

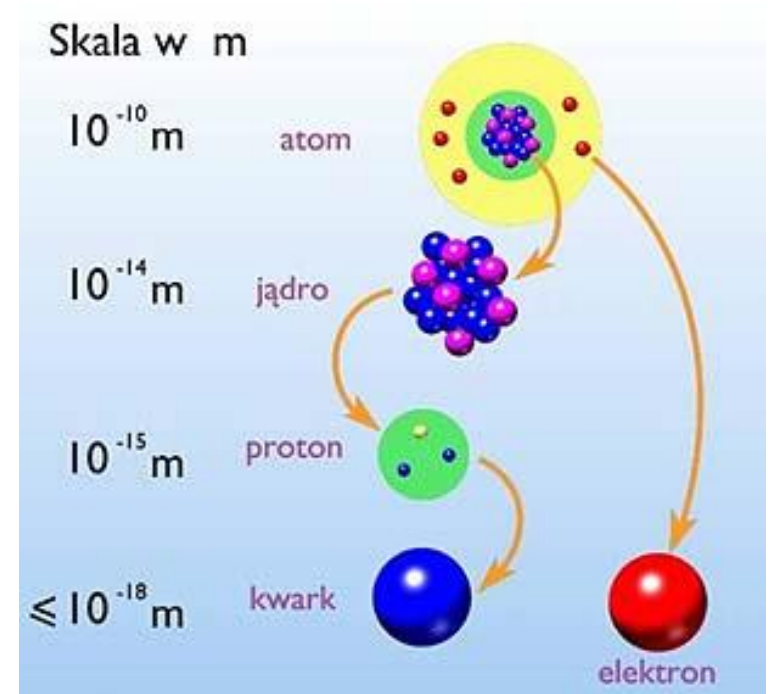
Podstawy fizyki – sezon 2

12. Elementy fizyki jądrowej

Agnieszka Obłąkowska-Mucha

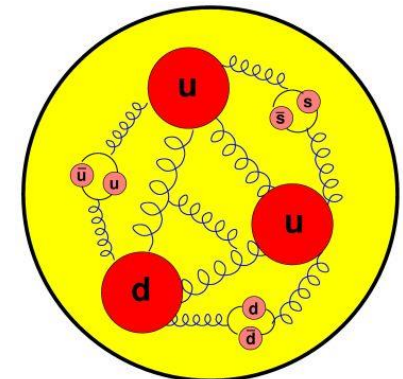
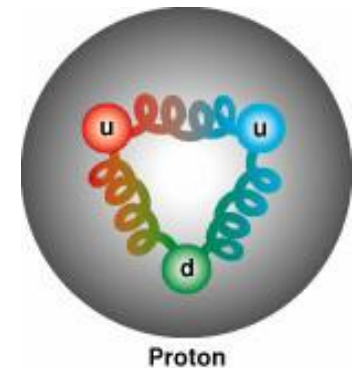
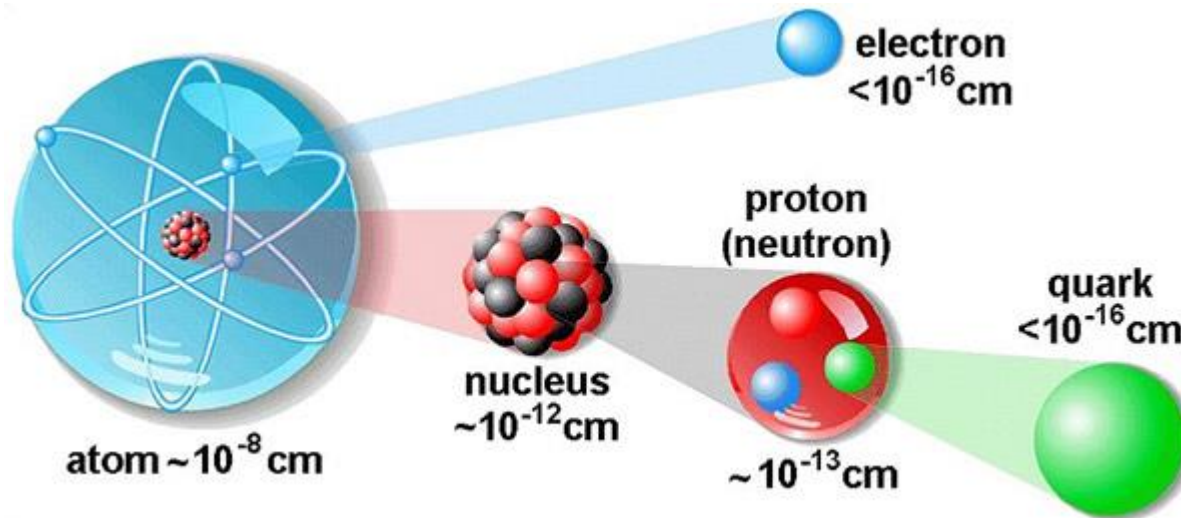
Budowa atomu

- ▶ Atom składa się z jądra atomowego i elektronów.
- ▶ Klasycznie – elektrony są utrzymywane na orbitach przez siłę Coulomba.
- ▶ Jądro atomowe ma ładunek dodatni
- ▶ Prawie cała masa atomu, to masa jądra.
- ▶ W jądrze są protony i neutrony (nukleony).



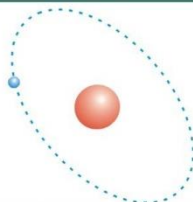
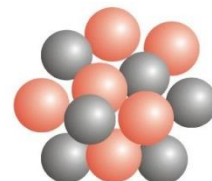
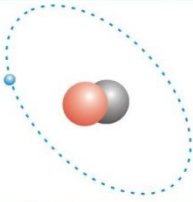
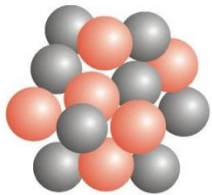
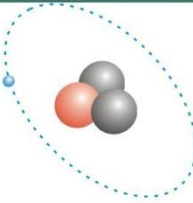
Nukleony

- ▶ Nukleony oddziałują za sobą poprzez **oddziaływania silne** (jądrowe).
- ▶ Nukleony zbudowane są z **kwarków** (np. uud).
- ▶ Nie ma bardziej elementarnego składnika materii niż kwarki.



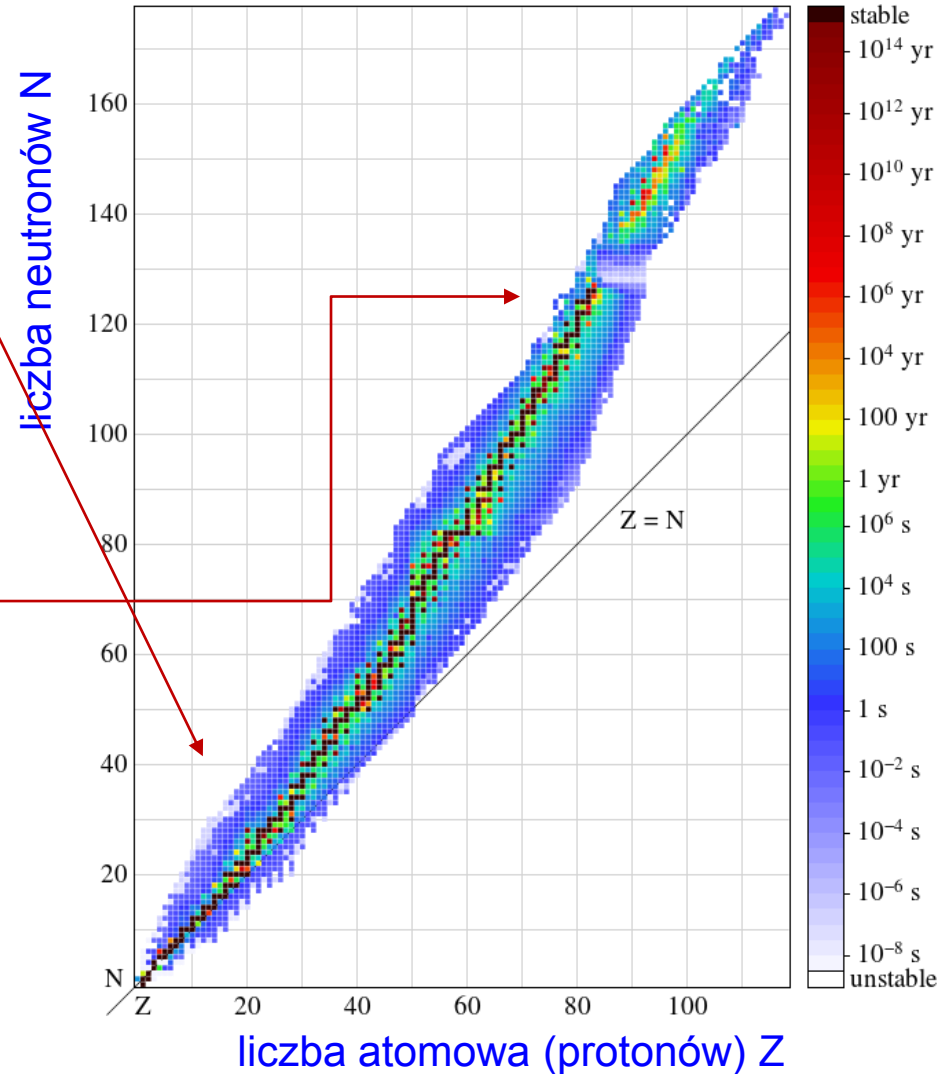
Izotopy

- ▶ Izotopy – atomy tego samego pierwiastka (bo protonów i, co za tym idzie elektronów jest tyle samo), różniące się **liczbą neutronów**.

<i>izotopy wodoru</i>	<i>izotopy węgla</i>	
${}^1_1\text{H}$ prot 	${}^{12}_6\text{C}$ 	liczba masowa (suma protonów i neutronów w jądrze atomu) liczba atomowa (liczba protonów w jądrze atomu) ${}^3_1\text{H}$
${}^2_1\text{H}$ deuter 	${}^{14}_6\text{C}$ 	
${}^3_1\text{H}$ tryt 		

Ścieżka stabilności

- ▶ Dla lżejszych jąder korzystnie jest, jak liczba protonów jest taka sama, jak neutronów.
- ▶ Dla cięższych – protonów jest tak dużo, że aby zrównoważyć kulombowskie odpychanie, musi być więcej neutronów oddziałujących silnie.

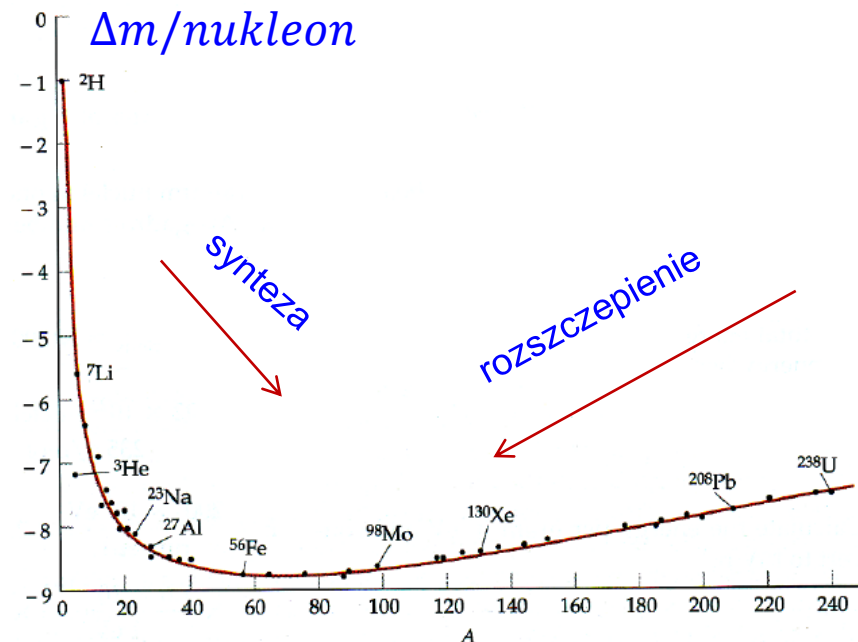


Energia wiązania

- ▶ Energią wiązania ΔE nukleonu nazywamy wielkość równą pracy potrzebnej na usunięcie danego nukleonu z jądra (bez nadania mu energii kinetycznej).
- ▶ Całkowita energia wiązania jądra jest określona jako praca potrzebna na rozłożenie jądra na jego składowe nukleony.
- ▶ ΔE - energia wiązania. Jak nukleony się łączą, całkowita masa zmniejsza się i energia wydziela się na zewnątrz.
- ▶ Masa jądra jest mniejsza niż masa jego składników o $\Delta E/c^2$.
- ▶ W celu rozdzielenia jądra na składniki należy dostarczyć energii do układu, aby wywołać zwiększenie się masy spoczynkowej.

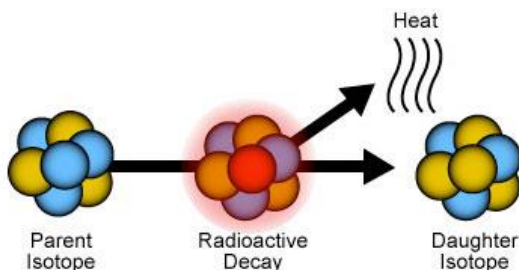
$$E_W = (Zm_p + Nm_n - M_A)c^2$$

Δm – defekt masy

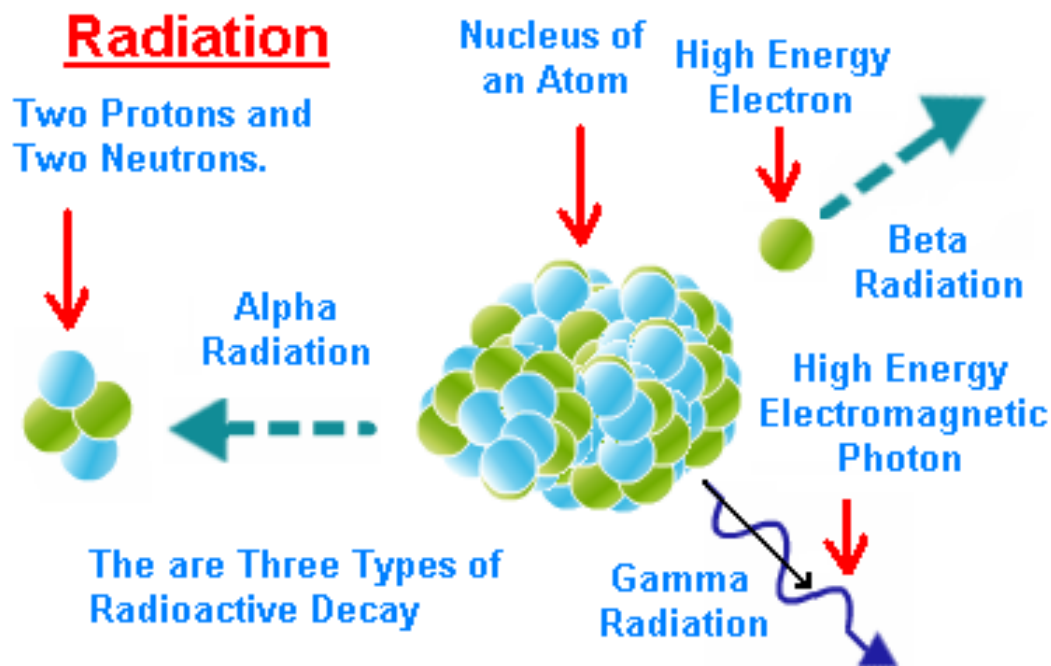


Rozpady promieniotwórcze

- ▶ Jądro może rozpaść się spontanicznie lub poprzez wymuszenie



- ▶ Rozpad następuje, gdy jest to korzystne energetycznie.
- ▶ W wyniku rozpadu emitowane jest promieniowanie:
 - **alfa** (jądra helu)
 - **beta** (elektrony lub pozytony)
 - **gamma** (fotony)



