

# Wykład

19.02.2022r.



Zmiana entalpii zachodząca w wyniku reakcji nazywana jest **entalpią reakcji** i równa jest ciepłu wydzielonemu lub pochłoniętemu w tej reakcji w przeliczeniu na odpowiednią ilość moli jednego z reagentów (często 1 mol) z odpowiednim znakiem.

$$\Delta H = H_{\text{po reakcji}} - H_{\text{przed reakcją}} = \text{entalpia reakcji}$$

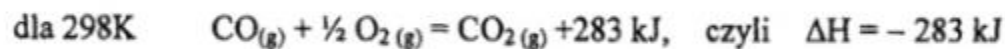
Dla reakcji egzotermicznych entalpia reakcji jest ujemna, czyli entalpia układu w wyniku reakcji maleje, dla reakcji endotermicznych entalpia reakcji jest dodatnia, czyli entalpia układu po reakcji jest większa.

$$\Delta H > 0 \quad \text{dla reakcji endotermicznych}$$

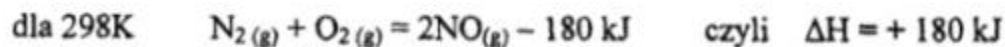
$$\Delta H < 0 \quad \text{dla reakcji egzotermicznych}$$

#### Przykład

Reakcja egzotermiczna:



Reakcja endotermiczna:



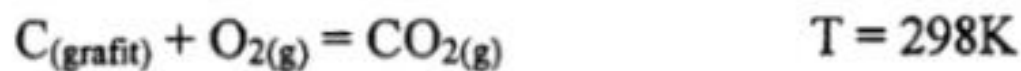


Przyjęto, że jeżeli reakcja prowadzona jest pod ciśnieniem  $10^5$  Pa (=1bar) pomiędzy reagentami w stanie czystym, to entalpia tej reakcji nazywana jest **standardową entalpią reakcji** i oznaczana jest jako  $\Delta H^\ominus$ . Zazwyczaj standardowe entalpie reakcji określone są dla temperatury  $25^\circ\text{C}$ , czyli 298K.



Reakcja spalania zachodzi pomiędzy tlenem a daną substancją. Standardowa entalpia takiej reakcji odniesiona do 1 mola spalanej substancji nazywa się standardową entalpią spalania. Oznaczana jest symbolem  $\Delta H^{\ominus}_{sp}(i)$  lub wg nowszej notacji jako  $\Delta_{sp}H^{\ominus}(i)$ , gdzie „i” jest wzorem spalanej substancji. Wyrażana jest w kJ/mol spalanego związku.

Standardowa entalpia spalania węgla odnosi się do reakcji spalania węgla w postaci grafitu do ditlenku węgla



a jej wartość wynosi  $\Delta_{sp}H^{\ominus}(C) = -394 \text{ kJ/mol}$

Im bardziej ujemna jest entalpia spalania tym więcej ciepła wydziela się przy spalaniu 1 mola substancji. Trzeba jednak pamiętać, że w przeliczeniu na 1 g efekt cieplny reakcji będzie inny.

Porównanie  $\Delta_{sp}H^\ominus$  dla 1 mola  $H_2$ , C i  $CH_4$

$$\Delta_{sp}H^\ominus (H_2) = - 286 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_{sp}H^\ominus (C) = - 394 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_{sp}H^\ominus (CH_4) = - 890 \text{ kJ/mol}$$

wskazuje, że największy efekt egzotermiczny otrzymuje się dla 1 mola  $CH_4$ , najmniejszy dla 1 mola wodoru.

Jednakże przeliczając entalpię spalania na 1 g substancji,  $\Delta H^\ominus_{sp(i)}/M_i$ , otrzymuje się

$$-143 \text{ kJ/g} \quad \text{dla } H_2$$

$$-33 \text{ kJ/g} \quad \text{dla } C_{(grafit)}$$

$$-44 \text{ kJ/g} \quad \text{dla } CH_4$$



czyli największy efekt egzotermiczny towarzyszy spalaniu 1g wodoru. Dlatego wodór jako lekkie paliwo jest stosowany w silnikach rakietowych



Kaloryczność potraw jest związana z entalpią spalania. Proces spalania poza organizmem zachodzi w jednym etapie, w organizmie natomiast jest ciągiem reakcji chemicznych. Zmiana entalpii jest w obu przypadkach taka sama. Pomiar ciepła wydzielonego przy spalaniu żywności w warunkach laboratoryjnych informuje o kaloryczności (wartości opałowej) potraw. Entalpię spalania potraw podaje się w przeliczeniu na 1 g suchej żywności, aby wyeliminować udział wody.

