

# Politechnika Gdańska realizuje projekt dofinansowany z Funduszy Europejskich „Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Gdańskiej”

Celem projektu jest podniesienie jakości kształcenia na studiach II i III stopnia, zwiększenie efektywności zarządzania Politechniką Gdańską oraz podniesienie kompetencji kadr.

**Dofinansowanie projektu z UE:** 28 905 073,51 zł  
POWR.03.05.00-00-Z044/17



**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz Społeczny



# Materiały, wysokoenergetyczne



**Fundusze Europejskie**  
Wiedza Edukacja Rozwój



**Rzeczpospolita  
Polska**

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz Społeczny



# Krótką historia zbrojeń, od łuku refleksyjnego do bomby atomowej





# Prymitywne metody miotania pocisków

Kostka brukowa 6x6x6cm waży około 500g  
Możemy ją rzucić z prędkością 10-25m/s (36-90km/h)

Energia początkowa wynosi  $E = \frac{mv^2}{2}$

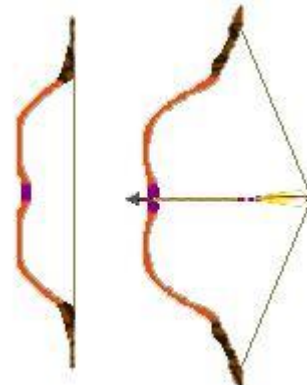
Czyli od 25-150J

Zasięg 50-80m



# Łuk prosty, refleksyjny, bloczkowy

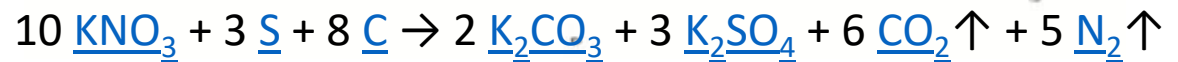
	Prosty (równikowy)	Refleksyjny	Bloczkowy
Wynalezienie	35 tyś p.n.e	2 tyś p.n.e	1966
Zasięg	100(50)	200 (80 raczej 50)	300 (50-80)
Siła naciągu	10-15kg	30-35kg	15-45kg
Prędkość początkowa strzały	30-40m/s	60m/s	46-113m/s
Energia pocisku (strzała 30g)	24 J	54 J	190 J



Dla porównania: współczesny pocisk pistoletowy 9mmx19, masa 7,45g  $v=400\text{m/s}$   $E= 596 \text{ J}$

# Proch Czarny (dymny)

- Skład  $\text{KNO}_3$  75%, Węgiel drzewny 15%, siarka 10% wag.
- Wynaleziony w Chinach w IX w.
- W Europie wprowadzony w XIV w przez Bertholda Schwartz'a (1310-1388). Re-wynaleziony czy złamany „patent”





# Proch Dymny - Pole bitwy

<b>Energia wybuchu</b>	2,8 MJ/kg
<b>Prędkość deflagracji</b>	0,4 km/s
<b>Wrażliwość na uderzenie</b>	średnia
<b>Objętość produktów gazowych</b>	280 dm <sup>3</sup> /kg
<b>Temperatura podczas wybuchu</b>	2200 °C

