwiastki. Promieniowanie jonizujące, a dokładnie radon i jego pochodne wdychane z powietrzem atmosferycznym są drugim po paleniu tytoniu czynnikiem decydującym o zapadalności na nowotwór płuc.

Najważniejszym uszkodzeniem są zmiany w DNA, które mogą prowadzić do indukcji nowotworów układu oddechowego, głównie płuc oraz białaczek.

Radon może osiągać szkodliwe stężenie również w pomieszczeniach mieszkalnych i biurowych.

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH- Państwowy Instytut Badawczy

OBWIESZCZENIE MINISTRA ZDROWIA z dnia 22 stycznia 2021 r.

w sprawie ogłoszenia Krajowego planu działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy

Radon

Średnie stężenie ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym w Polsce wynosi ok. 10 Bq/m^3 i różni się w zależności od obszaru kraju. Przykładowo wynosi, w Kowarach ok. 30 Bq/m^3 , w Świeradowie Zdroju ok. 24 Bq/m^3 , w Karpaczu ok. $8,7 \text{ Bq/m}^3$, w Warszawie ok. $2,7 \text{ Bq/m}^3$.

Na podstawie wyników dotychczasowych badań można przypuszczać, że obszary podwyższonego ryzyka obejmują 10% obszaru kraju, gdzie stężenie radonu w gruncie przekracza 50 Bq/m^3 . **Są to regiony południowe.**

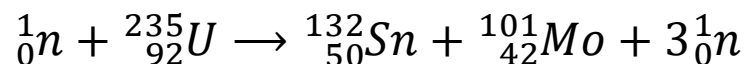
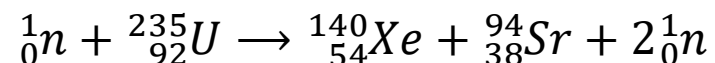
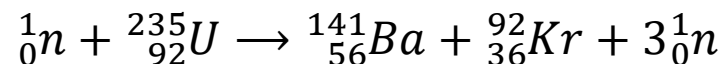
Udowodniono, że stałe narażenie na wdychanie radonu i jego pochodnych jest szkodliwe, jednak radon może działać również prozdrowotnie. W związku z tym, jest wykorzystywany w medycynie, głównie w zabiegach kąpielowych, do płukania jamy ustnej, do picia i inhalacji.

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH- Państwowy Instytut Badawczy

OBWIESZCZENIE MINISTRA ZDROWIA z dnia 22 stycznia 2021 r.

w sprawie ogłoszenia Krajowego planu działania w przypadku długoterminowych zagrożeń wynikających z narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz w miejscach pracy

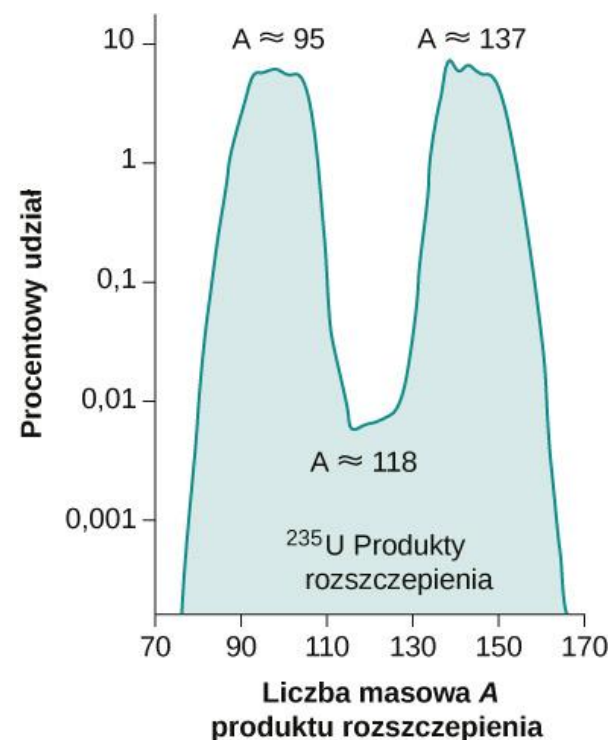
Rozszczepienie jądra atomowego



W każdym przypadku suma mas powstałych jąder jest mniejsza niż masa rozszczepianego jądra!