Poniżej porównane są entalpie spalania niektórych potraw \*

jabłka -2 kJ/g,

jajka -6 kJ/g,

ser żółty -18 kJ/g,

oraz powszechnie używanych paliw \*

drewno -20 kJ/g,

benzyna -34 kJ/g,

ziemniaki -3 kJ/g

chleb -11 kJ/g

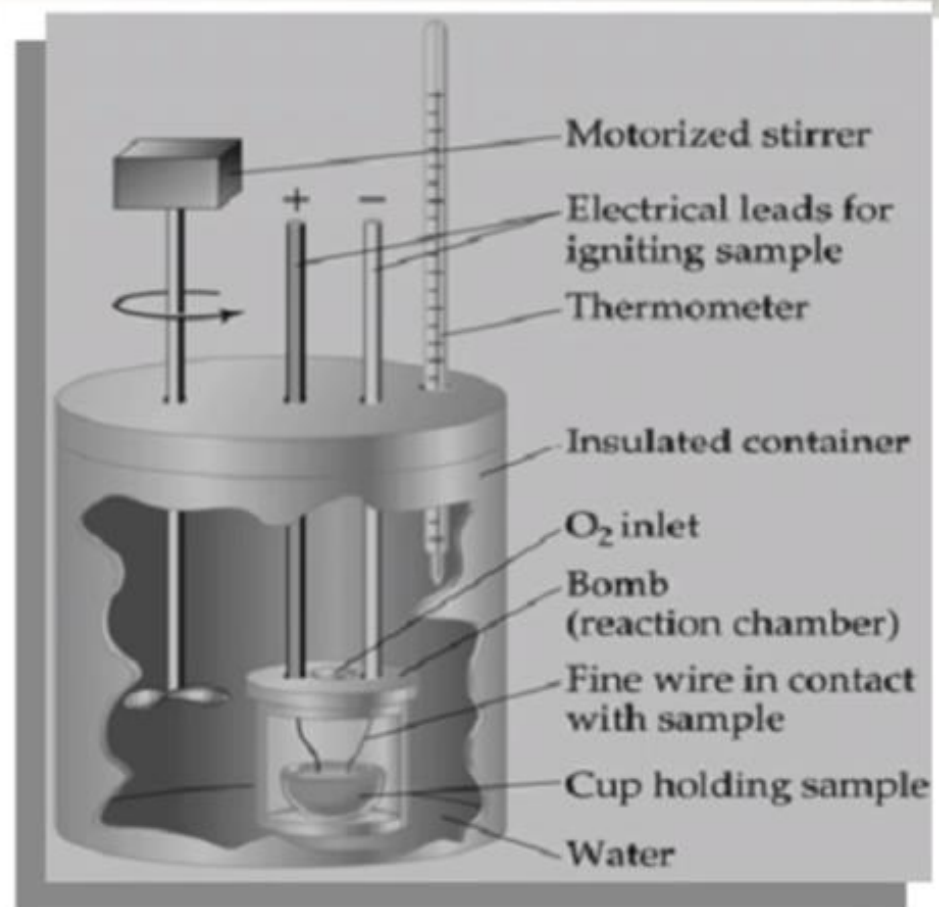
masło -34 kJ/g

węgiel -30 kJ/g

gaz ziemny -50 kJ/g



# Kalorymetr





Standardowa entalpia tworzenia, oznaczana symbolem  $\Delta H_{\text{tw}}^{\ominus}(\text{i})$  lub wg nowszej notacji jako  $\Delta_{\text{tw}} H^{\ominus}(\text{i})$ , jest entalpią reakcji powstawania 1 mola związku „i” z pierwiastków w ich stanach tzw. podstawowych. Wyrażana jest w kJ/mol

Stan podstawowy pierwiastka jest to jego najtrwalsza odmiana w danych warunkach. W przypadku standardowej entalpii reakcji warunki te oznaczają: ciśnienie koniecznie 1 bara ( $=10^5$  Pa) a temperatura zwyczajowo 298 K.

Zgodnie z tą definicją reakcja tworzenia 1 mola  $\text{CO}_2$  będzie reakcją pomiędzy czystym tlenem (a nie powietrzem) w postaci cząsteczkowej (a nie atomowej) a węglem w postaci grafitu w temp. 298K i pod ciśnieniem 1 bara.

Standardowe entalpie tworzenia pierwiastków są równe zero, np.  $\Delta_{\text{tw}} H^{\ominus}(\text{O}_2) = 0$ .

#### Przykład

Reakcje tworzenia i standardowe entalpie tworzenia ciekłej wody, ditlenku azotu i tlenku węgla



Jak widać, tworzenie  $\text{H}_2\text{O}_{(\text{c})}$  jest reakcją egzotermiczną, a tworzenie  $\text{NO}_2$  reakcją endotermiczną.