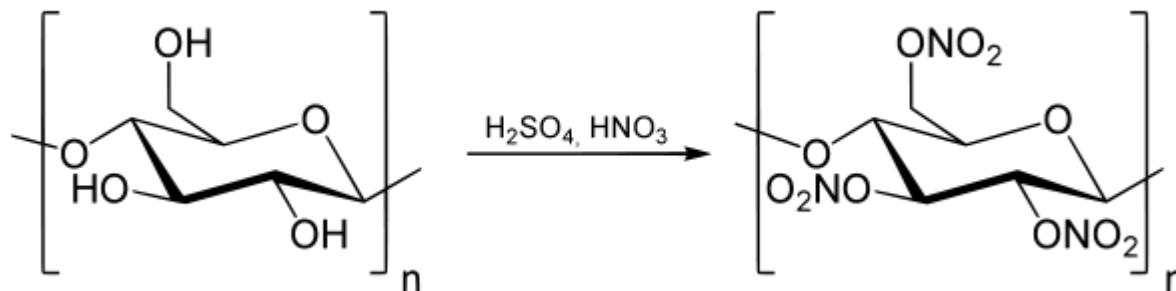
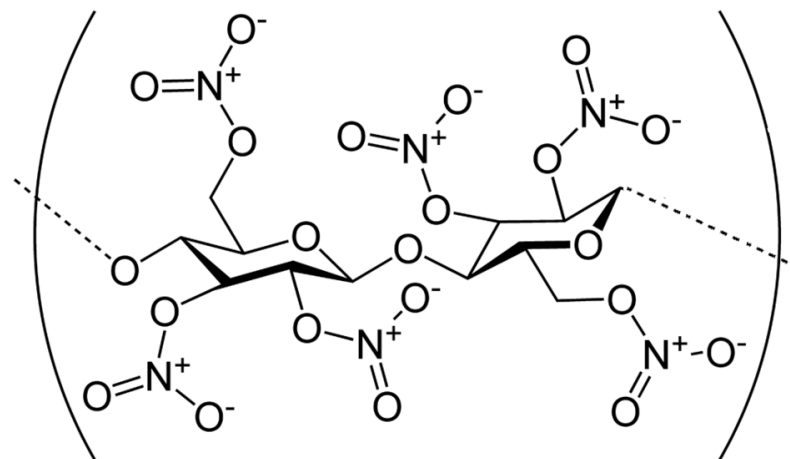


\*Deflagracja bardzo szybkie palenie  
do 400m/s  
Detonacja szybkość wybuchu  
> 400m/s (kilka km/s)

# Proch bezdymny - nitrocelulozowy

## Nitroceluloza 13,3% N

Rok odkrycia	1845
Odkrywca	<a href="#">Christian Schönbein</a>
Energia wybuchu	4,0 MJ/kg
Prędkość detonacji	7,3 km/s
Wrażliwość na uderzenie	średnia
Objętość produktów gazowych	765 dm <sup>3</sup> /kg
Temperatura podczas wybuchu	3100 °C





# Sposoby wybuchu

- *Detonacja* polega na rozkładzie cząsteczek materiału wybuchowego z prędkością od 1000 do 8500m/s. Materiały detonujące nazywamy *kruszącymi*. Detonacji towarzyszy fala detonacyjnej (drgania powietrza i ziemi) i silny huk.
- *Wybuch zwykły* polega na szybkim spalaniu się substancji palnej mieszaniny wybuchowej. Wybuch zwykły zachodzi z prędkością od 400 do 1000 m/s. Podczas wybuchu zwykłego rozprężania gazów jest wolniejsze niż przy detonacji. Materiały które ulegają wybuchowi zwykłemu nazywa się *miotającymi*. Wybuchowi zwykłemu towarzyszy huk.
- *Deflagracja* polega na nierównomiernym i raczej powolnym niejednorodnym zachodzeniu reakcji potencjalnie wybuchowej, która zachodzi z prędkością od kilku do kilkudziesięciu m/s. Deflagrację można porównać do bardzo szybkiego palenia się. Deflagracji może towarzyszyć gwizd lub syk. Deflagracji mogą ulegać zarówno materiały kruszące jak i motające.

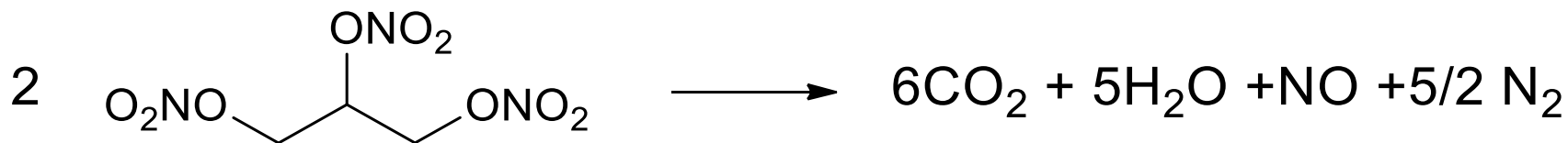
źródło: Jan Drzymała,

[www.minproc.pwr.wroc.pl/zpkio/pdf/Chemia/wyklChem12.pdf](http://www.minproc.pwr.wroc.pl/zpkio/pdf/Chemia/wyklChem12.pdf)