Rozpady promieniotwórcze (samoistne)

- ▶ Rozpad ma charakter statystyczny – nie można przewidzieć, kiedy rozpadnie się konkretne jądro. Można jedynie powiedzieć, że prawdopodobieństwo rozpadu dla danego jądra jest takie samo.
- ▶ Szybkość rozpadu jądra $-\frac{dN}{dt}$ jest proporcjonalna do liczby jąder N :

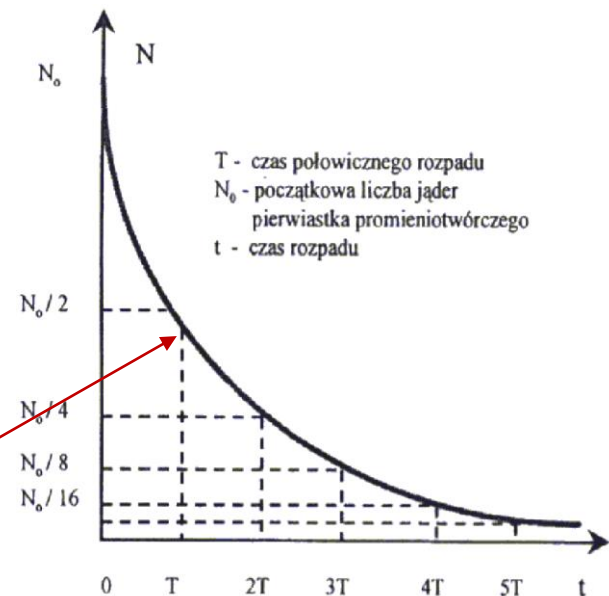
$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

stała rozpadu λ

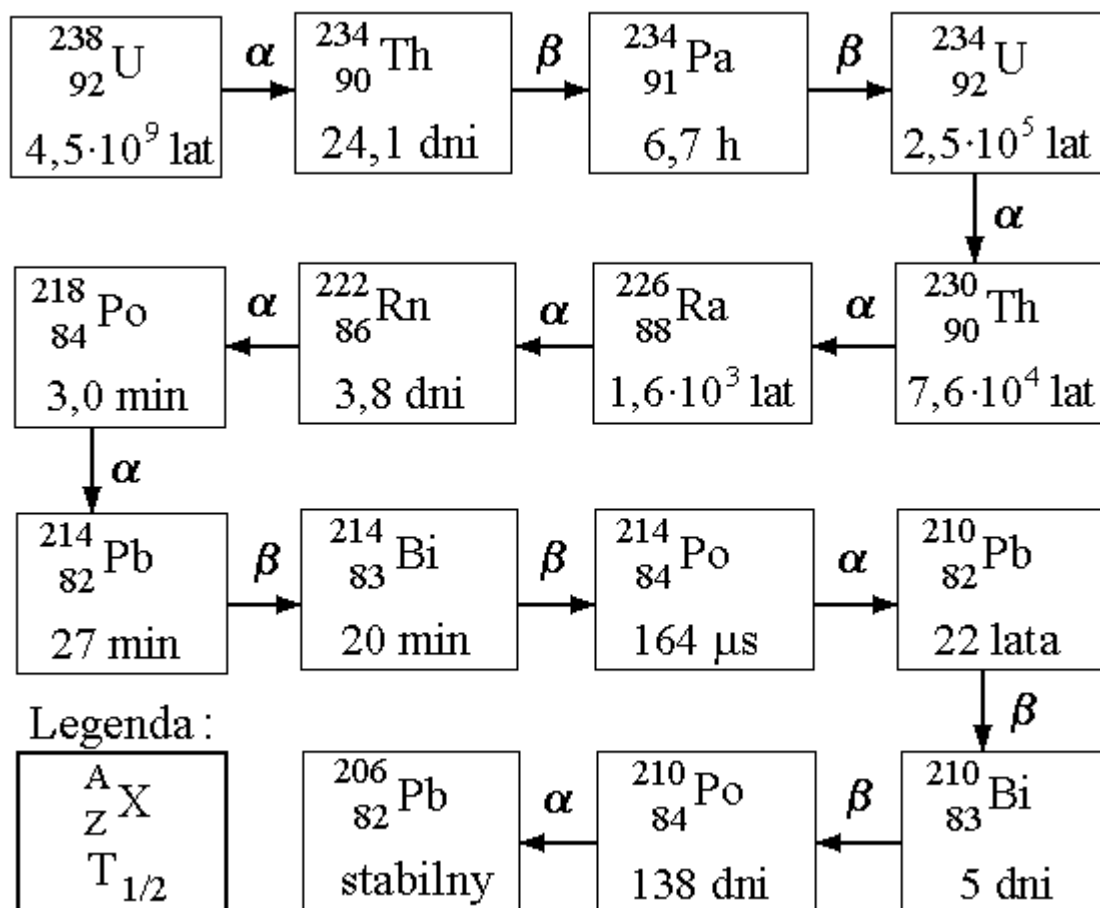
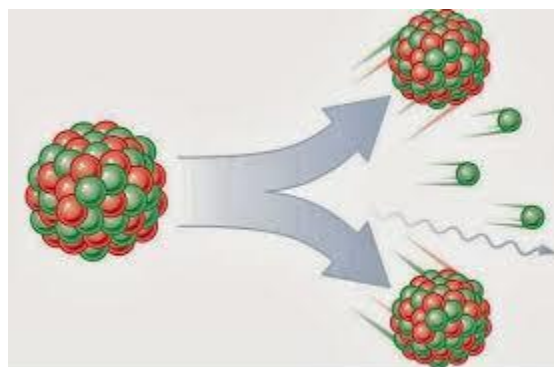
- ▶ Rozwiązując to równanie dostaniemy liczbę jąder, które nie uległy rozpadowi (pozostały w próbce):

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

- ▶ Czas połowicznego rozpadu – czas, po którym liczba jąder spadnie o połowę
- ▶ Średni czas życia τ – czas, po którym liczba jąder będzie e razy mniejsza od początkowej



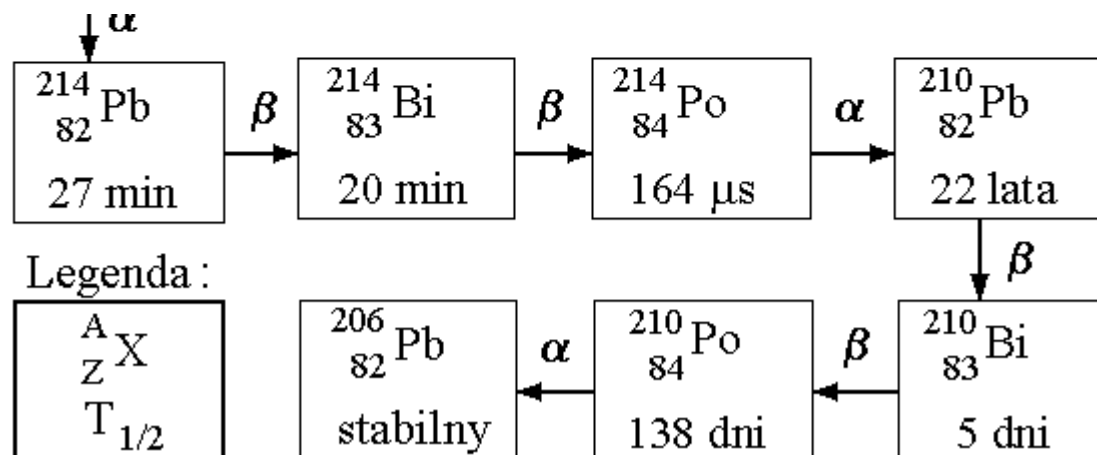
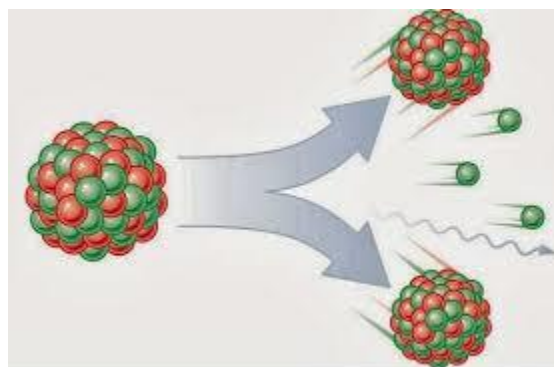
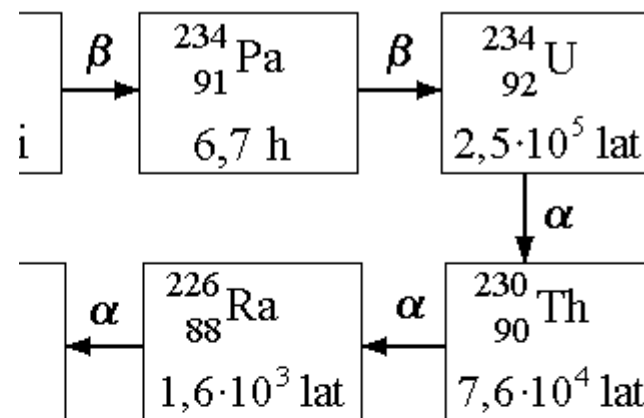
Rozpady – szeregi promieniotwórcze



Rozpady – szeregi promieniotwórcze

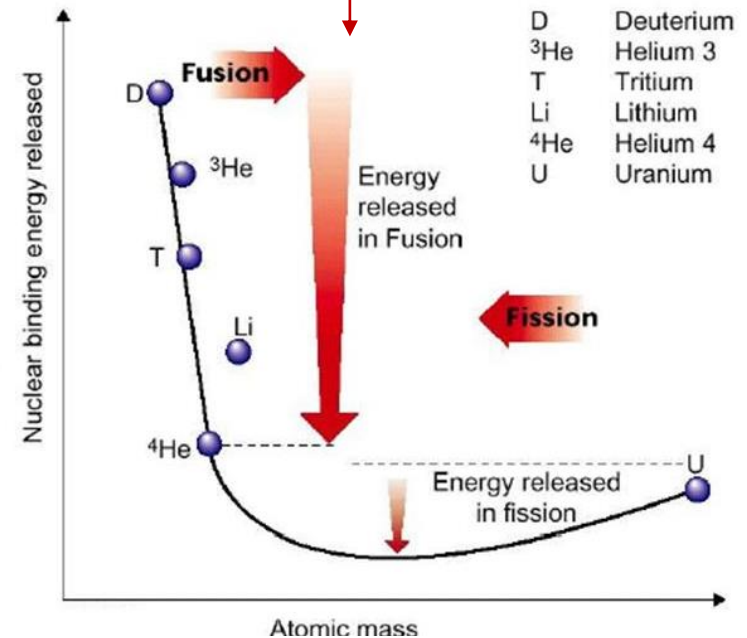
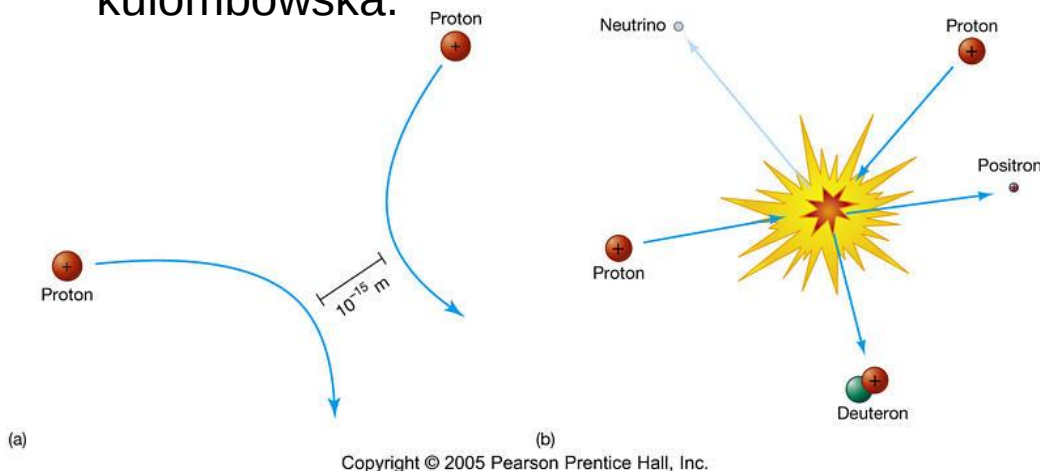
m	Nazwa szeregu	Izotop rozpoczynający dany szereg i okres jego połowicznego rozpadu	Końcowy produkt
0	Torowy	$^{232}_{90}\text{Th}$ 1,4 * 10 ¹⁰	$^{208}_{82}\text{Pb}$
1	Neptunowy	$^{237}_{93}\text{Np}$ 2,2 * 10 ⁶	$^{209}_{83}\text{Bi}$
2	Uranowy	$^{238}_{92}\text{U}$ 4,5 * 10 ⁹	$^{206}_{82}\text{Pb}$
3	Aktynowy	$^{235}_{92}\text{U}$ 7,1 * 10 ⁸	$^{207}_{82}\text{Pb}$

$A = 4n + m$: Liczba masowa izotopów promieniotwórczych



Reakcja syntezy

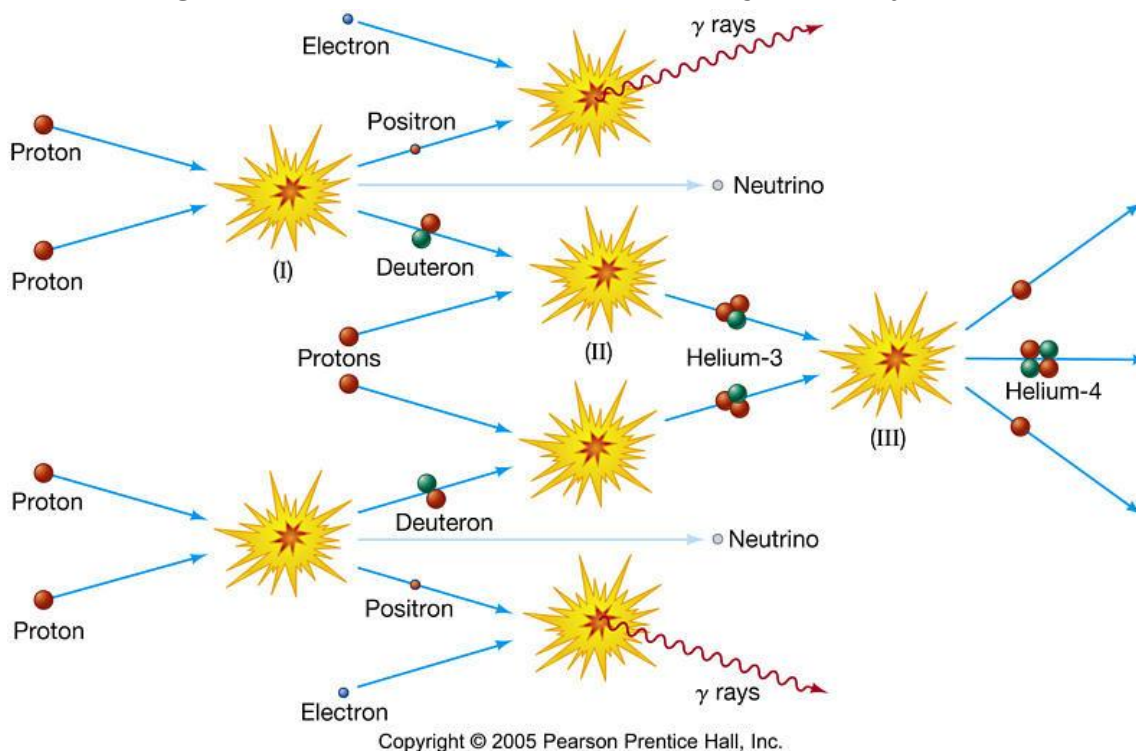
- ▶ Synteza jądrowa jest to proces polegający na połączeniu dwóch lekkich jąder w cięższe.
- ▶ W wyniku syntezy wyzwolona jest energia (ogromna)
- ▶ Syntezę jest trudno wywołać, gdyż jądra odpychają się kulombowsko (jądra trudno jest zbliżyć) – bariera kulombowska.