# Ciepła tworzenia

---

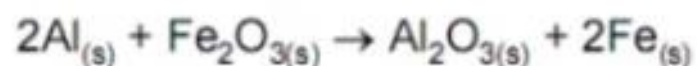
Związek	$\Delta H^{\circ}_{298}$ kJ/mol	Związek	$\Delta H^{\circ}_{298}$ kJ/mol
$\text{H}_2\text{O}_{(c)}$	-285,85	$\text{SO}_{2(g)}$	-296,86
$\text{H}_2\text{O}_{(g)}$	-241,79	$\text{SO}_{3(g)}$	-385,18
$\text{HCl}_{(g)}$	-92,30	$\text{NaCl}_{(s)}$	-410,99
$\text{HNO}_{3(c)}$	-173,22	$\text{KCl}_{(s)}$	-435,90
$\text{H}_2\text{SO}_{4(c)}$	-811,32	$\text{NaOH}_{(s)}$	-426,77
$\text{CO}_{(g)}$	-110,54	$\text{CH}_{4(g)}$	-74,85
$\text{CO}_{2(g)}$	-393,42	$\text{CH}_3\text{OH}_{(c)}$	-238,57
$\text{NH}_{3(g)}$	-46,19	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(c)}$	-277,65
$\text{NO}_{(g)}$	+90,37	$\text{CH}_3\text{COOH}_{(c)}$	-487,01
$\text{NO}_{2(g)}$	+33,85	$\text{C}_6\text{H}_6(c)$	-49,03

---

# Obliczanie ciepła reakcji z entalpii tworzenia

---

Mając dane entalpie tworzenia, oblicz standardową entalpię następującej reakcji:



$$\Delta H_{\text{rea}}^{\circ} = \sum n_i \Delta H_i^{\circ}(\text{p}) - \sum n_j \Delta H_j^{\circ}(\text{s})$$

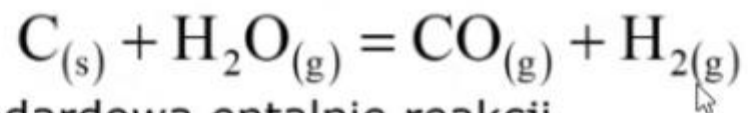
$$\Delta H^{\circ}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = -826 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}(\text{Al}_2\text{O}_3) = -1676 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}(\text{Fe}) = \Delta H^{\circ}(\text{Al}) = 0$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{rea}}^{\circ} &= \Delta H^{\circ}(\text{Al}_2\text{O}_3) - \Delta H^{\circ}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \\ &= -1676 \text{ kJ} - (-826 \text{ kJ}) = \\ &= -850 \text{ kJ} \end{aligned}$$

**Zad.** Reakcja rozżarzonego koksu z parą wodną prowadzi do otrzymania gazu wodnego:



Obliczyć standardową entalpię reakcji.

$$\Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}(g)} = -241,8 \text{ kJ/mol} \quad \Delta H^\circ_{\text{tw. CO}(g)} = -110,5 \text{ kJ/mol}$$

*Rozwiązanie:*

$$\Delta H^\circ = (\Delta H^\circ_{\text{tw. CO}(g)} + \Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2(g)}) - (\Delta H^\circ_{\text{tw. C}(st)} + \Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}(g)})$$

$$\Delta H^\circ = (-110,5 \text{ kJ/mol} + 0) - (0 - 241,8 \text{ kJ/mol}) = 131,3 \text{ kJ/mol}$$