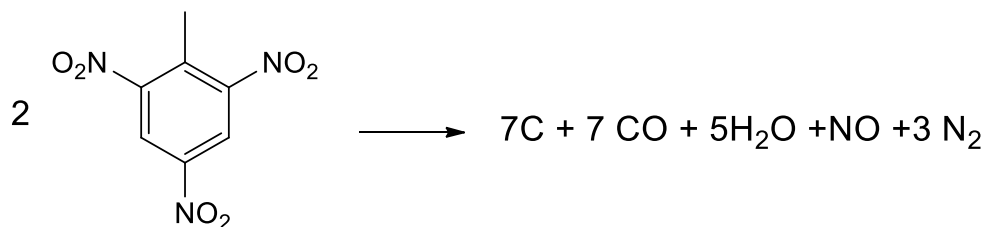
# Bilans Tlenowy Materiału wybuchowego

- Podczas wybuchu powstają gazy takie jak np.: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>.
- Materiał ma dodatni bilans tlenowy, gdy ilość w nim tlenu jest większa niż to jest wymagane do całkowitego związania węgla w CO<sub>2</sub> i wodoru w H<sub>2</sub>O. Ta nadmiarowa ilość tlenu reaguje z azotem dając trujące tlenki azotu.

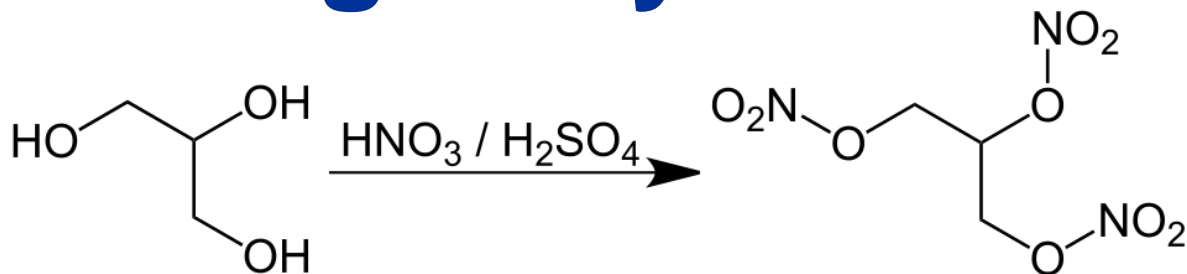
- Przykład 1 – wybuch nitrogliceryny – dodatni bilans tlenowy



- Przykład 2 – wybuch trotylu – ujemny bilans tlenowy



# Nitrogliceryna



Nitrogliceryna	
<b>Energia wybuchu</b>	5,8 MJ/kg
<b>Prędkość detonacji</b>	7,7 km/s
<b>Wrażliwość na uderzenie</b>	duża
<b>Objętość produktów gazowych</b>	716 dm <sup>3</sup> /kg
<b>Temperatura podczas wybuchu</b>	3100 °C



Nitroglicerynę można zamrażać t.t 14 °C, przełamanie kryształu wywołuje eksplozję



# Dynamit



Ziemia krzemkowa – 90%  $\text{SiO}_2$  - diatomit

Dynamit jest średnio czuły na bodźce mechaniczne. Dla porównania 100mg MW ustawione na kowadło na które spada 2kg młot z różnych wysokości:

Piorunian rtęci  $\text{Hg}(\text{CNO})_2$  –typowy materiał inicjujący 1-2 cm

Nitrogliceryna 4-5 cm

Dynamit 15-30 cm

Amonity 40-50cm



# Górnictwe materiały wybuchowe

- **Wrażliwość na bodźce zewnętrzne**, MW nie może być zbyt czuły, czyli łatwo rozpoczynający reakcję pod wpływem bardzo słabych przypadkowych bodźców zewnętrznych (tarcie, uderzenie temperatura), lecz dopiero po dostatecznie silnym pobudzeniu, uzależnionym od woli ludzkiej.
- **Dostateczna stałość chemiczna** powinna gwarantować w czasie przechowywania MW nie zachodzenie w nim żadnych reakcji chemicznych.
- **Poręczność** jest to łatwość w posługiwaniu się MW w czasie wykonywania robót strzałowych.
- Ze względu na skład chemiczny GMW dzieli się na:
  - - **amonowo-saletrzane**,
  - - **nitroglicerynowe**.