- ▶ Barierę (>400 keV) można pokonać ogrzewając próbkę i podnosząc ciśnienie

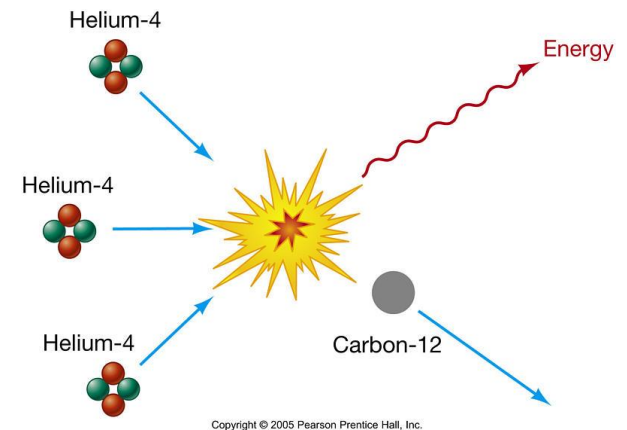
Synteza termojądrowa na Słońcu

- ▶ Cykl protonowo-protonowy – wytwarzanie energii we wnętrzu Słońca.
- ▶ Prawd-two tego procesu to ok. 10^{-26} , ale ogromna liczba protonów daje stałą, powolną



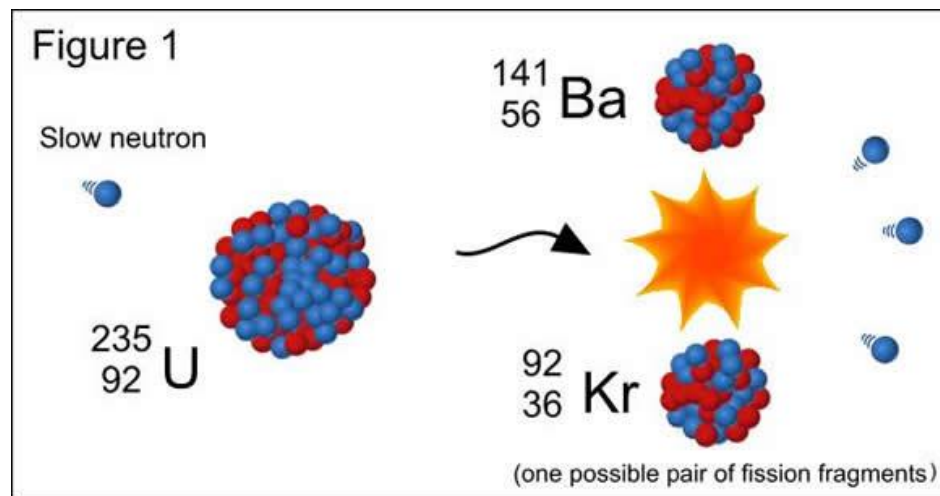
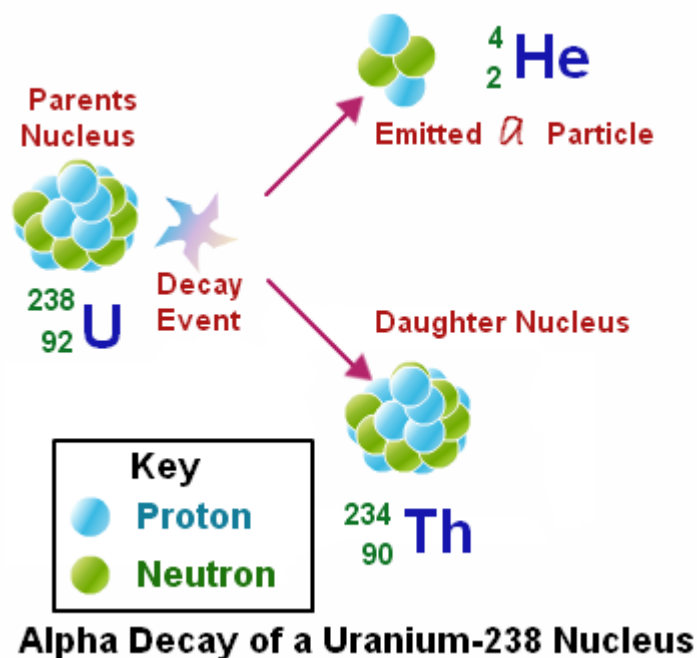
- ▶ Energia ta jest stopniowo wypromieniowana w postaci fal elektromagnetycznych

Przy wysokich temperaturach 10^8K - spalanie helu do węgla...



Rozpady uranu

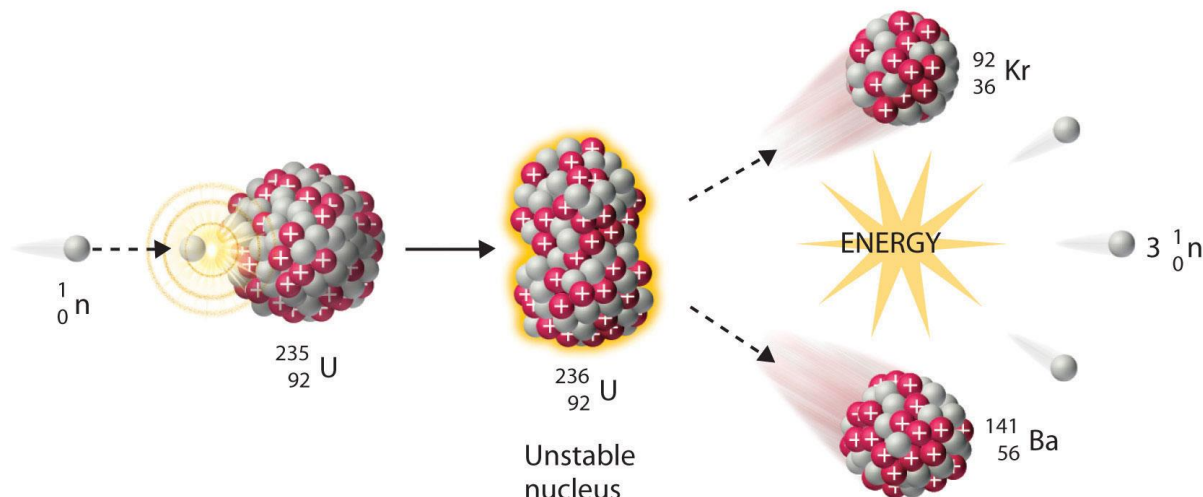
- Uran i jego izotopy mogą rozpadadać się spontanicznie lub pod wpływem np. oddziaływania z neutronem (rozszczerpiecie) - 1939.



Rozszczepienie jednego atomu uranu 235 uwalnia energię ok. 200 MeV. Jest to 20 milionów razy więcej niż spalenie jednego atomu węgla w elektrowni węglowej

Rozpady wymuszone

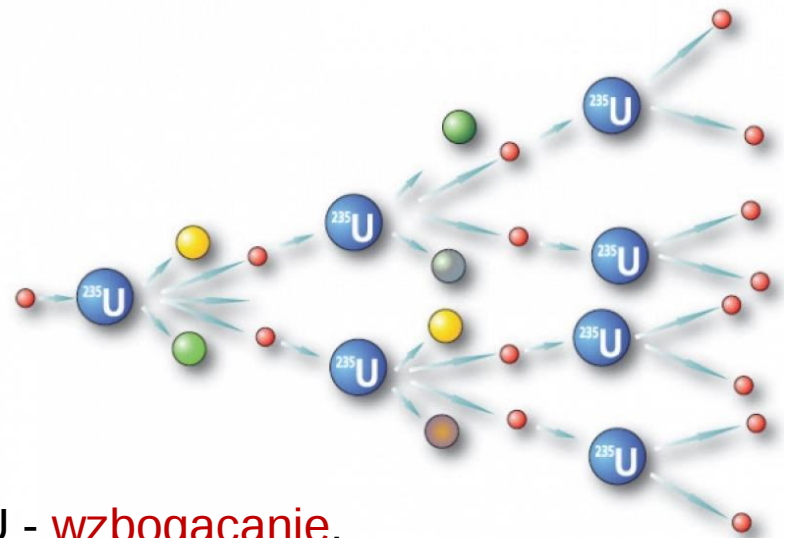
- ▶ 1935-38 – E.Fermi, **Lise Meitner**, O.Hahn, F. Strassmann – bombardowanie neutronami ciężkich izotopów powoduje powstanie nowych izotopów.



- ▶ **Rozszczepienie** – jądro uranu absorbując **neutron termiczny** dzieli się na prawie równe inne jądra, uwalniając przy tym energię.
- ▶ Powstałe izotopy mają zbyt dużo neutronów – emitują je i stają się bardziej trwałe.
- ▶ 1939 – Fermi emigruje do USA, gdzie kieruje programem budowy pierwszego reaktora

Reakcja łańcuchowa

- ▶ W wyniku rozszczepienia emitowane są neutrony, które mogą zainicjować kolejne rozszczepienie. Są to neutrony o wysokich energiach (tzw. **prędkie neutrony**)
- ▶ **Reakcja łańcuchowa** (jedno rozszczepienie inicjuje dokładnie jedno następne rozszczepienie) powstanie, gdy:
 - neutrony nie zostaną pochłonięte, ani nie uciekną z próbki,
 - jest odpowiednie pr-two (przekrój czynny) na absorpcję (wychwyt) neutronu. Zazwyczaj jedynie neutrony o bardzo niskich energiach (**neutrony termiczne**) mogą zostać wychwycone przez materiał rozszczepialny. Szybkie neutrony należy spowolnić.
- ▶ Reakcja łańcuchowa przebiegnie w sposób **lawinowy** (niekontrolowany), gdy jedno rozszczepienie wywoła więcej niż jedno następne rozszczepienie.
- ▶ Najprostszym sposobem wywołania reakcji łańcuchowej jest dostarczenie materiału w ilości przekraczającej **masę krytyczną**.
- ▶ **Masa krytyczna** dla materiału w kształcie kuli wynosi: 52kg dla ^{235}U , 10kg dla Pu.
- ▶ W uranie naturalnym jest 0.7% Uranu ^{235}U - **wzbogacanie**.

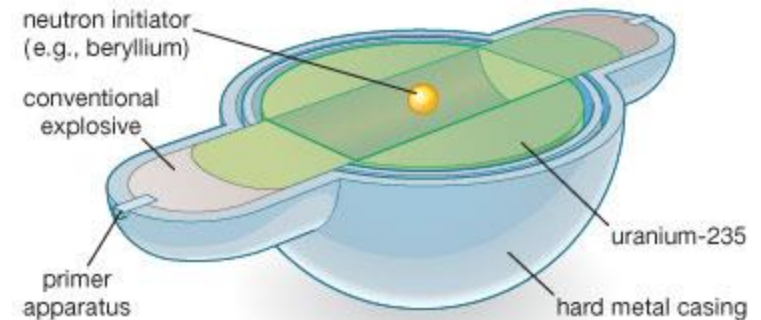


Projekt Manhattan

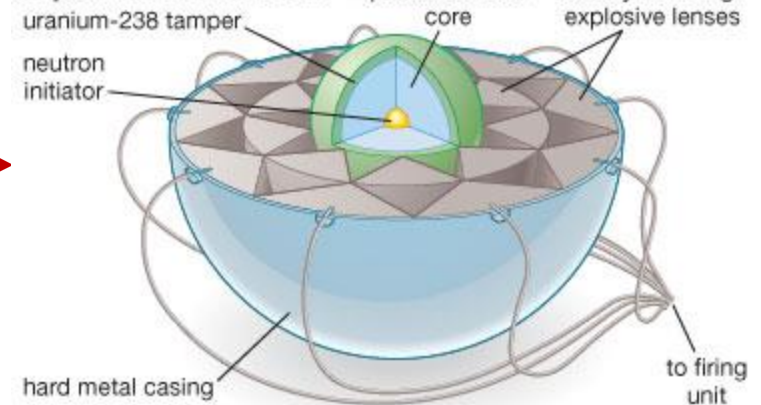
- ▶ 1941 - Enrico Fermi – stos atomowy w Chicago, 2 grudnia 1942 r. – pierwsza reakcja łańcuchowa – projekt Manhattan (R. Openheimer)
- ▶ lipiec 1945 – pierwsza bomba atomowa na pustyni w stanie Nowy Meksyk.



gun-assembly fission bomb



implosion fission bomb



Projekt Manhattan

- ▶ 1941 - Enrico Fermi – stos atomowy w Chicago, 2 grudnia 1942 r. – pierwsza reakcja łańcuchowa – projekt Manhattan
- ▶ lipiec 1945 – pierwsza bomba atomowa na pustyni w stanie Nowy Meksyk.
- ▶ 130 tys ludzi w dwa lata rozwinęło technologię produkcji wzbogaconego uranu, koszt (obecnie 24 mld \$)
- ▶ 6 sierpnia - Hiroszima, Nagasaki (200 tys ludzi zginęło, drugie tyle rannych i trzecie tyle napromieniowanych)