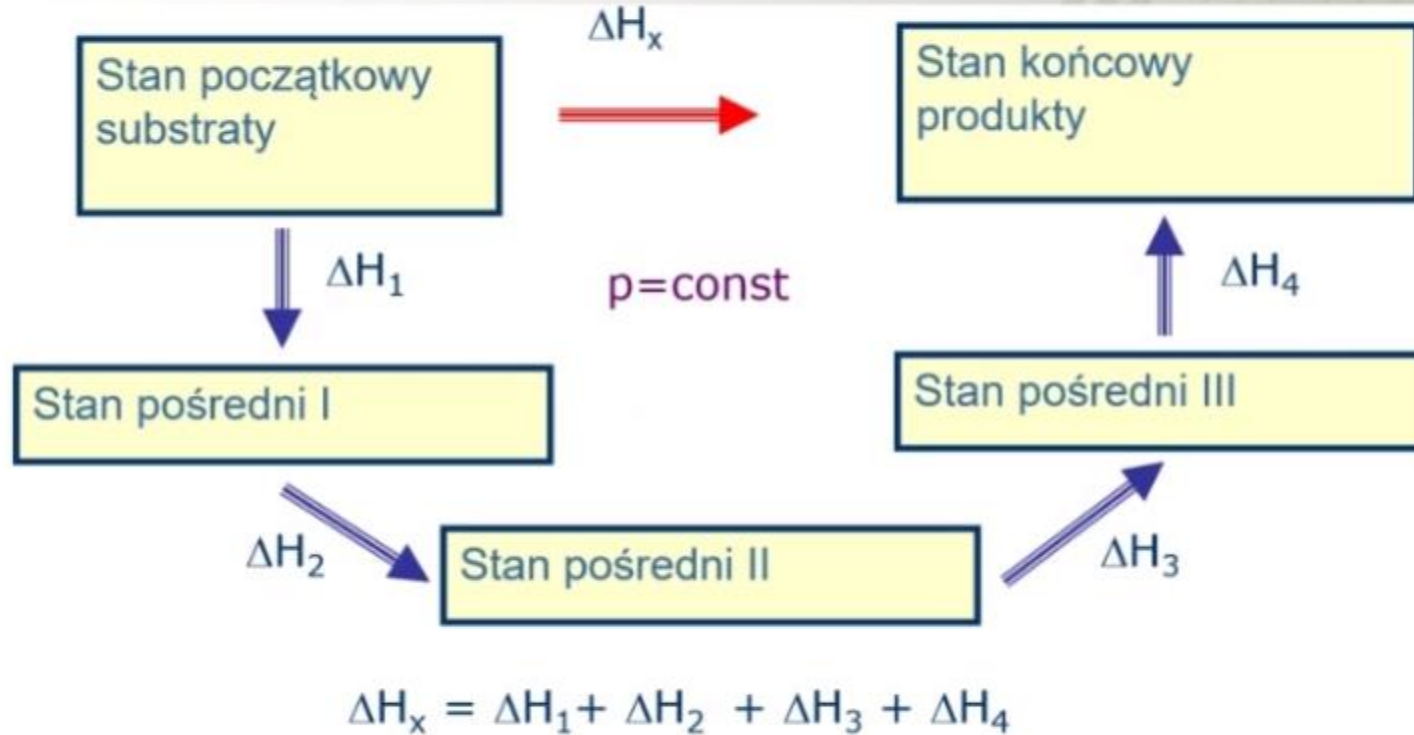


Jeżeli układ ulegający przemianie może wymieniać z otoczeniem energię wyłącznie poprzez wymianę ciepła i ewentualnie poprzez wykonanie pracy objętościowej, to ilość energii wymienionej przez przekazywanie ciepła (efekt cieplny przemiany  $\Delta U$  lub  $\Delta H$ ) zależy tylko od stanu początkowego i końcowego układu, a nie zależy od drogi przemiany (tzn. liczby i rodzaju etapów pośrednich na tej drodze), pod warunkiem, że wszystkie etapy zachodzą pod stałym ciśnieniem lub w stałej objętości.

„Standardowa entalpia reakcji jest równa sumie standardowych entalpii takich reakcji, na które można rozłożyć daną reakcję”.

---

## Pośrednie wyznaczenie efektu ciepłego reakcji

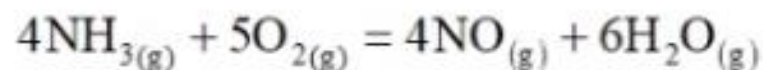


$V = \text{const} \rightarrow \Delta U_x = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4$

## Przykłady

### Przykład 1.

Katalityczne utlenianie amoniaku przebiega zgodnie z równaniem:



Obliczyć standardową entalpię podanej reakcji uwzględniając standardowe entalpie tworzenia:

$$\Delta H^\circ_{\text{tw. NH}_3} = -46,2 \text{ kJ/mol}, \quad \Delta H^\circ_{\text{tw. NO}} = +90,3 \text{ kJ/mol}, \quad \Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}} = -241,8 \text{ kJ/mol}.$$

*Rozwiązanie:*

Podczas sumowania standardowych entalpii tworzenia produktów i substratów należy uwzględnić współczynniki stechiometryczne (dla podanej reakcji są one różne od 1).

Dla produktów:

$$\sum_{\text{produkty}} \nu_i (\Delta H^\circ_{\text{tw.}})_i = 4 \cdot \Delta H^\circ_{\text{tw. NO}_{(g)}} + 6 \cdot \Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}_{(g)}}$$

$$\sum_{\text{produkty}} v_i(\Delta H^\circ_{\text{tw.}})_i = 4 \cdot 90,3 \text{ kJ} + 6 \cdot (-241,8 \text{ kJ}) = -1089,6 \text{ kJ}$$

Dla substratów:

$$\sum_{\text{substraty}} v_j(\Delta H^\circ_{\text{tw.}})_j = 4 \cdot \Delta H^\circ_{\text{tw. NH}_3(\text{g})} + 5 \cdot \Delta H^\circ_{\text{tw. O}_2(\text{g})}$$

$$\sum_{\text{produkty}} v_i(\Delta H^\circ_{\text{tw.}})_i = 4 \cdot (-46,2) \text{ kJ} + 6 \cdot 0 = -184,8 \text{ kJ}$$

Standardowa entalpia tworzenia tlenu  $\text{O}_2$  w warunkach standardowych wynosi 0.