# Górnictwe materiały wybuchowe

- **Podział górniczych materiałów wybuchowych**
- - **skalne** - kolor opakowania czerwony (amonit, dynamit, ergodyn), materiały te nie spełniają wymogów bezpieczeństwa wobec mieszanin pyłu węglowego i metanu, wolno stosować do 0,5% metanu oraz do 1,0% z zastosowaniem zapalarek z blokadą metanometryczną, wyłącznie w otworach wywierconych w kamieniu;
- - **węglowe** - kolor opakowania niebieski (karbonit), materiały te spełniają wymagania bezpieczeństwa wobec obłoku pyłu węglowego o określonych właściwościach, wolno stosować do 0,5% metanu oraz do 1,0% z zastosowaniem zapalarek z blokadą metanometryczną;
- - **metanowe** - kolor opakowania kremowy (metanit, barbaryt) materiały te spełniają określone warunki bezpieczeństwa wobec mieszaniny metanowej i obłoku pyłu węglowego, wolno stosować do 1,0% metanu;
- - **metanowe specjalne** - kolor opakowania kremowy z dwoma czarnymi paskami (metanit specjalny) posiadają najwyższy stopień bezpieczeństwa wobec mieszaniny metanowej i obłoku pyłu węglowego, wolno stosować do 1,5% metanu.





# Górnictwe materiały wybuchowe



Skład Metanitu E7H:  
Nitrogliceryna 3,6%  
Nitroglikol 2,4%  
Azotan amonu 52%  
Azotan Magnezu 2%

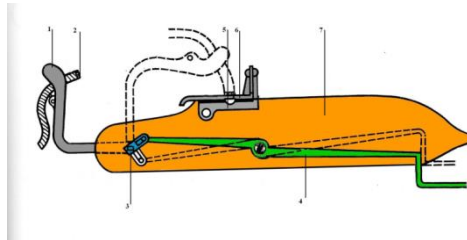
## Stężenia i dawki śmiertelne

	Nitrogliceryna	Nitroglikol	Azotan (V) amonu
DL <sub>50</sub> (szczur, doustnie)	105 mg/kg	460 ÷ 616 mg/kg	2000 mg/kg
CL <sub>50</sub> (szczur, inhalacyjnie)	Brak danych	Brak danych	Brak danych
DL <sub>50</sub> (królik, skóra)	280 mg/kg	400 mg/kg	Brak danych
DL <sub>50</sub> (szczur, skóra)	Brak danych	Brak danych	2000 mg/kg

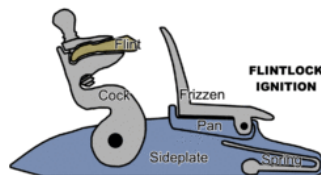
# Materiały inicjujące

Jak strzelić z czegokolwiek mając do dyspozycji tylko proch czarny?

**Zamek lontowy:** w którym zapalenie prochu następuje od palącego się lontu. Lont zamocowany był w uchwycie, który po naciśnięciu dźwigni (spustu) opadał na panewkę, powodując zapalenie się podsypanego tam prochu, a następnie poprzez zapal, odpalenie prochu w lufie. **A gdzie BHP?**



Zamek skałkowy rok wynalezienia 1570

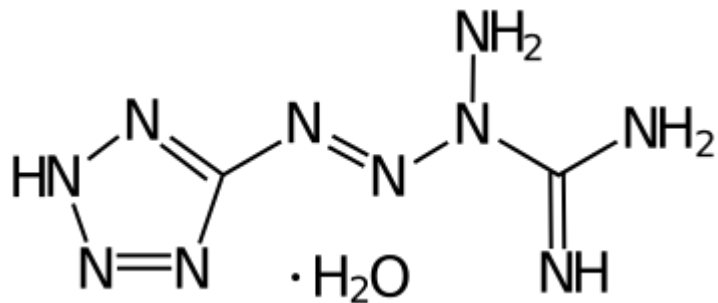
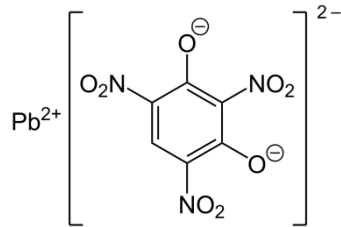