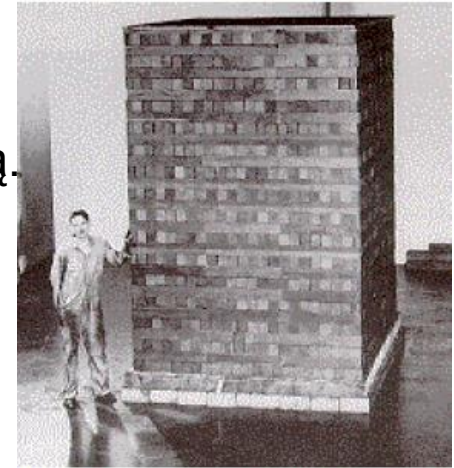
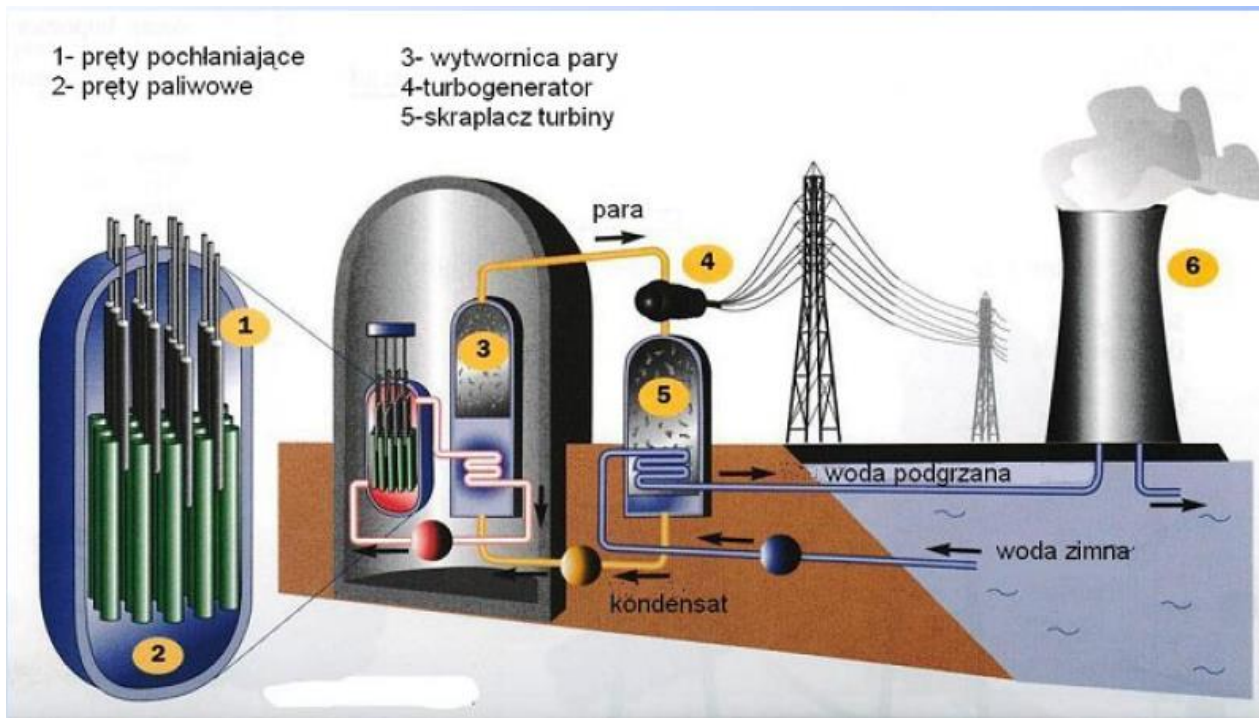
„Little Boy” – 64 kg uranu,
0.8 kg ^{235}U

- ▶ 1.11.1952 – Pacyfik – bomba wodorowa 500 razy większa

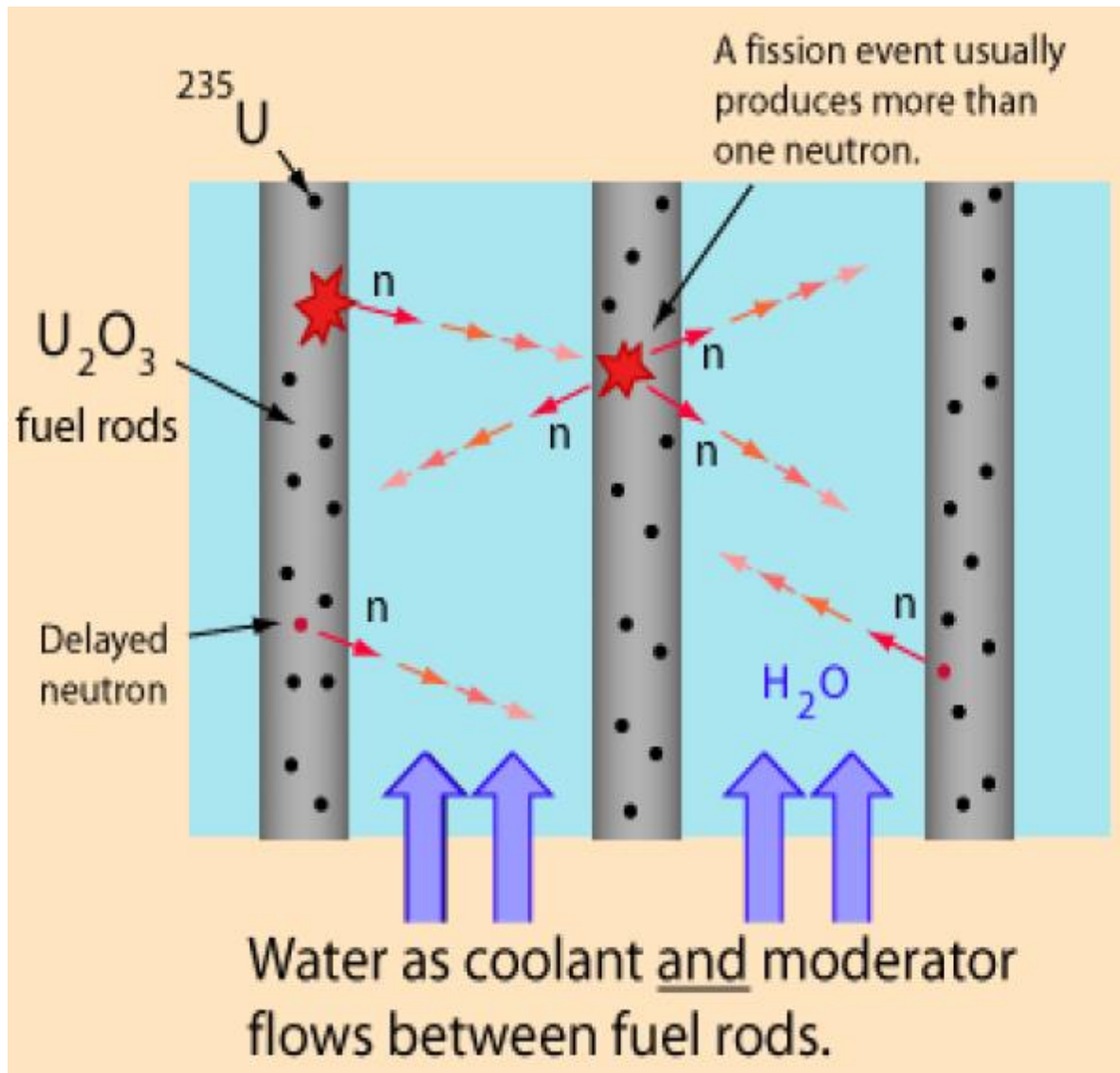


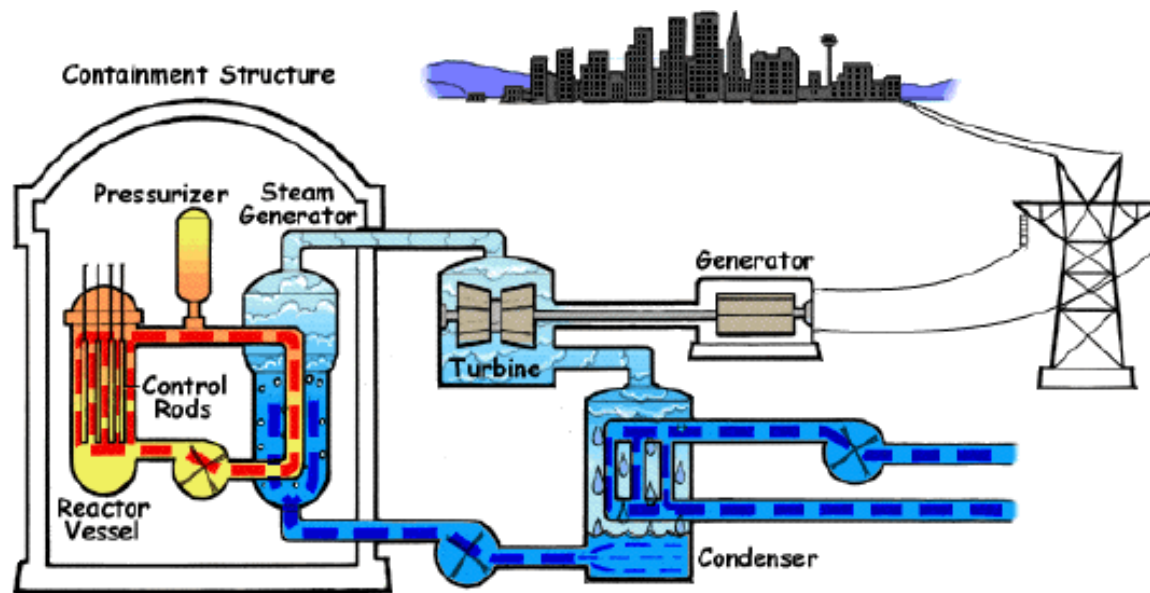
Reaktory jądrowe

- ▶ Pierwszy stos Fermiego – pierwszy reaktor.
- ▶ Problem polega na utrzymaniu reakcji jądrowej pod kontrolą.

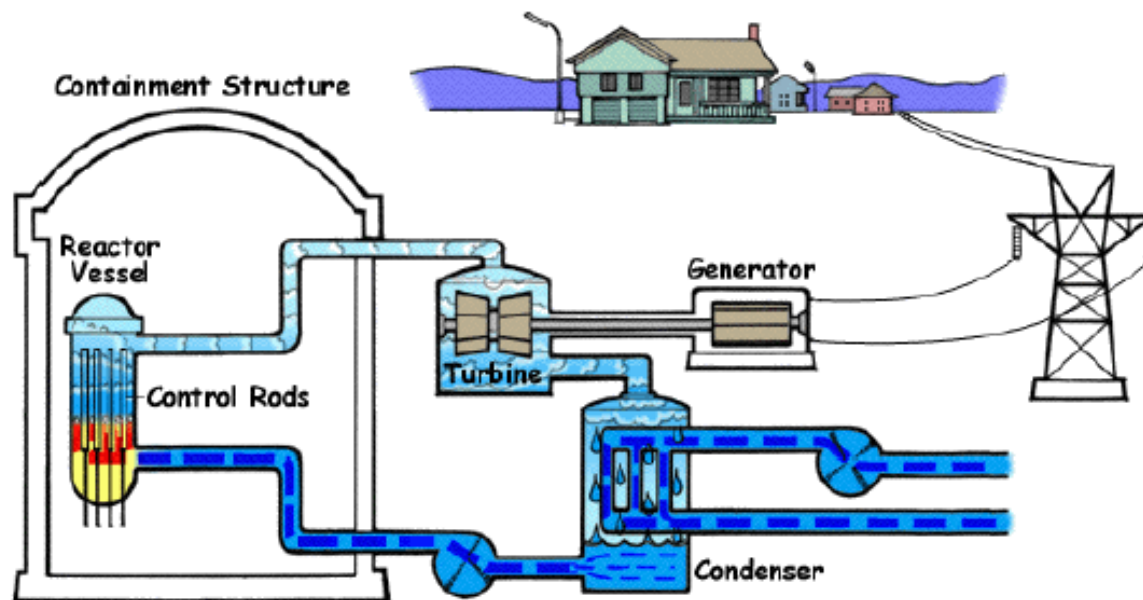


Zasada działania elektrowni





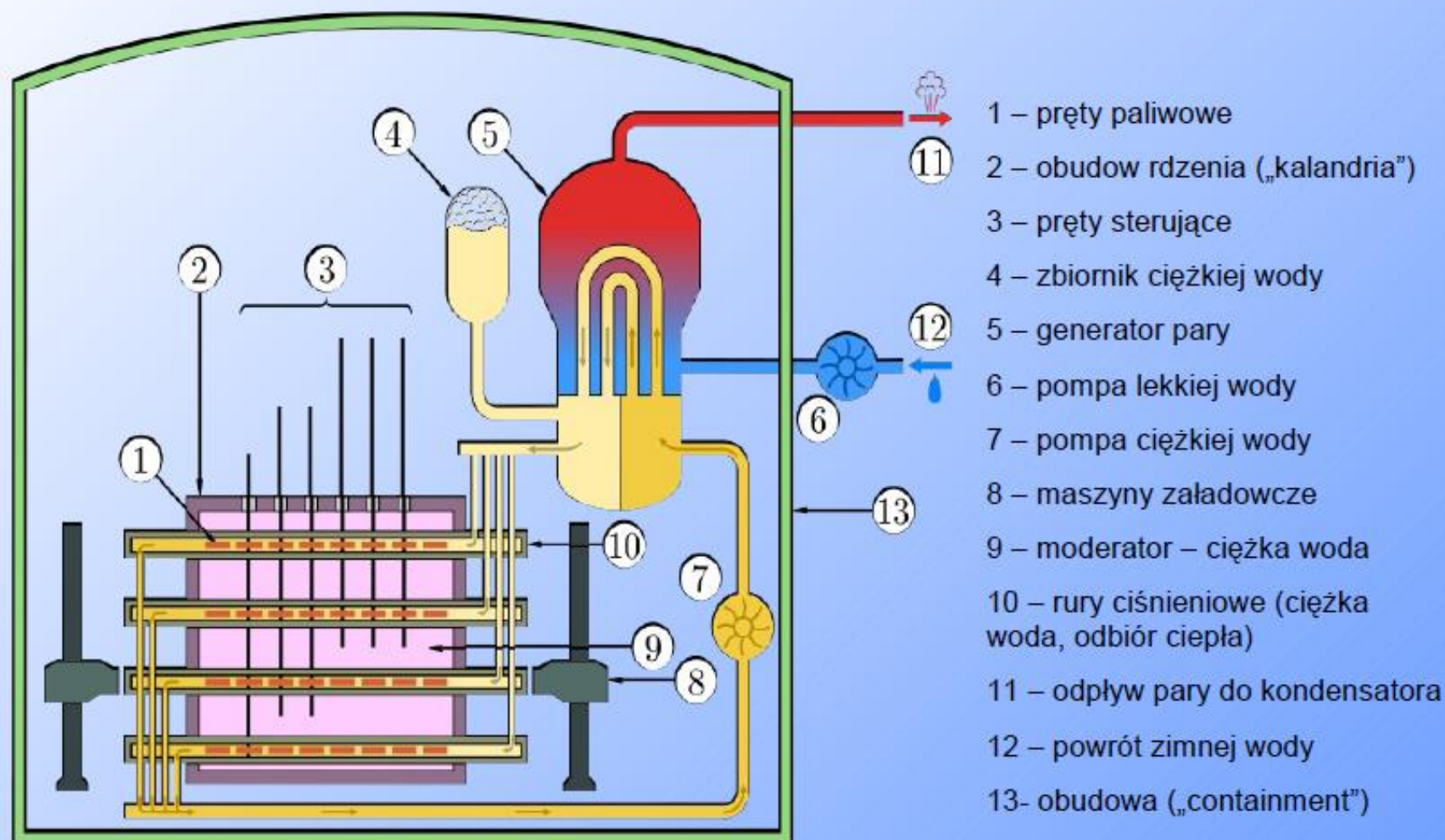
PWR



BWR

20

Reaktor typu PHWR (CANDU)



ZALETY ENERGETYKI JĄDROWEJ?