Standardowa entalpia reakcji jest różnicą standardowych entalpii tworzenia produktów i substratów:

$$\Delta H^\circ = \sum_{\text{produkty}} v_i(\Delta H^\circ_{\text{tw.}})_i - \sum_{\text{substraty}} v_j(\Delta H^\circ_{\text{tw.}})_j = -1089,6 \text{ kJ} - (-184,8 \text{ kJ}) = -906,0 \text{ kJ}$$

Standardowa entalpia reakcji utleniania amoniaku wynosi -906 kJ. Reakcja jest egzotermiczna.

## Przykład 2.

Wyznaczyć  $\Delta H^\circ$  reakcji  $\text{CO}_{(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)} = \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2(g)$  znając standardowe entalpie

tworzenia:  $\Delta H^\circ_{\text{tw. CO}_{(g)}} = -110,5 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H^\circ_{\text{tw. CO}_{2(g)}} = -393,5 \text{ kJ/mol}$ ,

$$\Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}_{(g)}} = -241,8 \text{ kJ/mol}.$$

*Rozwiązanie:*

Entalpia reakcji równa jest różnicy sum entalpii tworzenia produktów reakcji i sum tworzenia substratów w ilości określonej przez współczynniki stechiometryczne.

Dla podanej reakcji otrzymujemy:

$$\Delta H^\circ = (\Delta H^\circ_{\text{tw. CO}_{2(g)}} + \Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2(g)}) - (\Delta H^\circ_{\text{tw. CO}_{(g)}} + \Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}_{(g)}})$$

Podstawiając wartości standardowych entalpii tworzenia otrzymujemy:

$$\Delta H^\circ = (-393,5 \text{ kJ/mol} + 0) - (-110,5 \text{ kJ/mol} - 241,8 \text{ kJ/mol}) = -41,2 \text{ kJ/mol}$$



#### Przykład 4.

Obliczyć entalpię reakcji:  $\text{ZnO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} = \text{ZnCO}_{3(s)}$  w warunkach standardowych mając

dane standardowe entalpie tworzenia reagentów:  $\Delta H^{\circ}_{\text{tw. ZnO}(s)} = -348,0 \text{ kJ/mol}$ ,

$$\Delta H^{\circ}_{\text{tw. CO}_2(g)} = -393,5 \text{ kJ/mol}, \quad \Delta H^{\circ}_{\text{tw. ZnCO}_3(s)} = -812,5 \text{ kJ/mol}$$

*Rozwiązanie:*

$$\Delta H^{\circ} = \Delta H^{\circ}_{\text{tw. ZnCO}_3(s)} - (\Delta H^{\circ}_{\text{tw. CO}_2(g)} + \Delta H^{\circ}_{\text{tw. ZnO}(s)})$$

$$\Delta H^{\circ} = -812,5 \text{ kJ/mol} - (-393,5 \text{ kJ/mol} + (-348,0 \text{ kJ/mol})) = -71,0 \text{ kJ/mol}$$

Reakcja jest egzotermiczna, ponieważ przebiega z wydzieleniem energii na sposób ciepła.

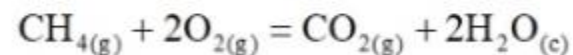
### Przykład 5.

Obliczyć standardową entalpię spalania metanu mając dane standardowe entalpie tworzenia ciekłej wody, tlenku węgla (IV) i metanu:  $\Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}} = -285,8 \text{ kJ/mol}$ ,

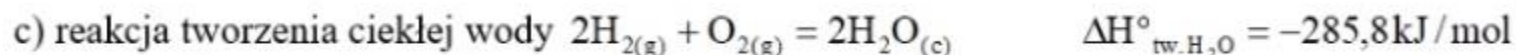
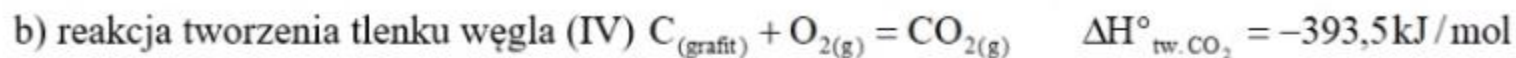
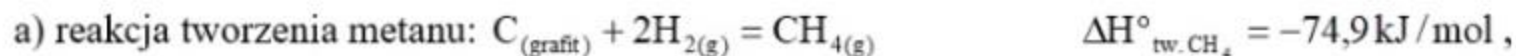
$$\Delta H^\circ_{\text{tw. CO}_2} = -393,5 \text{ kJ/mol}, \quad \Delta H^\circ_{\text{tw. CH}_4} = -74,9 \text{ kJ/mol}.$$

*Rozwiązanie:*

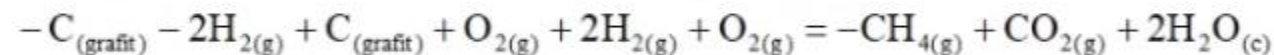
Spalanie metanu przebiega zgodnie z równaniem:



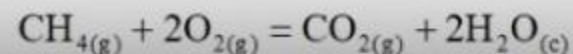
Równanie to można otrzymać z posługując się równaniami pośrednimi, których entalpię reakcji znamy:



Aby otrzymać reakcję spalania metanu należy równanie a) pomnożyć przez -1, a następnie dodać wszystkie równania stronami otrzymując:



Po redukcji wyrazów i przegrupowaniu wyrazów otrzymujemy żądane równanie:



Ciepło spalania metanu równana się:

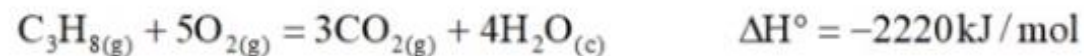
Ciepło spalania metanu równana się:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{sp. CH}_4} = (-1) \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{tw. CH}_4} + 2 \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{tw. H}_2\text{O}} + 1 \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{tw. CO}_2}$$

$$\Delta H^{\circ}_{\text{sp. CH}_4} = (-1) \cdot (-74,9 \text{ kJ/mol}) + 2 \cdot (-285,8 \text{ kJ/mol}) + 1 \cdot (-393,5 \text{ kJ/mol}) = -890,2 \text{ kJ/mol}$$

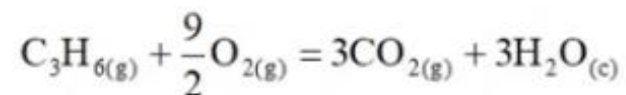
### Przykład 6.

Obliczyć standardową entalpię spalania propenu (stosując prawo Hessa) mając dane równania:

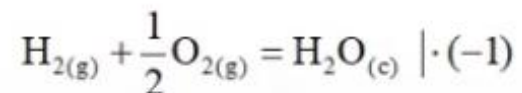
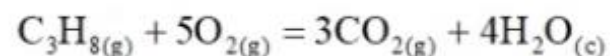
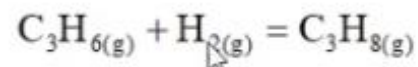


*Rozwiązanie:*

Równanie reakcji spalania propenu:



Równanie to można przedstawić jako sumę równań:



Dodając równania stronami i mnożąc trzecie równanie przez -1 otrzymano żądane równanie.

W obliczeniach należało wprowadzić reakcję tworzenia wody ( $\Delta H^\circ_{\text{tw. H}_2\text{O}} = -285,8 \text{ kJ/mol}$ ),

aby zamknąć bilans wodoru i tlenu w reakcji sumarycznej

Standardowa entalpia spalania propenu wynosi:

$$\Delta H_{\text{sp. C}_3\text{H}_{6(\text{g})}}^{\circ} = -124 \text{ kJ/mol} + (-2220 \text{ kJ/mol}) + (-1) \cdot (-285,8 \text{ kJ/mol}) = -2058,2 \text{ kJ/mol}$$

**Koniec przykładów**



**AGH**

AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY

## **Chemia jądrowa, przemiany jądrowe**



## Liczba atomowa i liczba masowa, nuklidy, izotopy,

liczba atomowa Z	liczba protonów w jądrze atomowym
liczba masowa A	liczba nukleonów w jądrze (sumaryczna liczba protonów i neutronów)
nuklid ${}^A_ZX$	jądro atomowe o określonych Z i A (X - oznacza symbol pierwiastka chemicznego o liczbie atomowej Z)
izotopy	nuklidy o takim samym Z
izobary	nuklidy o takim samym A

Znając liczbę masową A i liczbę atomową Z możemy wyznaczyć liczbę neutronów N w jądrze:  **$N = A - Z$**

Przykłady nuklidów:  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^7_3\text{Li}$ ,  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ ,  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ ,  ${}^{235}_{92}\text{U}$

Przykładu izotopów:  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$      ${}^{235}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{238}_{92}\text{U}$

Przykłady izobarów:  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$      ${}^{17}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_9\text{F}$

Do najważniejszych przemian jądrowych należą:

- rozpady samorzutne,
- reakcje jądrowe,
- rozszczepienia jader,
- fuzje jądrowe.

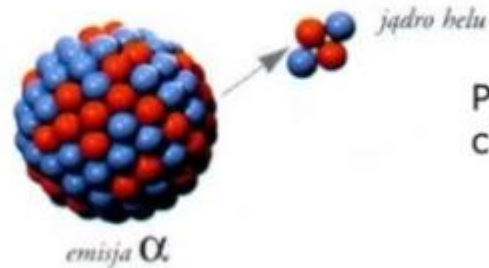




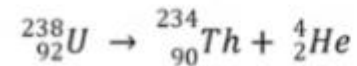
Rozpady samorzutne – z jądra zostaje wyrzucona cząstka elementarna lub cząstka stanowiąca trwały zespół składający się z niewielkiej liczby nukleonów. Produktem rozpadu samorzutnego jest więc nowe jądro i cząstka.