# Materiały inicjujące

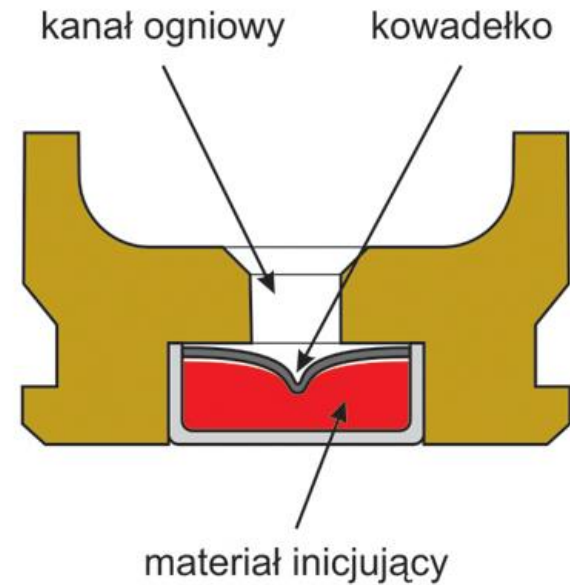
$\text{Cu}(\text{N}_3)_2$  azydek miedzi

$\text{Pb}(\text{N}_3)_2$  azydek ołowiu

Styfinian Ołowiu

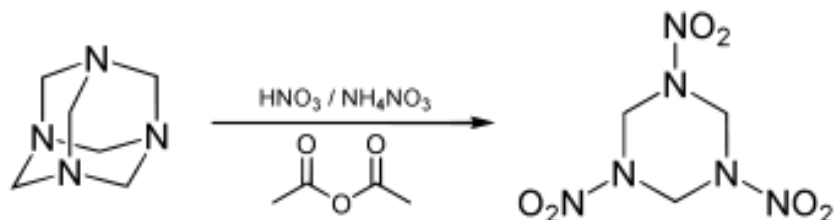


Tetrazen – używany jako dodatek do spłonek 2-3%





# Heksogen



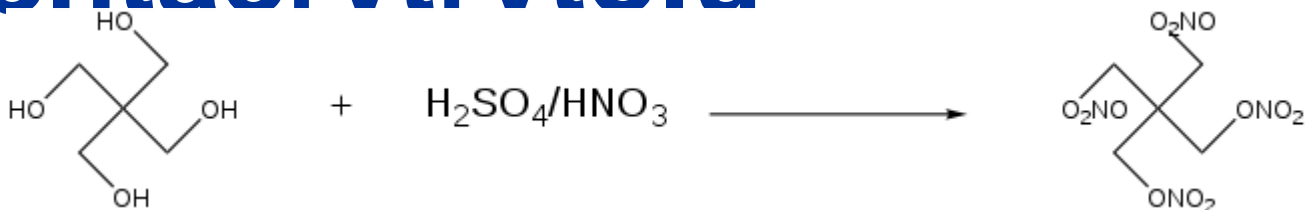
Jeden z silniejszych materiałów kruszących, Bardzo stabilny w temperaturze pokojowej, wymaga silnego detonatora, inaczej pali się ale nie wybucha

Heksogen	
Rok odkrycia	1890
Energia wybuchu	6,0 MJ/kg
Prędkość detonacji	8,4 km/s
Wrażliwość na uderzenie	małą

Razem z PETN (Pentaerythritol tetranitrate) są Składnikami Semtex'u

C4 – rodzaj plastycznego materiału wybuchowego. Składa się z właściwego materiału wybuchowego, spoiwa, masy plastycznej i (w ostatnich czasach) substancji znakujących. Materiałem wybuchowym w C4 jest heksogen (heksahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazyna), który stanowi ponad 90% masy C4. Spoiwem jest poliizobutylen (ok. 2%), a plastyfikatorem jest sebacynian di(2-etyloheksylu) (ok. 5%)