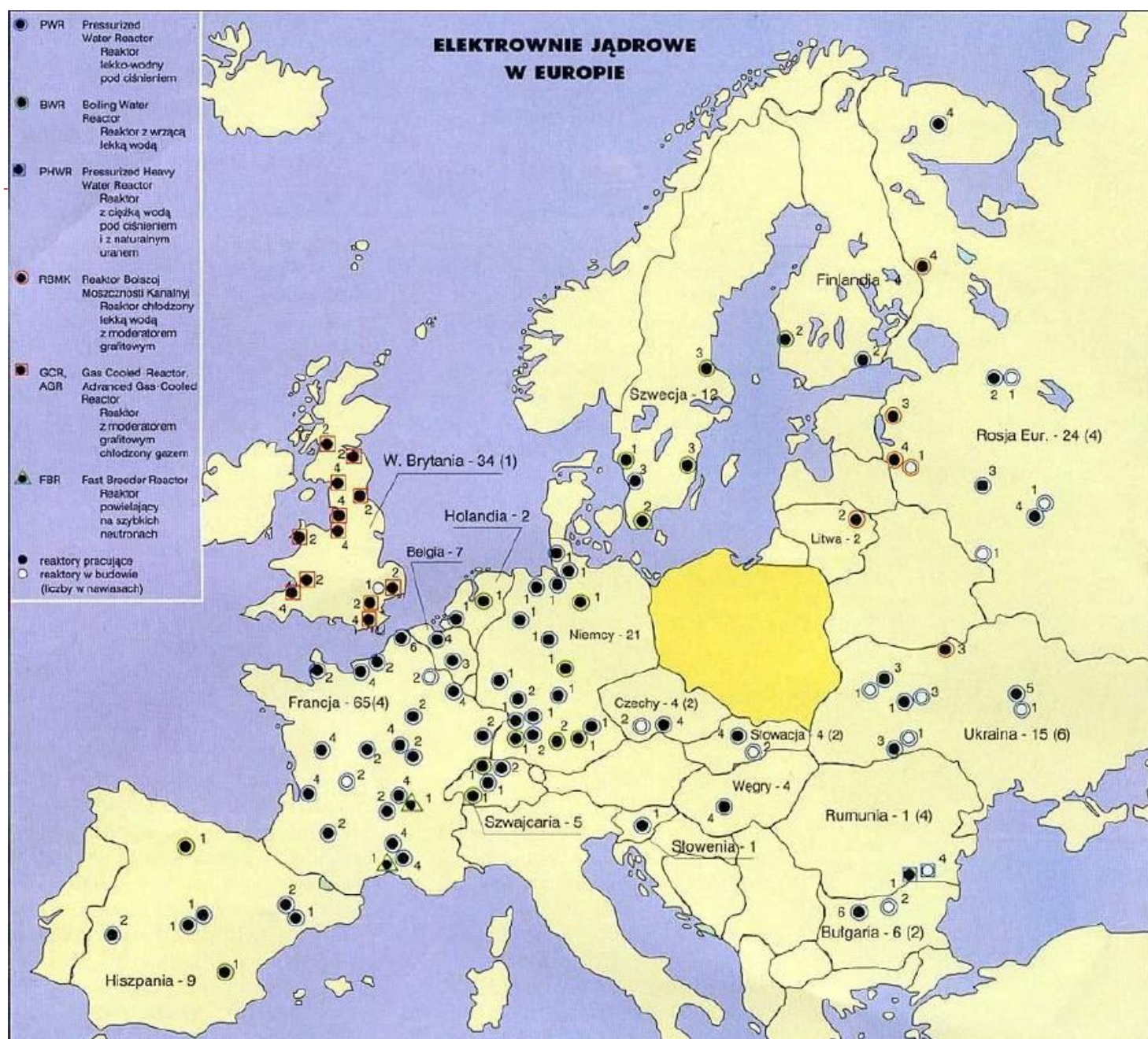
- **BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE** *(koncentracja energii w paliwie)*
(nieporównywalnie większe niż dla wszystkich innych opcji energetycznych)
Rozszczepienie jednego jądra uranu-235 wyzwala energię 200 MeV (spalenie jednego atomu węgla – energię 4,5 eV)
- **OCHRONA ŚRODOWISKA**
(bezemisyjna technologia „przyjazna środowisku” = poza wypalonym paliwem i niewielką ilością innych odpadów promieniotwórczych oraz ciepłem odpadowym – brak innego wpływu na środowisko, również - niewielkie wykorzystanie terenu)
- **WZGLĘDY EKONOMICZNE**
(już przy założeniu 50 lat eksploatacji i bez uwzględnienia „podatków emisyjnych” – najtańsza energia elektryczna, stabilna cena paliwa (cena uranu to 3-5% ceny energii elektrycznej) pozwala na przewidywalne rachunki ekonomiczne)
- **LOGISTYKA ZARZĄDZANIA** *(koncentracja energii w paliwie)*
(elektrownia jądrowa o mocy 1000 MWe zużywa 35 ton paliwa rocznie, „węglowa” o tej samej mocy - 7 000 ton węgla kamiennego dziennie)

CECHY NIEKORZYSTNE I ZAGROŻENIA?

- **KOSZTY INWESTYCJI** (zamrożenie kapitałów)?
bardzo wysokie
- **RADIACJA?** *mniej niż w przypadku elektrowni węglowej*
- **MOŻLIWOŚĆ AWARII?** *prawdopodobieństwo poniżej 10^{-5} na rok, chociaż...*
- **GENEROWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH**
trudniejszych w składowaniu niż odpady z elektrowni konwencjonalnych, ale...
- **MOŻLIWOŚĆ PROLIFERACJI** – *wymusza tworzenie międzynarodowego i krajowego systemu zabezpieczeń i kontroli*
- **terroryzm jądrowy** = *cztery rodzaje działalności:*
 - *kradzież i detonacja ładunku jądrowego,*
 - *kradzież lub inne pozyskanie materiału rozszczepialnego w celu sporządzenia ładunku jądrowego i jego detonacji,*
 - *atak na reaktory lub inne obiekty jądrowe w celu skażenia radiologicznego otoczenia (+ „brudna bomba” lub „radiological dispersal device” - RDD).*

Prawo o źródłach energii

- ▶ Protokół z Kioto (1997-2012) – przeciwstawianie się globalnemu ociepleniu (?)
 - redukcja emisji gazów cieplarnianych (m.in. CO₂, limity),
 - wspieranie krajów słabo rozwiniętych
- ▶ 2002 Rada Europy zatwierdziła protokół.
- ▶ Konferencja klimatyczna w Dausze przedłużyła założenia protokołu do 2020r.
- ▶ POLSKA:
 - spełniła wymóg redukcji emisji CO₂ po załamaniu gospodarki w roku 1990 (30% zamiast 6%)



ELEKTROWNIE JĄDROWE ZLOKALIZOWANE BLIŻEJ NIŻ 300 KM OD GRANIC POLSKI



Rozpoczęte budowy lub decyzje (czasem – wstępne) o budowie kolejnych/nowych elektrowni jądrowych w krajach europejskich:
Białoruś, Bułgaria, Czechy, Francja, Grecja, Litwa, Polska, Rosja, Rumunia, Słowacja, Słowenia, Szwecja, Ukraina, Węgry, Wielka Brytania

oraz w krajach pozaeuropejskich:
Afryka Pd., Arabia Saudyjska, Argentyna, Brazylia, Chiny, Egipt, Emiraty Arabskie, Indie, Indonezja, Iran, Izrael, Jordania, Korea Pd., Malezja, Maroko, Nigeria, Pakistan, Syria, Tunezja, Wietnam, USA...

30

w Europie

- w eksploatacji 183 W bloki (w 17 państwach), całkowita moc 161 354 MWe (43% mocy elektrowni jądrowych świata), w tym w 14 państwach Unii Europejskiej 130 bloków, całkowita moc 120 750 MWe (32% mocy e.j. świata)

(udział energetyki jądrowej w ogólnym bilansie elektroenergetyki: ponad 75% - **Francja**, ponad 50% - **Słowacja i Węgry**, ponad 40% - **Belgia**, Ukraina i **Szwecja**, ponad 30% - Szwajcaria, **Słowenia**, **Czechy**, **Finlandia i Bułgaria**)

- w budowie – 17 bloków (w państwach Unii 4), całkowita moc 15 599 MWe (w Unii 4 110 MWe).

W NIEMCZECH?

W 2015 roku produkcja energii el. wzrosła o 3% do 647.1 TWh, w tym ze źródeł odnawialnych aż o 19% do 194,1 TWh (ich udział wzrósł z 26% w 2014 r. do prawie 30% w 2015 r.). Udział elektrowni spalających węgiel (kamienny i brunatny) w całkowitej produkcji energii el. w 2015 r. wynosił 42,2%, licząc rok do roku oznacza to spadek o 1,5%.

Udział elektrowni jądrowych w produkcji energii elektrycznej w Niemczech w 2015 roku wyniósł 14,1% (o 1,4% mniej niż w roku 2014 – bo wyłączono EJ Grafenrheinfeld w Bawarii).

W Niemczech działa obecnie osiem energetycznych bloków jądrowych; zgodnie z rządowym planem do 2022 roku powinny one zaprzestać funkcjonowania.

WE FRANCJI?

- 58 bloków jądrowych (wszystkie – EDF) dostarcza ponad 75% energii elektrycznej zużywanej we Francji. Nowe prawo energetyczne przewiduje obniżenie tego udziału do ok. 50% przed 2025 rokiem. Niezależnie od tych planów EDF przewiduje wydanie przed 2025 rokiem ok. 55 miliardów euro na przedłużenie okresu eksploatacji reaktorów do (i powyżej) 40 lat i polepszenie ich parametrów bezpieczeństwa (do 2030 roku EDF planuje wydanie 100 miliardów euro na ten cel).
- EDF poinformowało, że jego francuskie elektrownie jądrowe wyprodukowały w 2015 roku 416,8 TWh, o 0,9 TWh więcej niż w roku 2014, pomimo koniecznych wyłączeń niektórych bloków. W bieżącym roku spodziewanych jest więcej wyłączeń, związanych z okresową co-dziesięcioletnią inspekcją (w sześciu blokach), wymianą generatorów pary (w dwóch blokach) oraz wynikającą z decyzji po katastrofie w Fukushima stopniową instalacją generatorów prądotwórczych na olej napędowy. EDF planuje jednak osiągnąć w 2016 roku produkcję z elektrowni jądrowych na poziomie 410-415 TWh. (Całkowita produkcja EDF energii elektrycznej we Francji wynosiła w 2015 roku 455,7 TWh, o 4,6 TWh mniej niż w roku 2014. Produkcja elektrowni jądrowych EDF w Wielkiej Brytanii w 2015 roku wynosiła 60,6 TWh, o 4,4 TWh więcej niż w roku 2014).

39

W WIELKIEJ BRYTANII?

- **Wielka Brytania zamierza do 2030 roku zwiększyć moc swoich elektrowni jądrowych o 16 GWe. Osiągnięcie tego celu wymaga silnego zaangażowania inwestorów prywatnych.**
- **16 lutego - EDF Energy (spółka w UK podległa EDF) ma przedłużyć okres eksploatacji czterech bloków jądrowych w Wielkiej Brytanii: bloków Heysham 1 i Hartlepool o 5 lat do 2024 roku, a bloków Heysham 2 i Torness o 7 lat do 2030 roku (łącznie moc tych bloków – 4 700 MWe).**



- **„Strategiczna Umowa Inwestycyjna” pomiędzy EdF i CGN (China General Nuclear Power Corporation) dotyczyła nie tylko udziału w budowie dwóch reaktorów w Hinkley Point C (66,5% i 33,5%), ale również dostaw związanych z budową nowych elektrowni jądrowych w Sizewell (Suffolk) i Bradwell (Essex).**

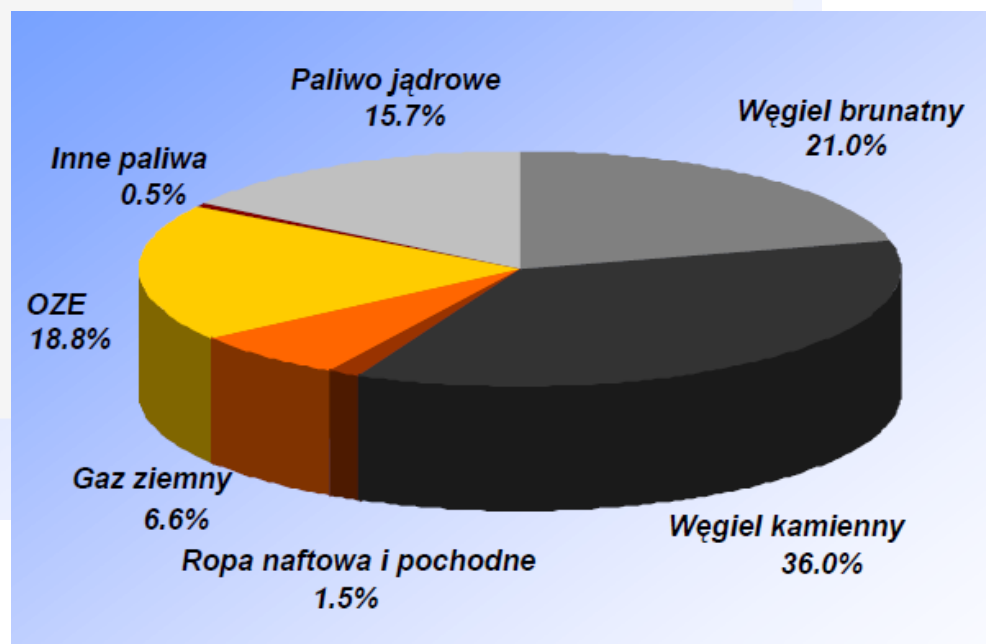
Styczeń 2016: Litwini apelują do Polski (Łotwy i Estonii) żeby nie kupować energii elektrycznej z elektrowni jądrowych nie spełniających norm bezpieczeństwa. Litwinów szczególnie niepokoi kwestia budowy siłowni na Białorusi (w Ostrowcu, 50 km od Wilna). Zdaniem Wilna nie przeprowadzono odpowiednich badań, a wiele kwestii nie zostało wyjaśnionych, a Mińsk naruszył przepisy prawa międzynarodowego nakazujące konsultowanie się z krajami sąsiednimi kwestii bezpieczeństwa obiektów. Do chwili obecnej brak jest informacji na temat stosowanych rozwiązań zabezpieczających pracę elektrowni. To samo dotyczy elektrowni budowanej w Rosji w obwodzie kaliningradzkim.