Jest to podstawą zastosowania rozszczepienia jąder jako źródła energii w reaktorach.

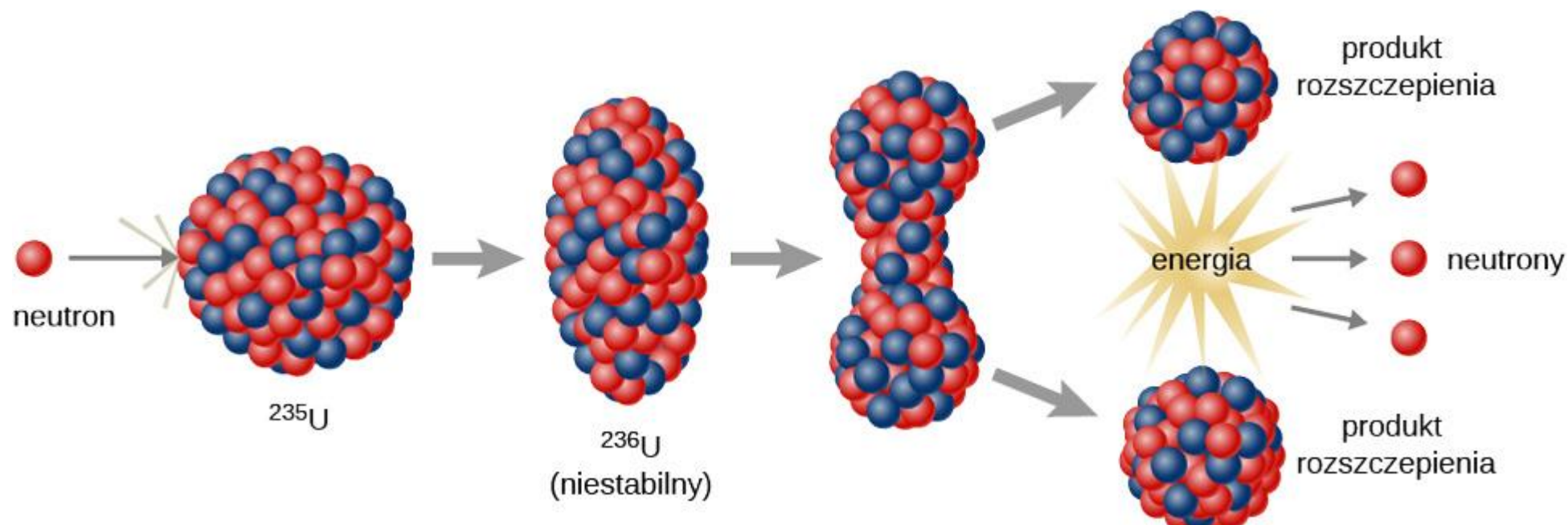
Wytwarzana energia odprowadzana jest w postaci energii kinetycznej powstających w reakcji cząstek.