# Tetraazotan pentaerytrytolu



Pentryt, PETN	
Energia wybuchu	1,8 MJ/kg
Prędkość detonacji	8,4 km/s
Wrażliwość na uderzenie	małą
Wrażliwość na uderzenie	Mała 10 kg z wys .25cm
Objętość produktów gazowych	710dm <sup>3</sup> /kg



Lek z grupy azotanów rozszerzający naczynia wieńcowe, działający dłużej niż nitrogliceryna. Zmniejsza zapotrzebowanie m. sercowego na tlen, częstość i siłę napadów dławicy piersiowej i częstość stosowania nitrogliceryny.

# Amonity - $\text{NH}_4\text{NO}_3$

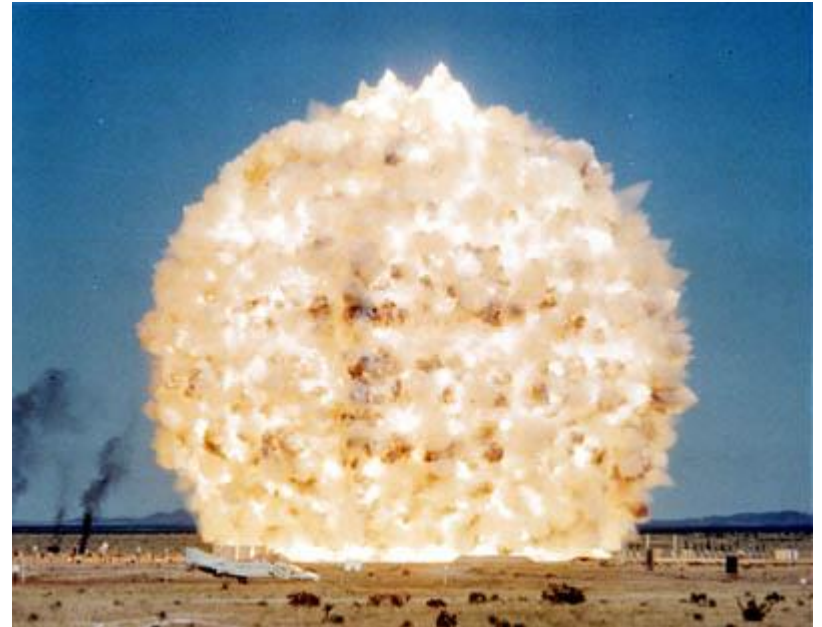
- ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) lub saletrol – materiał wybuchowy, rodzaj amonitu, otrzymywany przez nasączenie azotanu amonu ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) paliwami płynnymi (benzyna, olej napędowy, nafta, aceton itp.).



**Zamach terrorystyczny w Oklahoma City  
Użyto 2300kg ANFO**

# Minor Scale eksperyment

27-06-1985na poligonie w Nowym Meksyku  
zdetonowano **4700ton ANFO**  
odpowiednik 4kT TNT.  
Miał symulować wybuch małej bomby  
atomowej



Minor Scale fireball immediately after detonation.  
The [F-4 Phantom](#) aircraft in the foreground is 63 feet (19 m) long.