Zjawisko samorzutnego rozpadu jąder połączone z emisją cząsteczek nazywane jest **promieniotwórczością** lub **reaktywnością**.

**Rozpad  $\alpha$**  - polega na emisji (wyrzuceniu) z jądra cząstki zbudowanej z dwóch protonów i dwóch neutronów, czyli jądra helu, zwanego potocznie cząstką  $\alpha$

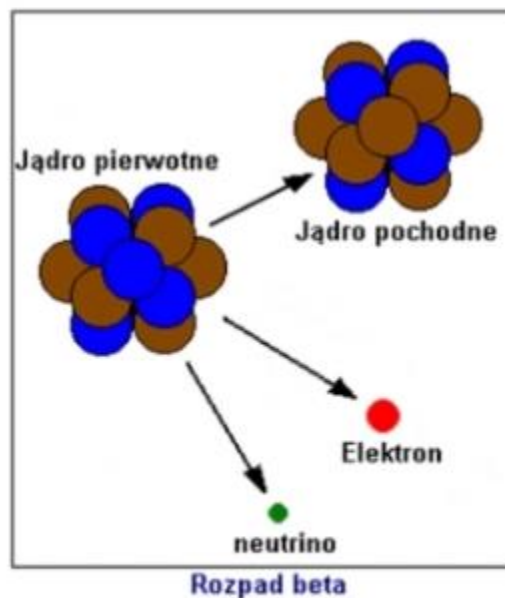


Podczas emisji cząstki  $\alpha$  uran rozpadając się emituje cząstkę  $\alpha$  i przechodzi w tor:

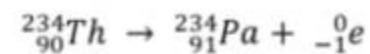


## Rozpady samorzutne

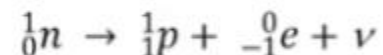
**Rozpad  $\beta$**  czyli przemiana  $\beta$  polega na emisji elektronu. Elektron może powstać w jądrze z neutronu podczas przemiany



Podczas rozpadu  $\beta$  tor rozpadając się emituje elektron i przechodzi w proaktyn:



w przemianie tej neutron przechodzi w proton oraz emitowany jest elektron i neutrino:



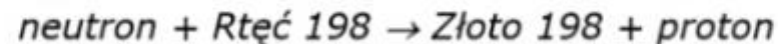
*neutrino* – to cząstka o masie znacznie mniejszej od masy elektronu i pozbawiona ładunku elektrycznego.

Zderzenie jądra z cząstką elementarną lub innym jądrem może doprowadzić do tworzenia nowego jądra i emisji nowej cząstki:



**Reakcje jądrowe** są często nazywane sztucznymi przemianami jądrowymi, mogą być bowiem wywołane przez człowieka w laboratorium. Powyższy przykład przemiany uranu w pluton ilustruje metodę, dzięki której otrzymano nie występujące na Ziemi transuranowce.

Rtęć bombardowana neutronami ulega przemianie:

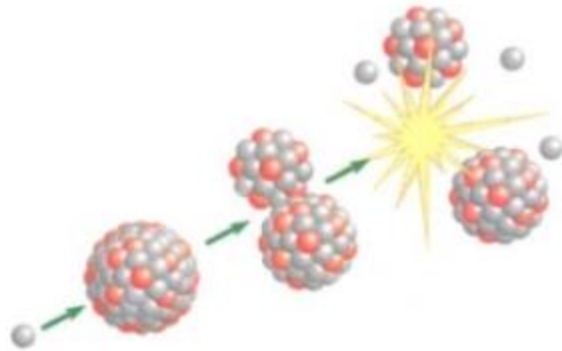




## Rozszczepienia jądrowe

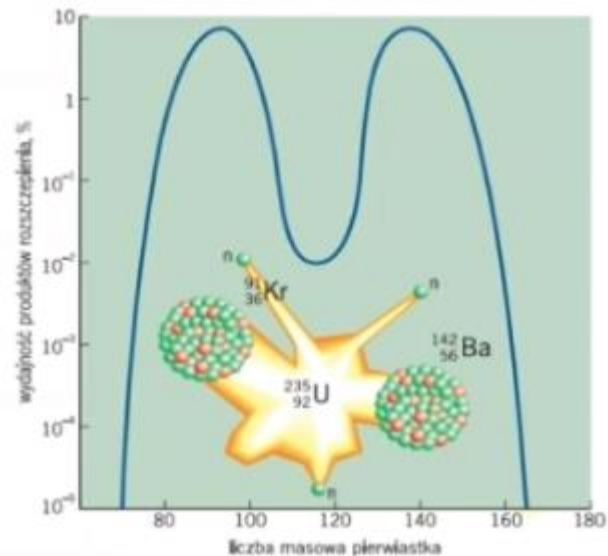
Po zderzeniu jądra z cząsteczką, a czasem samorzutnie, może nastąpić podział jądra o dużej liczbie nukleonów, zwanego ciężkim jądrem na dwa nowe jądra, z równoczesnym uwolnieniem cząstek elementarnych.