(Na Białorusi budowane są obecnie w Ostrowcu dwa bloki Białoruś 1 i 2, a w Okręgu Królewieckim w Nieman – jeden, wszystkie typu WWR W- 491 o mocy 1194 MWe).

Moc zainstalowana w Polsce (stan w dniu 31.12.2014 r.)

Wyszczególnienie	Moc elektryczna zainstalowana [MW]
OGÓŁEM	39353,0
Elektrownie zawodowe ciepne	31086,7
z tego:	
- na węglu brunatnym	9220,5
- na węglu kamiennym	20291,1
- gazowe	927,2
Elektrownie zawodowe wodne	
- w tym: szczytowo - pompowe	
Elektrociepłownie przemysłowe	
Elektrownie niezależne OZE	
- w tym: elektrownie wiatrowe	

**Łącznie 31086,7
MWe = 94,93%**



28/01/2014 – Przyjęcie przez Radę Ministrów **Programu polskiej energetyki jądrowej (PPEJ)**

Etap I - 1.01.2014 - 31.12.2016:

Ustalenie lokalizacji i zawarcie kontraktu na wybraną technologię pierwszej elektrowni jądrowej;

Etap II - 1.01.2017 - 31.12.2019:

Wykonanie projektu technicznego i uzyskanie wymaganych prawem decyzji i opinii;

Etap III - 1/01/2020 - 31.12.2025:

Pozwolenie na budowę, budowa i podłączenie do sieci pierwszego bloku pierwszej elektrowni jądrowej, rozpoczęcie budowy kolejnych bloków elektrowni jądrowych;

Etap IV - 1.01.2025 - 31.12.2030:

Kontynuacja i rozpoczęcie budowy kolejnych bloków , rozpoczęcie budowy drugiej elektrowni jądrowej.

***Zakończenie budowy drugiej elektrowni jądrowej
przewidywane jest na 2035 rok (6 GWe łącznie)***

45

Inwestor - Polska Grupa Energetyczna (PGE), a właściwie spółka PGE EJ1 (wg decyzji Rządu)

3 września 2014 roku przedstawiciele zarządów PGE, Taurona, Enei i KGHM podpisali porozumienie ws. kupna udziałów w spółce PGE EJ1, przy czym Tauron, Enea i KGHM kupią po 10 proc. udziałów w spółce, a 70 proc. pozostanie w rękach PGE.

Pierwsza siłownia o mocy 3000 MWe - to koszt ok. 60 mld PLN, czyli ok. 4,5 tys. euro za 1 kWe.

Wieloetapowy proces wyboru lokalizacji wytypował (spośród 102, później 28 analizowanych) trzy lokalizacje: Choczewo, Gąski (gmina Mielno) oraz Żarnowiec (gminy Gniewino i Krokowa).

Ostatecznie badania lokalizacyjne prowadzone są dla dwóch lokalizacji: Choczewo i Żarnowiec.

7 sierpnia 2015 roku Ministerstwo Gospodarki skierowało do konsultacji społecznych i międzyresortowych projekt „Polityki energetycznej Polski do 2050 r.” (miały potrwać do 18 września 2015 r.), w którym znalazły się trzy scenariusze rozwoju krajowego sektora energetycznego:

- **scenariusz wiodący - zrównoważony - zakładający kontynuację dotychczasowych trendów i realizacji podjętych decyzji (**EJ 20 %**)**
- **scenariusz jądrowy - przewidujący dominującą rolę energii jądrowej w bilansie energetycznym Polski (**EJ 40 – 60%**)**
- **scenariusz gaz plus OZE - oparty na założeniu uruchomienia w Polsce na dużą skalę eksploatacji gazu ziemnego ze złóż niekonwencjonalnych oraz rozwoju i upowszechniania technologii produkcji energii ze źródeł odnawialnych (**EJ 10%**).**

54

Krzysztof Tchórzewski, minister energii, 27.01:
„Rolą państwa jest gwarantowanie długookresowej stabilności i rozwoju w sektorze energetycznym oraz zapewnianie gospodarstwom domowym i podmiotom gospodarczym dostępności energii po niewygórowanej cenie”.

... „zużycie energii elektrycznej w Polsce będzie rosło, dlatego nie ma możliwości rezygnacji z wydobywania węgla. Nie oznacza to rezygnacji z innych źródeł; ... program atomowy prawdopodobnie będzie kontynuowany ze względu na jego potencjał rozwojowy i naukowo-badawczy”.

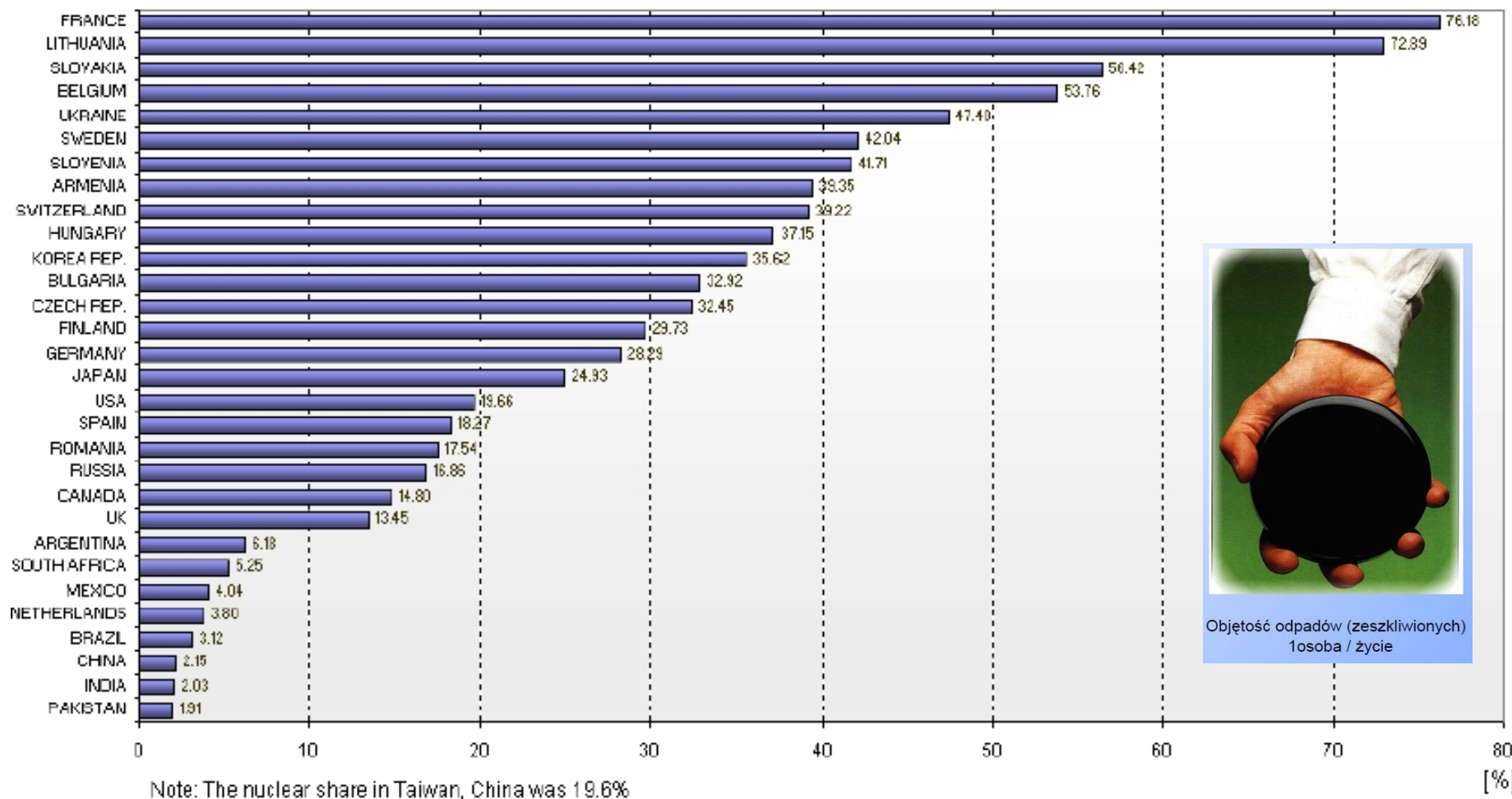
Jaka technologia pierwszych bloków jądrowych?

Na 66 reaktorów obecnie budowanych na świecie, 60 to reaktory ciśnieniowe typu PWR (w tym 4 z ciężką wodą jako moderatorem), 4 bloki – to reaktory z wodą wrzącą typu BWR. Może jeden z poniższych?

- AP1000: reaktor ciśnieniowy o mocy 1100 MWe; Westinghouse;
- APR-1400: reaktor ciśnieniowy o mocy 1450 MWe, południowokoreański koncern KHNP na bazie projektu System 80+ stworzonego przez Westinghouse;
- APWR: reaktor ciśnieniowy o mocy 1540-1700 MWe, Mitsubishi Heavy Industries;
- EPR: reaktor ciśnieniowy o mocy 1600-1750 MWe, Areva; reaktory tego typu są budowane obecnie m. in. w Finlandii (Olkiluoto) i we Francji (Flamanville);
- ABWR: reaktor z wodą wrzącą o mocy 1350-1600 MWe; General Electric/Hitachi;
- ESBWR: reaktor z wodą wrzącą o mocy 1390-1560 MWe, General Electric/Hitachi, projekt na bazie reaktora ABWR;

Premier Beata Szydło na placu budowy elektrowni w Jaworznie 22 lutego swoją konferencję prasową poświęciła pochwie węglu jako gwarancji bezpieczeństwa energetycznego Polski. Dała też do zrozumienia, że rząd nie ma planów budowy elektrowni atomowej. Zganiła poprzednią ekipę za forsowanie projektu atomowego i stworzenie spółki PGE EJ1, która zdaniem Szydło służyła wypłacaniu "apanaży" dla prezesów. Pytana o projekt energetyki atomowej Szydło odpowiedziała, że "polska energetyka jest oparta na węglu i jeszcze przez dziesiątki lat będzie oparta na węglu".

Nuclear Share in Electricity Generation in 2008



Roczne zużycie paliwa w elektrowni o mocy 1000 MW (źródło: CERN – „Energy, Powering Your World”, 2000)

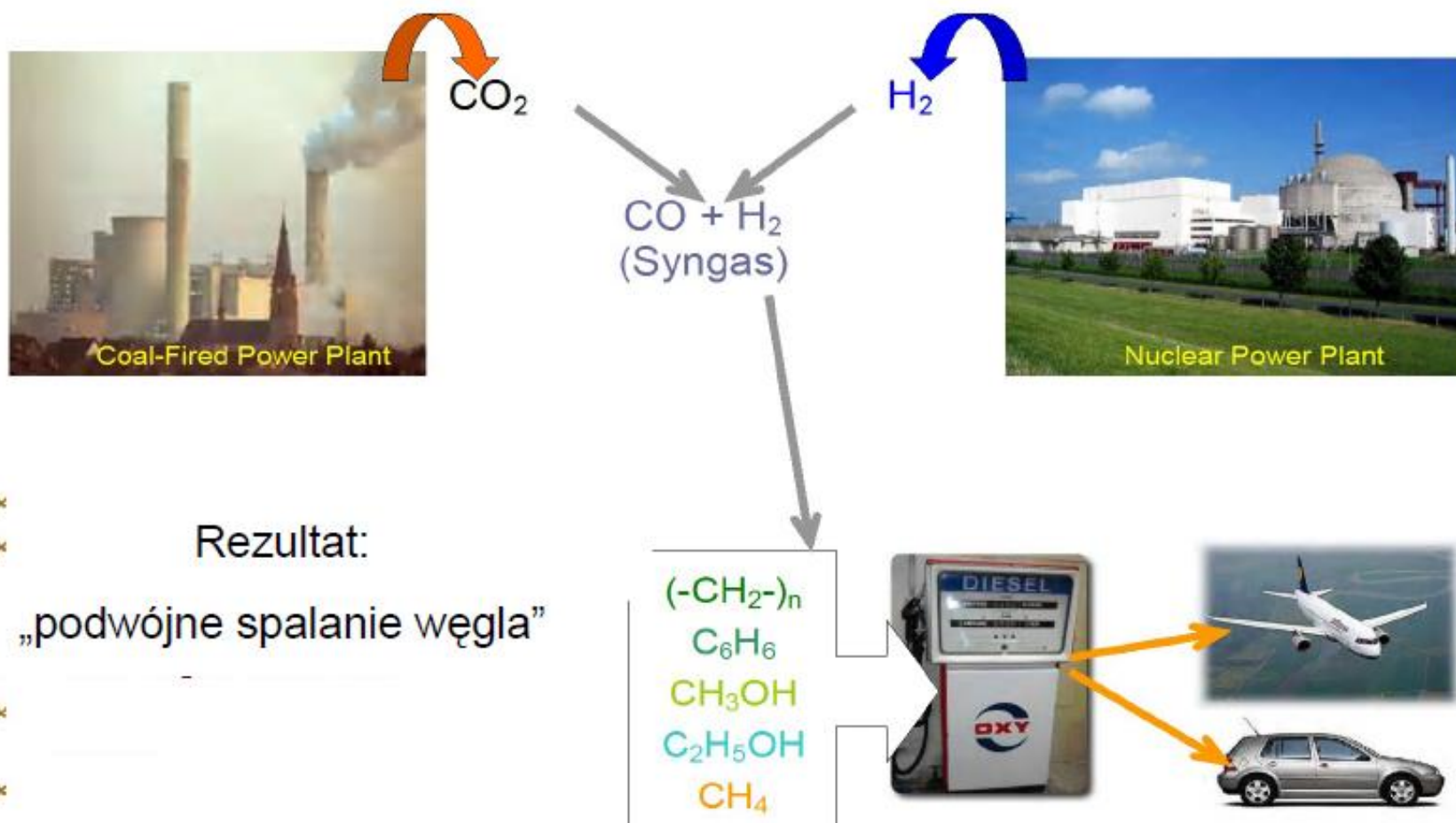
Źródło energii	Potrzeby	Dla porównania
Biomasa	2000 km ²	3-krotna wielkość Jeziora Bodeńskiego
Wiatr	2700 wiatraków o mocy 1.5 MW	486 km ²
Słońce (fotowoltaiki)	23 km ² paneli słonecznych na równiku	2555 boisk piłkarskich
Biogaz	20 000 000 świń	
Gaz	1.2 km ³	47 piramid Cheopsa
Ropa naftowa	1 400 000 ton	10 000 000 baryłek oleju lub 100 supertankowców
Węgiel	2 500 000 ton	26 260 wagonów towarowych
Rozszczepienie jąder	35 ton UO ₂	210 ton rudy uranowej
Reakcja fuzji (termojądrowa)	100 kg D + 150 kg T	2850 m ³ wody morskiej oraz 10 ton rudy litowej

SYNERGIA WĘGLOWO-JĄDROWA?