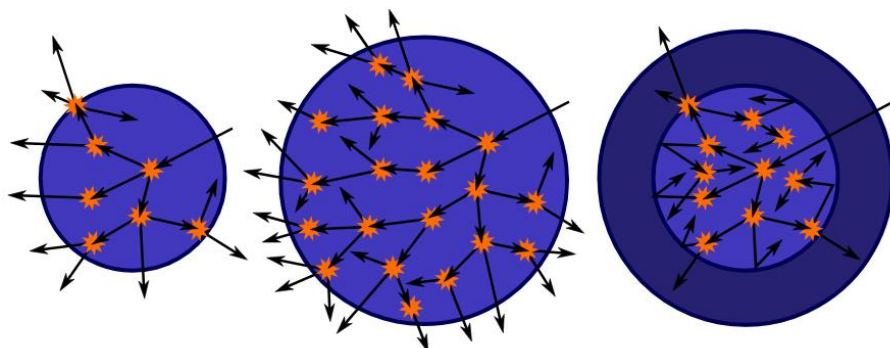


# Bomba atomowa - rozpad jąder

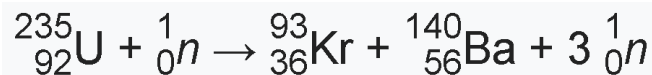
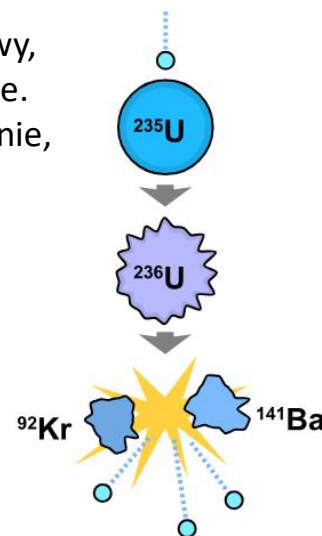
Wszystkie pierwiastki o liczbach atomowych powyżej ołowiu są niestabilne, nawet Bismut  $^{209}\text{Bi}$   $\tau_{1/2}=1,9 \times 10^{19}$  lat (dłużej niż wiek wszechświata).

$^{238}\text{U}$   $\tau_{1/2}=4,5 \times 10^9$  lat,  $^{235}\text{U}$   $\tau_{1/2}=6,9 \times 10^8$  lat,  $^{232}\text{Th}$   $\tau_{1/2}=1,4 \times 10^{10}$  lat

Masa krytyczna: – minimalna masa, w której reakcja rozszczepienia przebiega w sposób łańcuchowy, czyli każde jedno rozszczepienie jądra atomowego inicjuje dokładnie jedno następne rozszczepienie. W masie mniejszej od masy krytycznej reakcja zainicjowana rozszczepieniem spontanicznym zaniknie, w masie większej od masy krytycznej reakcja będzie przebiegała w sposób lawinowy



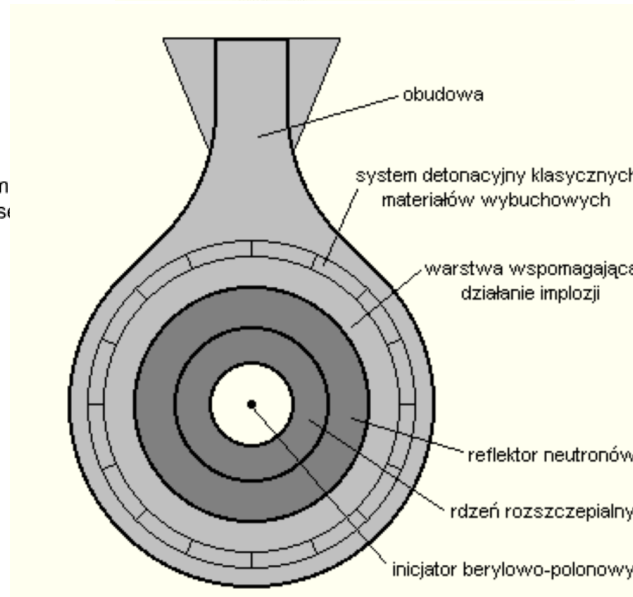
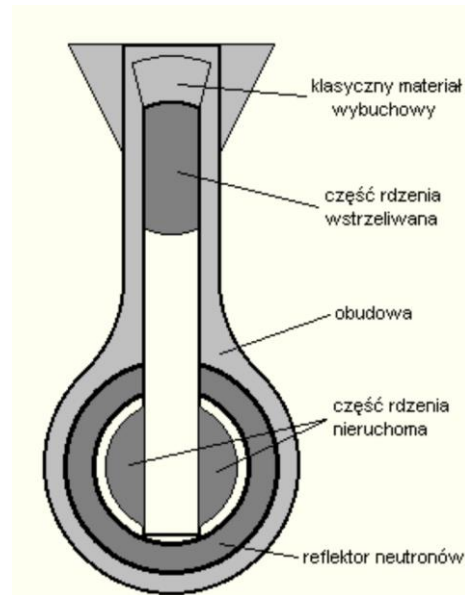
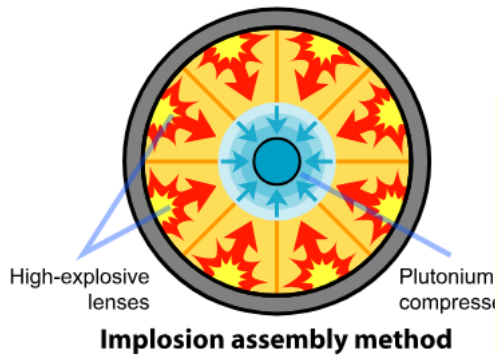
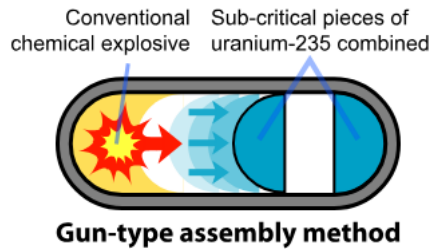
Masa:    za mała,            w sam raz,            z ekranem neutronów