Treści dostępne za darmo na

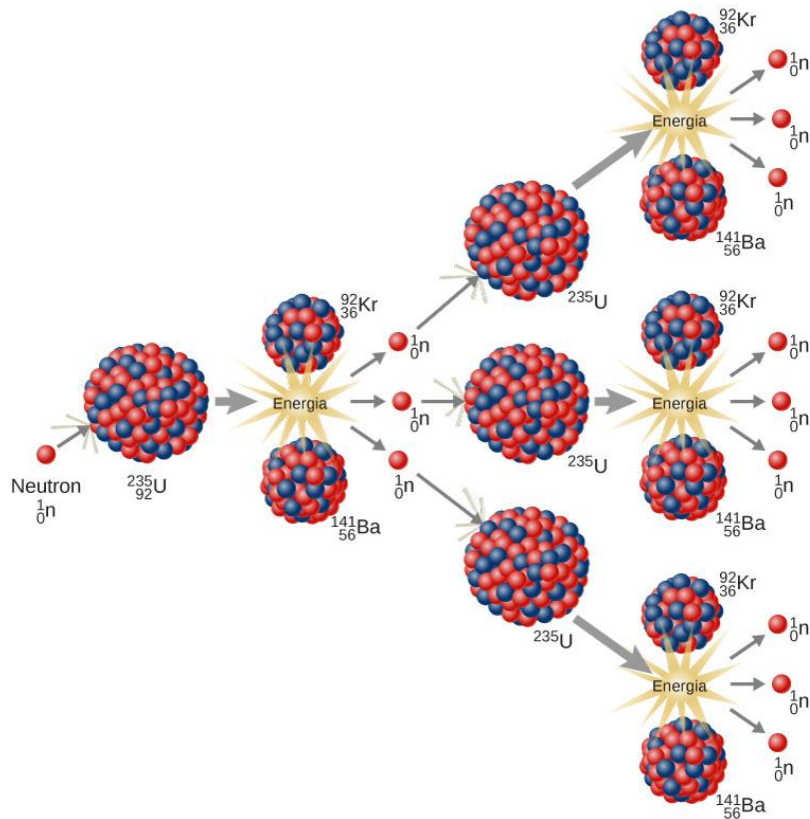
<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szkół-wyższych-tom-3/pages/1-wstep>

Kroplowy model rozszczepienia jądra



W kroplowym modelu rozszczepienia jądro uranu rozpada się na dwa lżejsze jądra w wyniku dołączenia do jądra neutronu.

Reakcja łańcuchowa



W reakcji łańcuchowej rozszczepienia ${}^{235}\text{U}$ generowane są wysokoenergetyczne neutrony, które powodują podział kolejnych jąder.

Energia uwalniana w tym procesie może służyć do produkcji energii elektrycznej.

Bomba atomowa

Odkrycie bomby atomowej nastąpiło bezpośrednio przed II wojną światową i wielu europejskich fizyków biorących udział w tych pracach było uciekinierami z nazistowskich Niemiec lub krajów przez nie okupowanych.

Naturalny uran zawiera 99,3% ^{238}U , a tylko 0,7% ^{235}U i nie podtrzymuje reakcji łańcuchowej. Aby podtrzymać kontrolowaną reakcję łańcuchową, zawartość ^{235}U musi zostać zwiększona. Ponadto próbka uranu musi być wystarczająco masywna, by wywołanie przez typowy neutron rozszczepienia było bardziej prawdopodobne niż jego ucieczka.

Jest to bardzo trudne zadanie do zrealizowania dla uranu ^{235}U .

Pierwotnie używano dwóch kawałków ^{235}U poniżej masy krytycznej. Po wstrzeleniu jednego kawałka w kształcie pocisku w drugi następowało przekroczenie masy krytycznej i rozpoczynała się reakcja łańcuchowa.

Bomba atomowa

Istotną przeszkodą w konstruowaniu bomby atomowej jest konieczność uzyskania masy krytycznej materiału rozszczepialnego.