Energetyka jądrowa to bezemisyjne źródło:

- taniej energii elektrycznej dla produkcji wodoru (dla produkcji syntetycznych paliw płynnych) i tlenu (dla podniesienia efektywności spalania węgla)
- wysoko-temperaturowego ciepła (odpadowego) dla podziemnej gazyfikacji węgla
- taniej energii elektrycznej i wysoko-temperaturowego ciepła dla produkcji wodoru (dla produkcji syntetycznych paliw płynnych) i tlenu (dla podniesienia efektywności spalania węgla)

Recykling CO_2 z wykorzystaniem elektrowni jądrowej dla syntezy węglowodorów



Odmienny punkt widzenia.... (autor na razie nieznany)

Wyjątkiem w drugiej generacji były reaktory radzieckie, np. czarnobylski, którego konstrukcja odbiegała znacznie od światowych standardów.

Reaktor ten, chłodzony wodą i moderowany grafitem, był pozbawiony dodatkowej stalowej osłony i miał wyjątkowo skomplikowany, ale prymitywny system sterowania. Reaktor był niestabilny i bardzo trudny do kontrolowania przy obniżeniu mocy.

Eksperyment, w którym znacznie trzeba było obniżyć moc reaktora, zaplanowano na 25 kwietnia 1986. Chodziło o sprawdzenie systemów awaryjnego chłodzenia. Niestety, jego przeprowadzenie przesunęło się o wiele godzin i zamiast w ciągu dnia z przeszkoloną załogą, naczelnym inżynierem elektrowni Anatolij Diatłow, dokonywał go z pracownikami drugiej i trzeciej zmiany, którzy nie znali wszystkich procedur i mieli dużo krótszy staż pracy. Diatłow, jedyny atomista w zakładzie, nie był skory do opowiadania o zawiłościach fizyki cząstek elementarnych, a oczekiwał ślepego posłuszeństwa.

Kaskada błędów i nieporozumień kilku osób z obsługi sprawiła, że gdy zmniejszono moc reaktora i rozpoczęto eksperyment z chłodzeniem, reakcja łańcuchowa wymknęła się spod kontroli – moc zduszonego reaktora w ciągu 40 sekund wzrosła 150 razy, przekraczając niemal 10-krotnie normalny poziom.

Temperatura i ciśnienie zniszczyły pręty cyrkonowe, w których znajdowało się paliwo uranowe. Rozgrzany metal spowodował termiczny rozkład wody chłodzącej z wytworzeniem wybuchowego wodoru. Wkrótce doszło do eksplozji, zapalił się grafit, elektrownia stanęła w płomieniach, a z dymem trafiły do atmosfery radioaktywne pierwiastki. Doszło do największej w historii (VII stopień) katastrofy elektrowni jądrowej

Awaria w Czarnobylu – 25.04.1986

W piątkowy wieczór, 25 kwietnia 1986, załoga reaktora w Czarnobylu przygotowywała się do testu, który miał się odbyć następnego dnia i miał na celu sprawdzenie jak długo po odłączeniu zasilania, turbiny będą się obracać i produkować energię. Był to niebezpieczny test, ale był już wykonywany wcześniej. W ramach przygotowań wyłączono niektóre z systemów kontroli krytycznych punktów reaktora - takie jak mechanizm automatycznego wyłączania elektrowni w razie awarii.

Krótko po godzinie pierwszej w nocy 26 kwietnia, woda chłodząca reaktor przestała płynąć i moc zaczęła się zwiększać.

O godzinie 1:23, operator dokonał wyłączenia reaktora jądrowego, gdy ten był w trybie niskiej mocy, i reakcja łańcuchowa rozpoczęta przez wcześniejsze błędy spowodowała nagły wzrost mocy, który z kolei spowodował potężną eksplozję pary wodnej, znajdującej się w reaktorze rozsadzając 1.000-tonową pokrywę reaktora atomowego w drobne kawałki.

Niektóre z 211 prętów kontrolujących temperaturę w rdzeniu reaktora stopiły się, następnie druga eksplozja, której przyczyna jest wciąż przedmiotem dyskusji wśród ekspertów, wyrzuciła fragmenty palącego się radioaktywnego rdzenia paliwa pozwalając na wnikięcie świeżego powietrza do środka. To z kolei spowodowało zapalenie się kilku ton grafitowych bloków izolujących.

Gdy grafit się zapali, zgaszenie go jest prawie niemożliwe. Potrzeba było 9 dni i 5.000 ton piachu, boru, dolomitu, gliny i ołowiu zrzuconych z helikopterów zanim zdołano go ugasić. Promieniowanie było tak silne, że wielu tych dzielnych pilotów zmarło.

To płonący grafit uwolnił do atmosfery najwięcej promieniowania. Niepokojące poziomy promieniowania były mierzone nawet w Szwecji - tysiące kilometrów od Czarnobyla.

Przyczyną katastrofy było fatalne połączenie błędu człowieka i niedopracowanej technologii. Andriej Sakharow powiedział, że katastrofa w Czarnobylu pokazała, że system ZSRR nie potrafił poradzić sobie z nowoczesną technologią.

Awaria w Czarnobylu – 25.04.1986



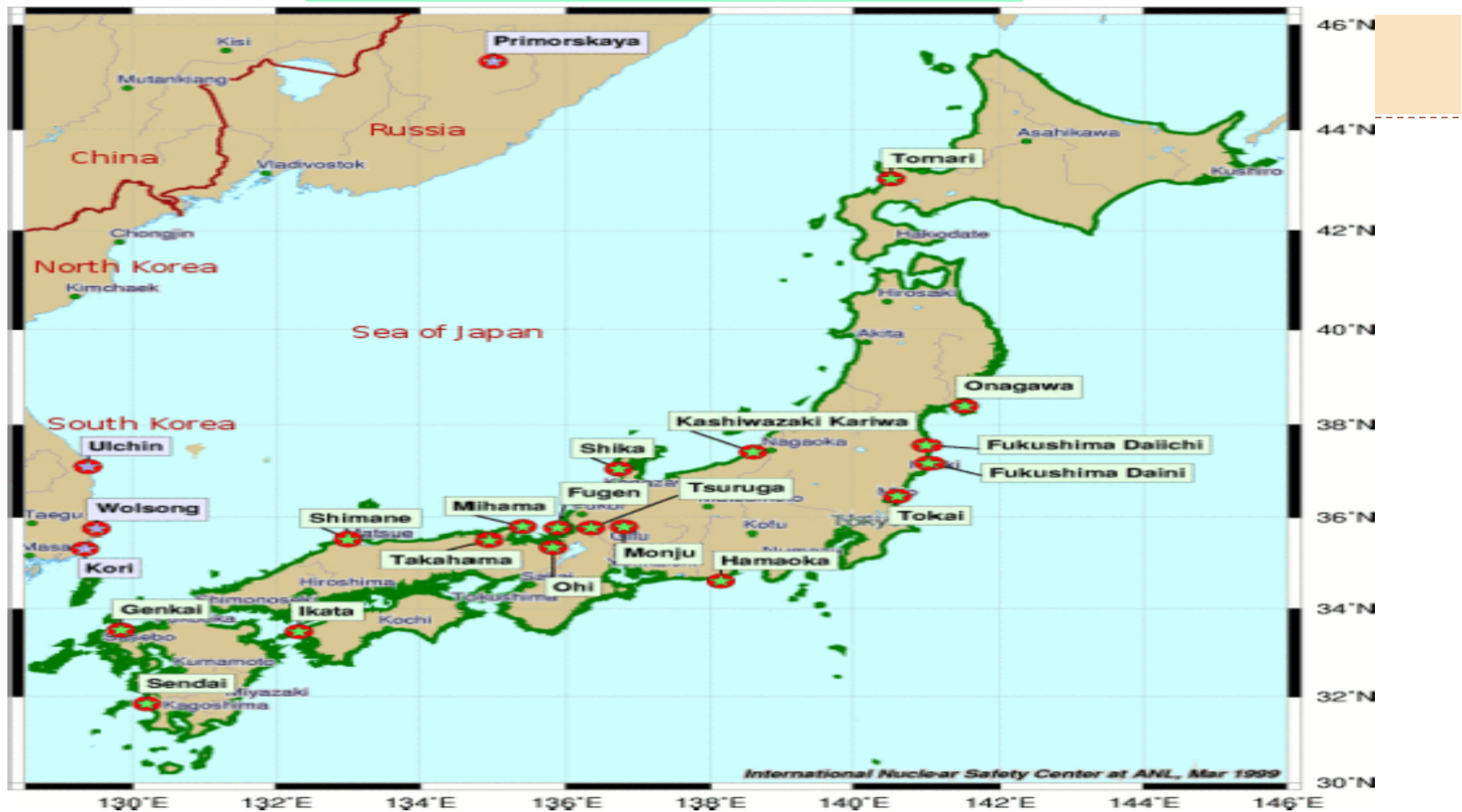
Po wybuchu, łącznie około 600 tysięcy ludzi brało udział w akcji ratowniczej, gasząc reaktor (sama akcja to około 1000 osób, które dostały najwyższe dawki promieniowania), przykrywając go potem betonową skorupą, ewakuując ludność oraz wykonując setki innych czynności wymaganych po wybuchu reaktora czwartego. Dookoła miejsca wybuchu powstała strefa ochronna o promieniu 30 km. Łącznie 2800km kwadratowych niemal wymazano z mapy zakazując wstępu.

Zgodnie ze starą tradycją radzieckiego wymiaru sprawiedliwości, zamknięto w więzieniu kilku ludzi którzy pracowali na tej zmianie - niezależnie od tego, czy byli winni czy nie. 25 osób z tej zmiany zmarło.

Rząd komunistyczny, który wtedy był przy władzy, trzymał język za zębami w sprawach tej katastrofy. W Kijowie zmuszono ludzi, aby brali udział w paradzie z okazji Święta Pracy. To było wtedy, gdy zwykli ludzie zaczęli dowiadywać się o katastrofie z zagranicznych radiostacji i od znajomych tych, którzy zmarli. Prawdziwa panika wybuchła 7-10 dni po katastrofie. Ci, którzy byli wystawieni na ekstremalnie wysokie promieniowanie w ciągu pierwszych 10 dni, kiedy wszystko było jeszcze utrzymywane w tajemnicy - włączając w to tych, którzy nieświadomi niczego odwiedzali te tereny - zmarli albo mieli poważne problemy zdrowotne

Promieniowanie pozostanie w rejonie Czarnobyla przez następne dziesiątki tysięcy lat, ale ludzie będą mogli zasiedlać te tereny gdzieś za 600 lat - plus minus 3 wieki. Eksperci twierdzą, że do tego czasu, większość niebezpiecznych składników zaniknie lub wystarczająco osłabnie i wymiesza się z powietrzem, glebą oraz wodą. Jeśli rząd znalazłby w jakiś sposób pieniądze i politycy sfinansowaliby odpowiednie badania naukowe, być może odkryto by sposób, aby zneutralizować albo zlikwidować zanieczyszczenia wcześniej. W przeciwnym wypadku nasi odlegli potomkowie będą zmuszeni czekać, aż całe promieniowanie obniży się do znośnego poziomu..

Elektrownie atomowe w Japonii



Japońskie reaktory, które zniszczyło tsunami, zbudowano 40 lat temu, w czasach świetności dużych fiatów i syrenek. Najnowsze mercedesy przemysłu nuklearnego przeszłyby takie problemy bez szwanku. Deklaracje polityków o zawieszeniu programów atomowych są czczą propagandą

Prawda jest taka, że nic nie daje energii tak łatwo i tanio jak atom

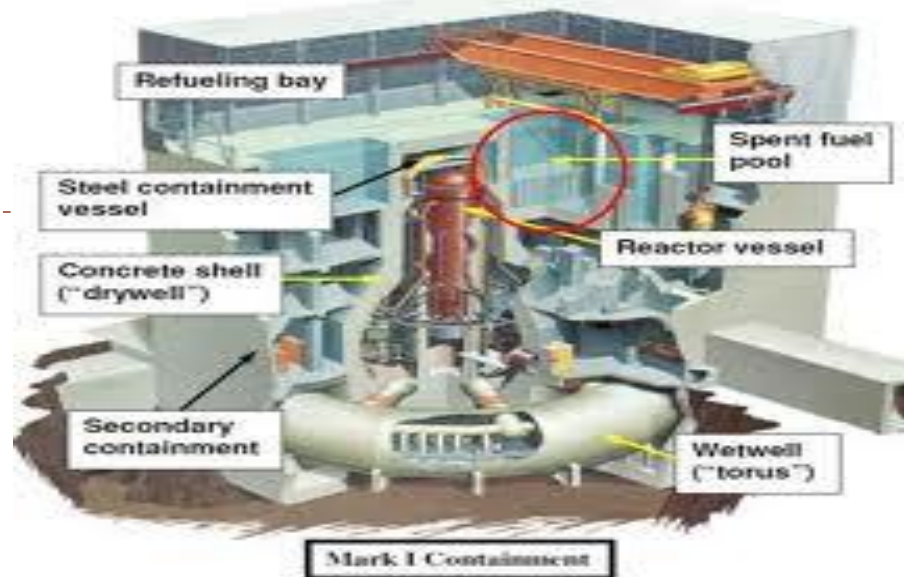
Fukushima

Katastrofa w Fukushima (福島第一原子力発電所事故 Fukushima Dai-ichi, to seria uszkodzeń urządzeń jądrowych, topnień jądrowych i wycieku materiału radioaktywnego z elektrowni atomowej, po trzęsieniu ziemi Tohoku i zalaniu falami tsunami 11 marca 2011r. Katastrofa w Fukushima to największa katastrofa po Czarnobylu w 1986



Fukushima

W elektrowni było sześć oddzielnych reaktorów atomowych z gotującą się wodą. Reaktory zaprojektowano przez General Electric (GE) i dbał o nie Tokyo Electric Power Company (TEPCO). Po trzęsieniu ziemi reaktor 4. został de-fueled, a 5 i 6 były w stanie „zimnego” zatrzymania w planowanym zabezpieczeniu przed trzęsieniem ziemi. Planowano maksymalne trzęsienie do 8 w skali Richtera, a fale tsunami do 8 m wysokości. Trzęsienie ziemi i fale tsunami były większe od planowanych i największe ze wszystkich, które nawiedziły Japonię. Po trzęsieniu ziemi reaktory 1 – 3 zatrzymały się automatycznie i natychmiast zadziałały systemy chłodzące reaktory. **Po trzęsieniu ziemi, fale tsunami załamywały niżej położone pomieszczenia, gdzie znajdowały się generatory napędzające pompy chłodzące reaktory. Zalane generatory przestały działać. Nie było elektryczności, nie było chłodzenia reaktorów, Reaktory mogą się stopić w wyniku silnego rozpadu radioaktywnego, który musi trwać do kilku dni nawet po kontrolowanym zamknięciu elektrowni**



Fukushima

Tylko natychmiastowe chłodzenie reaktorów słoną wodą mogło powstrzymać przed stopieniem reaktorów

Chłodzenia słoną wodą nie zastosowano natychmiast w obawie przed całkowitym zniszczeniem reaktorów

Chłodzenie słoną wodą zalecił rząd Japonii, ale było już za późno

Reaktory 1-3 stopiły się całkowicie

W odpowiedzi na wytworzone ogromne ilości ciepła, w reakcji stopionego materiału reaktorów z wodą, dochodzi do wytworzenia wodoru, który powoduje wiele eksplozji mających zasięg do 20 km

Pracownicy ratujący elektrownię są wymieniani często, aby nie dopuścić do ich skażenia radioaktywnego i innych obrażeń np. w wyniku eksplozji

Ludzie mieszkający w promieniu 20 km od Fukushima zostają ewakuowani

Słona woda, użyta do chłodzenia wraca do morza, skaża je. Słona woda jest używana do chłodzenia przez miesiące, z różnych obszarów morza, aby mogła po recyrkulacji nie być groźna radioaktywnie

Rząd japoński oszacował początkowo zagrożenie na 4 w skali International Nuclear Event Scale (INES) Poziom ten podniesiono do maksimum, czyli do 7.