Dla uranu  $^{235}\text{U}$  masa krytyczna wynosi 52 kg (kształt kuli) { dla  $^{239}\text{Pu}$  tylko 10kg}

1 kg  $^{235}\text{U}$  dostarcza 80TJ energii (2500 ton węgla)

# Bomba atomowa



Konstrukcja zawierająca  $^{235}\text{U}$   
6 sierpnia Hiroshima 1945  
„Little Boy”  
„Tylko” 800g z 51 kg  $^{235}\text{U}$   
uległo rozszczepieniu

Konstrukcja zawierająca  $^{239}\text{Pu}$   
9 sierpnia Nagasaki 1945  
„Fat Man”

# Car Bomba (Царь-бомба)



Miejsce detonacji – archipelag Nowej Ziemi, ładunku 50 MT, rok 1961



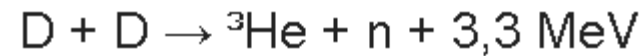
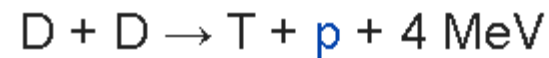
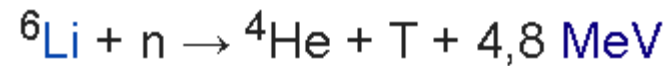
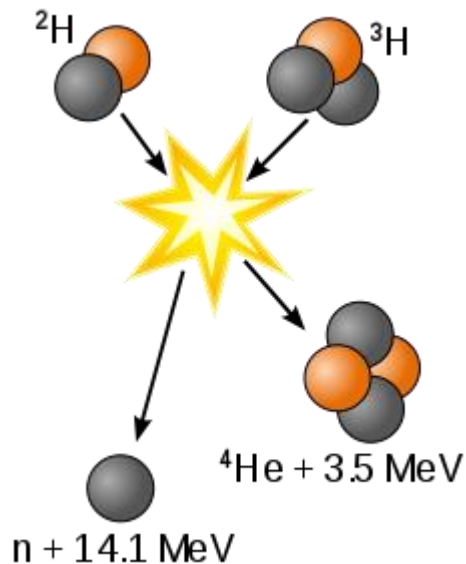
W trakcie reakcji termojądrowej trwającej 39ns wydzielono się  $2,1 \times 10^{17}$  Joula energii

Bomba ważyła 27 ton, w czasie tych 39ns promieniowała z mocą odpowiadającą 1% mocy powierzchni słońca.

Defekt masy wyniósł około 2,3 kg

Światowa produkcja energii elektrycznej (pocz. XiX)  
15 000 TWh rok czyli  $5,4 \times 10^{19}$  Joula

# Reakcja termojądrowa



LiD jako paliwo



# Sposoby magazynowania energii

- Benzyna – wartość opałowa 42MJ/kg (35% sprawności)
- Drewno 16 MJ/kg
- Wodór 120 MJ/kg
- Ogniwa litowe 0,3-0,8 MJ/kg
- Akumulator ołowiowy 0,09 MJ/kg

Zapotrzebowanie energetyczne domu **120 kWh/m<sup>2</sup>rok**  
czyli przy 100m<sup>2</sup> 118MJ na dzień + 16 MJ energia elektryczna