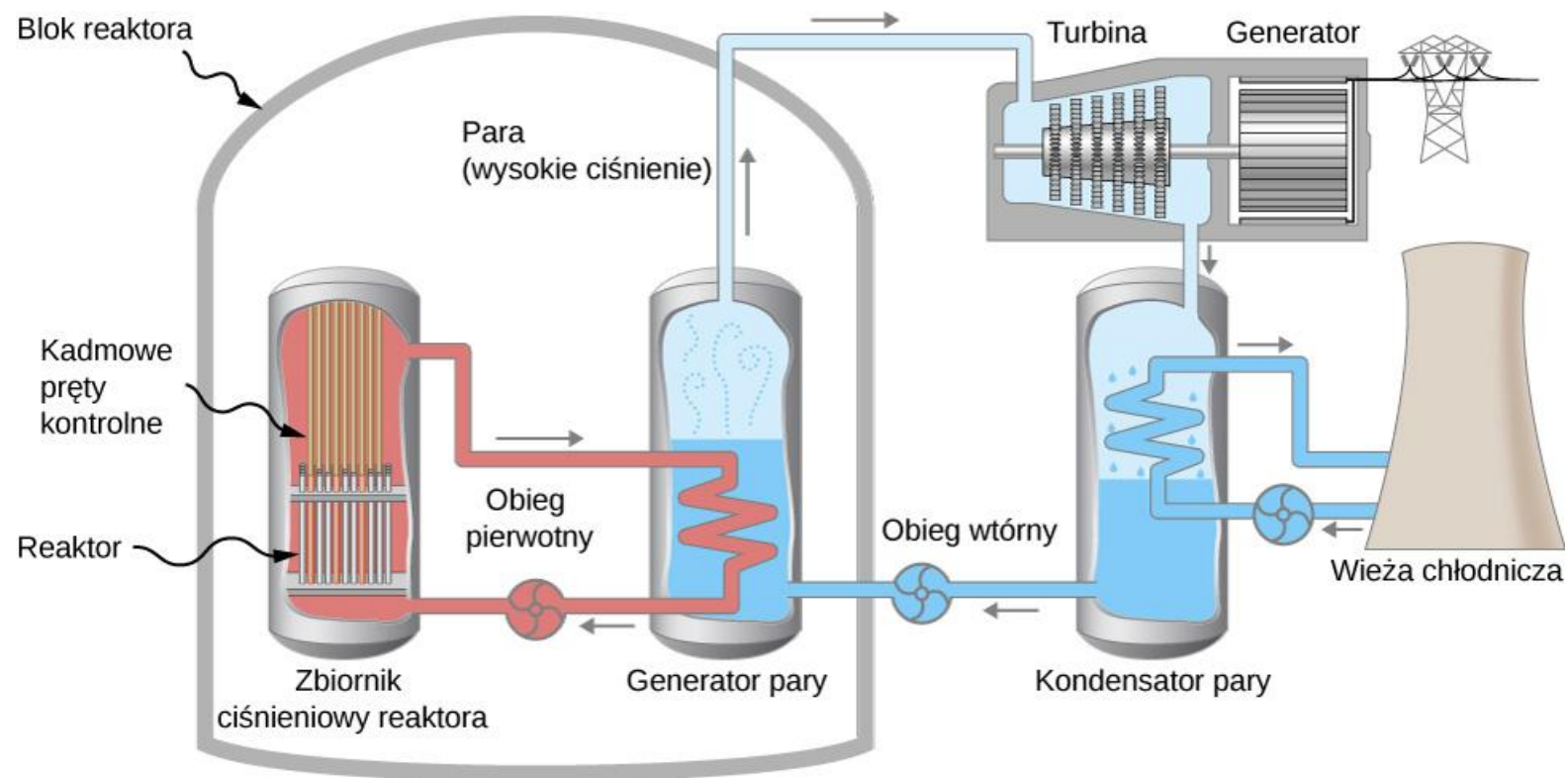
Dlatego też naukowcy opracowali bombę wykorzystującą pluton ^{239}Pu , ponieważ ^{239}Pu jest łatwiej rozszczepialny niż ^{235}U i tym samym wymaga mniejszej masy krytycznej.

Przykładowa bomba miała kształt sfery z kawałkami plutonu, każdy poniżej masy krytycznej, przy powierzchni tej sfery.

Za pomocą serii eksplozji chemicznych kawałki plutonu jednocześnie wstrzeliwano do środka sfery.

Całkowita masa połączonych w ten sposób kawałków przekraczała masę krytyczną i rozpoczynała się reakcja łańcuchowa.

Reaktory jądrowe



Przykłady

Zad. 1. Wiedząc, że okresy połowicznego rozpadu niektórych izotopów promieniotwórczych wynoszą:

Izotop promieniotwórczy	Okres połowicznego rozpadu
Radon - $^{222}_{86}\text{Rn}$	3,8 dnia
Rad - $^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 lat
Węgiel - $^{14}_6\text{C}$	5700 lat

Oblicz po jakim czasie 10% każdego z podanych powyżej pierwiastków ulegnie rozpadowi.

Zad. 2. Ile wynosi liczba rozpadów w ciągu jednej sekundy 1 grama radu $^{226}_{88}\text{Ra}$ z zadania 1?

Literatura

1. D. Holliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki T. 5, PWN 2009 lub inne wydania
2. William Moebs et. al., Fizyka dla szkół wyższych, tom 3
<https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkol-wyzszych-polska>