Rząd japoński oszacował, że wydostało się z Fukushimy ok. 1/10 radioaktywności w porównaniu z Czarnobylem

Pomiary wykazały, że w promieniu 30–50 km od elektrowni poziom cezu w ziemi i wodzie słodkiej był 137 razy większy od normalnego i zakazano hodować żywność w tym obszarze

Nie wolno używać wody z kranu do przygotowania żywności dla małych dzieci i kobiet w ciąży

Maj 2012, TEPCO podaje, że 900 PBq dostało się do atmosfery – wielu uważa tę wartość za zaniżoną

Rząd japoński i TEPCO nie mówią jednak całej prawdy w obawie przed paniką. 51



Because of saltwater corrosion problems and pipes clogging by salt, fresh cooling water is transported by barge to Fukushima



Relative distribution of emitted radioactive particles

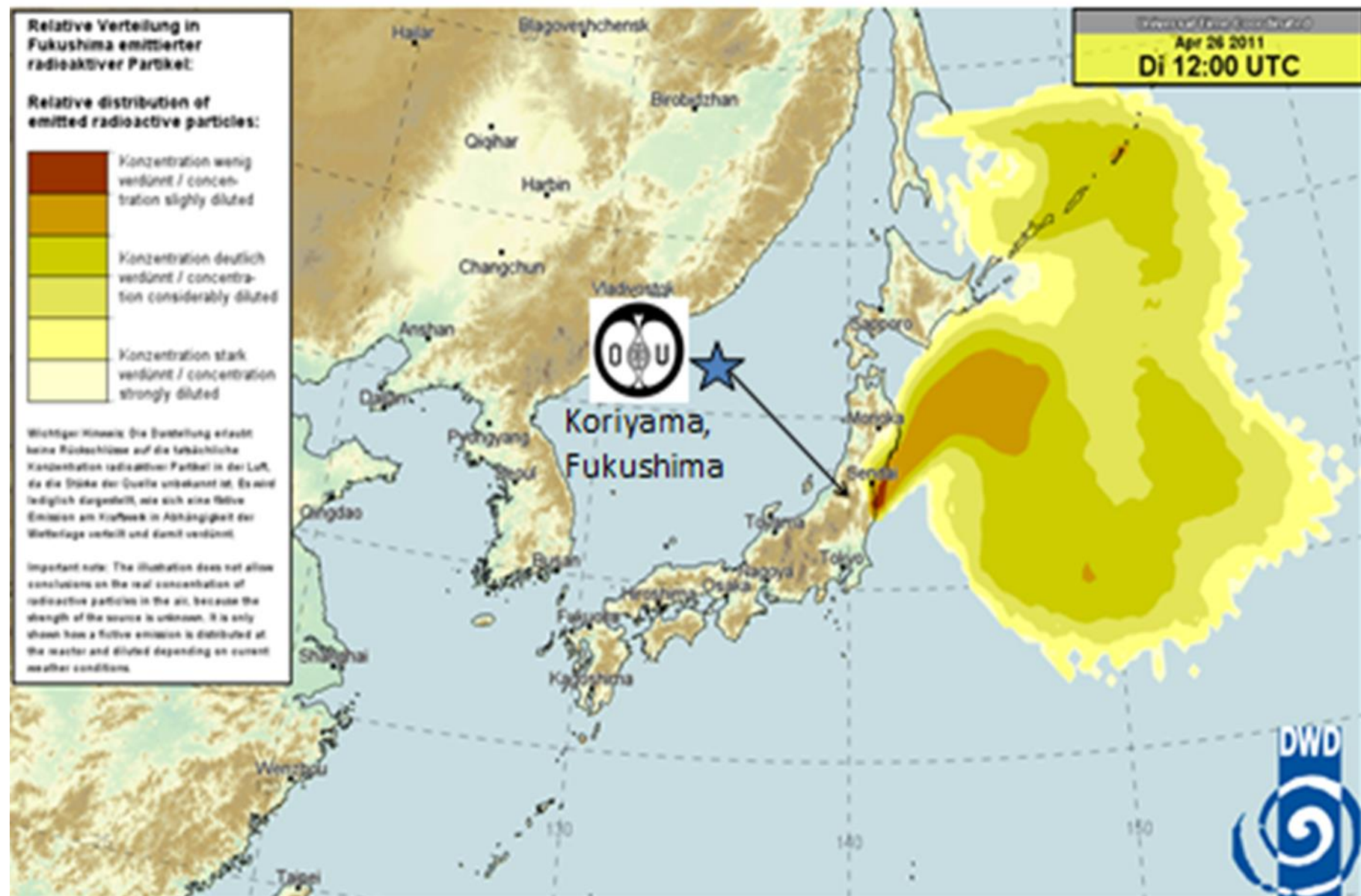
Relative Verteilung in Fukushima emittierter radioaktiver Partikel:

Relative distribution of emitted radioactive particles:



Wichtiger Hinweis: Die Darstellung erlaubt keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Konzentration radioaktiver Partikel in der Luft, da die Stärke der Quelle unbekannt ist. Es wird lediglich dargestellt, wie sich eine fiktive Emission am Küsten in Abhängigkeit der Wetterlage verteilt und damit verdünnt.

Important note: The illustration does not allow conclusions on the real concentration of radioactive particles in the air, because the strength of the source is unknown. It is only shown how a fictive emission is distributed at the coast and diluted depending on current weather conditions.



Rozprzestrzenianie skażenia radioaktywnego przez wiatr



3 tygodnie po katastrofie



Fukushima

Reaktory w elektrowni Fukushima, które uległy awarii VI stopnia, były także typu drugiego. Jednak zgodnie z wyśrubowanymi japońskimi normami bezpieczeństwa, wyposażone zostały w płaszcz chroniący przed wydostaniem się substancji radioaktywnych. Elektrownia zaprojektowana, by przetrwać duże trzęsienie ziemi; wytrzymywała najsilniejsze wstrząsy, jakie odczuwała Japonia od 300 lat! Automaty poprawnie wyłączyły reaktory. Jednak zawsze po wyłączeniu reaktora, czyli po przerwaniu reakcji rozszczepienia jąder uranu, trzeba go jeszcze chłodzić przez długie tygodnie, bo wciąż tlą się reakcje dające kolosalne ilości energii. Tak samo długo muszą być studzone w basenach z wodą wypalone pręty paliwowe. Kiedy z jednego z takich basenów w Fukushima zaczęła wyciekać woda i pręty pojawiły się na powierzchni, wojsko ze śmigłowców zaczęło zrzucać wprost na nie wodę morską. Elektrownia Fukushima przetrwała pierwsze uderzenie tsunami – została zbudowana tak, by wytrzymać napór ściany wody o wysokości 9 metrów. Główna fala przekraczała jednak 10 metrów. Fukushima padła dopiero wtedy, gdy woda uszkodziła generatory dieslowskie podtrzymujące awaryjne zasilanie systemu chłodzenia reaktora. Zanim udało się węzami strażackimi doprowadzić wodę morską do obiegu chłodzącego, temperatura wewnątrz reaktora drastycznie wzrosła. Prawdopodobnie w tym czasie pękły pręty paliwowe, częściowo stopił się rdzeń, w kontakcie z wodą powstał wybuchowy wodór, a znaczne ilości wody chłodzącej odparowały. Ciśnienie pary wewnątrz reaktora było tak wysokie, że inżynierowie zdecydowali o wypuszczeniu nadmiaru – i z nią wyleciał wodór. Gaz wybuchł wewnątrz budynku, eksplozja zerwała dach. Do atmosfery trafiły też gazowe produkty rozpadu promieniotwórczego. W kolejnych blokach scenariusz się powtarzał. Nie doszło jednak do wycieku paliwa radioaktywnego

O wybuchu jądrowym, którym straszą tabloidy, nie ma w ogóle mowy – nisko wzbogacone w uran-235 paliwo stosowane w elektrowniach jądrowych uniemożliwia zajście takiej reakcji. Zresztą, gdyby detonacja ładunku jądrowego była tak prosta, to wiele krajów posiadających elektrownie atomowe już dawno miałyby bombę. A tak wcale nie jest



Fukushima – walka o życie



1 listopada 2011 - TEPCO oświadcza, że xenon-133 i xenon-135 jest obecny w próbkach gazu pobranych z osłon reaktora 2, w stężeniach 6 do 10 (lub więcej) cząsteczek na milion becquerel na cm³.

Izotopy te są wynikiem są wynikiem rozszczepienia uranu

Obecność tych izotopów o krótkim czasie półtrwania (Xe-133: 5 dni; Xe-135: 9 godzin) świadczy jedynie, że rozszczepienie uranu zachodziło.

Do reaktora wlaño kwas bórny w celu powstrzymania reakcji rozszczepienia. Nie było zagrożenia. Zbadano też osłony innych reaktorów – wynik podobny jak w osłonach reaktora 2

Ofiary katastrofy w Fukushima

Sześciu pracowników Fukushima otrzymało większe dawki od dozwolonych. 300 pracowników otrzymało znaczące dawki, nie zagrażające ich życiu

Pracownicy zabezpieczający obecnie elektrownie nie są narażeni na promieniowanie, ale ich wrogiem jest wysoka temperatura

Zanotowano 33 przypadków udaru mózgu z powodu wysokiej temperatury. Dwie osoby w wieku 60 lat zmarły z powodu chorób serca

30 pracowników ratujących Fukushima otrzymało dawki radioaktywności ok 100 mSv – nie zagrażają życiu

160 tys ludzi przebadano na zawartość radioaktywności w marcu 2011r - nie stwierdzono żadnych zagrożeń

Przewiduje się, że ludzie mogą otrzymać dawki do 20 mSv/rok (2 rems/rok) w obszarze do 50 kilometrów od elektrowni. Oznacza to, że w przyszłości jedna dodatkowa osoba na 500 osób zmoże zachorować na raka.. Poziom normalnego promieniowania w niektórych regionach świat jest dużo wyższy i ok. 4 osoby na 10 może w tych regionach zachorować na raka.

Poziom promieniowania w okolicy Fukushima jest tak mały, że nie można podać prognozowania co do zachorowalności na raka

Nie możemy dokładnie przewidzieć ile osób zachoruje z powodu narażenia na dawki promieniowania w wodzie, powietrzu, ziemi i żywności. Znaczącą troskę Japończyków o środowisko zachorowalność będzie znikoma



III, III+ i IV, czyli co nas czeka w przyszłości

Japońska elektrownia nie nadaje się do użytku i zostanie zabezpieczona rodzajem sarkofagu podobnie jak Czarnobyl. Jak na owoc technologii sprzed 40 lat i tak nieźle sobie poradziła z potężnym tsunami. Ale uczeni nie ustają w pracach nad coraz doskonalszymi reaktorami

Najmodniejsze są reaktory III generacji. Pierwsze z nich, tzw. ABWR, uruchomione zostały w 1996 roku i rok później w elektrowni Kashiwazaki-Kariwa w Japonii. Bazują, na tej samej idei rozszczepiania jąder ciężkich pierwiastków. Nowość - reaktor (w którym chłodziwem jest woda rozgrzewająca się do temperatury wrzenia) został zintegrowany w jednej ciśnieniowej obudowie z pompami (co zmniejsza szanse wycieku) oraz wyposażony w liczne systemy zabezpieczające przed awarią. **Jak chwali się jeden z producentów, w razie potrzeby ich reaktor może zostać wyłączony w czasie krótszym niż trzy sekundy!**

Inny z reaktorów tej generacji wyposażony został w reflektor odbijający neutrony, dzięki czemu można stosować w nim paliwo mniej bogate w uran-235. Z kolei konstrukcja kanadyjska pozwala na korzystanie z uranu w ogóle niewzbogaconego. tym reaktorze można również używać plutonu (np. wycofanego z głowic broni jądrowej), toru, mieszanki uranowo-plutonowej, a nawet wypalonego uranu z innych elektrowni, co pomaga rozwiązać problem odpadów promieniotwórczych. Choć oczywiście nie znikną one jak za dotknięciem czarodziejskiej różdżki – na razie trafiają do podziemnych składowisk. Jednak odpady z elektrowni nowych generacji mają czas życia (a dokładniej tzw. połowicznego rozpadu) rzędu dziesięcioleci, a nie tysiącleci, jak to było jeszcze niedawno. Same reaktory III generacji zaprojektowano na przynajmniej 60 lat pracy – z możliwością przedłużenia

Kolejne reaktory, które będą uruchamiane i znajdą się w ofertach dla Polski, będą należały do generacji oznaczonej symbolami III+ i III++. Według zapewnień ich konstruktorów mają nie tylko mieć jeszcze bardziej wyśrubowane standardy bezpieczeństwa (kilka niezależnych układów chłodzenia, wyłączania reaktora i awaryjnego zasilania jego układów itp.), lecz także wytrzymywać atak terrorystyczny (przynajmniej uderzenie jumbo jeta) oraz przetrwać trzęsienie ziemi o sile 7 stopni w skali Richtera. Automatyzacja wielu procesów w reaktorze uniemożliwi podjęcie tak błędnych decyzji jak te, którymi się niechlubnie wślawili operatorzy z Czarnobyli.

Reaktory IV generacji, mają się pojawić za 10-20 lat. Elektrownie zbudowane według tego wzoru mają być kilkadziesiąt, a nawet kilkaset razy bardziej wydajne, tańsze w budowie i użytkowaniu, produkować tańszą energię elektryczną i być jeszcze bezpieczniejsze – a to głównie za sprawą wyeliminowania konieczności częstych transportów paliwa jądrowego. Reaktor będzie w stanie lepiej wykorzystać i dopalić do cna różnorodne pierwotnie załadowane paliwo. Reaktory takie mają pracować w dużo wyższych temperaturach, być chłodzone stopionymi solami, ciekłym metalicznym sodem, stopem ołowiu z bizmutem lub gazowym helem, a ich cechą wspólną jest to, że przy okazji mają produkować gazowy wodór, który przez przemysł samochodowy jest uważany za jedno z paliw przyszłości