Uran-235 rozpada się na bar-141 i krypton-92. Równocześnie wyrzucane są trzy neutrony. Podczas rozszczepienia jądrowego zostaje uwolniona znaczna ilość energii. Z jednego grama uranu-235 można uzyskać w procesie rozszczepienia 2 miliony razy więcej energii niż z jednego grama węgla w chemicznej reakcji spalania.



W rzeczywistości reakcja ta nie przebiega w tak prosty sposób, ponieważ:

- produktami rozpadu nie muszą być krypton i bar. Takich możliwości jest około 200 i nie można przewidzieć na jakie dokładnie produkty rozszczeni się jądro. Można jedynie określić prawdopodobieństwo rozszczepienia na dane jądra atomowe. Masy produktów rozpadu nie muszą być równe. Może się zdarzyć, że jeden z produktów rozpadu ma masę wynoszącą  $1/3$  masy jądra uranu, a drugi  $2/3$ .
- mogą być trzy, a nawet więcej produktów rozszczepienia zamiast dwóch (bardzo rzadko)
- w stanie końcowym możemy mieć dwa, a nie trzy neutrony
- nie każdy neutron w wyniku oddziaływania z jądrem uranu musi je rozszczepić.

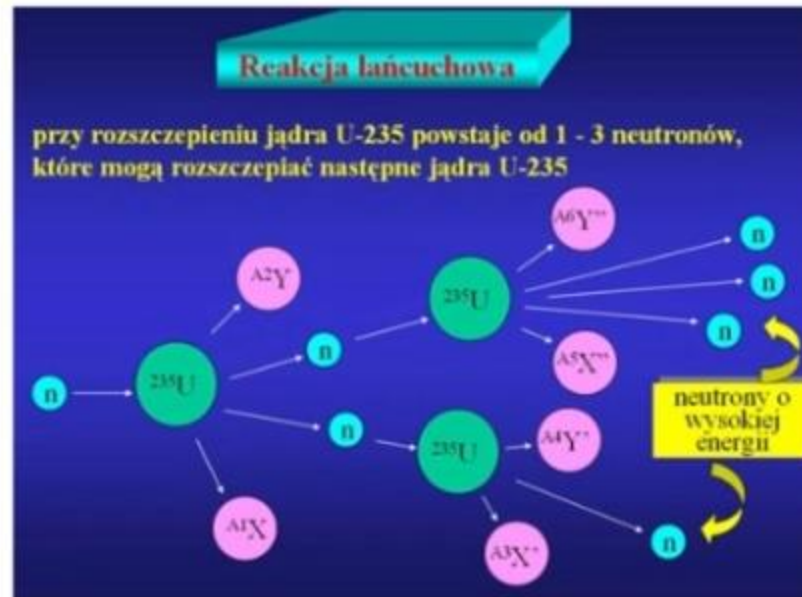




## Rozszczepienia jądrowe

Jeżeli reakcja rozszczepienia jądra  $^{235}\text{U}$  zajdzie w materiale, w którym będzie dużo takich jąder, to neutrony powstałe w jej wyniku mogą spowodować rozszczepienie kolejnych jąder. W takim materiale rozpocznie się zatem lawinowo narastający proces, w którym liczba jąder rozszczepianych w jednostce czasu będzie coraz większa.

Jest to tzw. reakcja łańcuchowa.

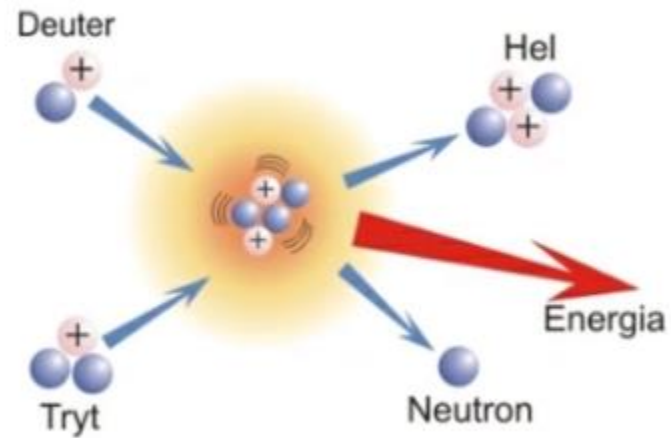




## Fuzje jądrowe

Dwa jądra lekkie (czyli składające się z niewielkiej liczby nukleonów) mogą po zderzeniu utworzyć jedno jądro. Często następuje równoczesna emisja cząstki. Przemiany jądrowe tego typu nazywane są: **fuzjami**, syntezami jądrowymi, reakcjami termojądrowymi.

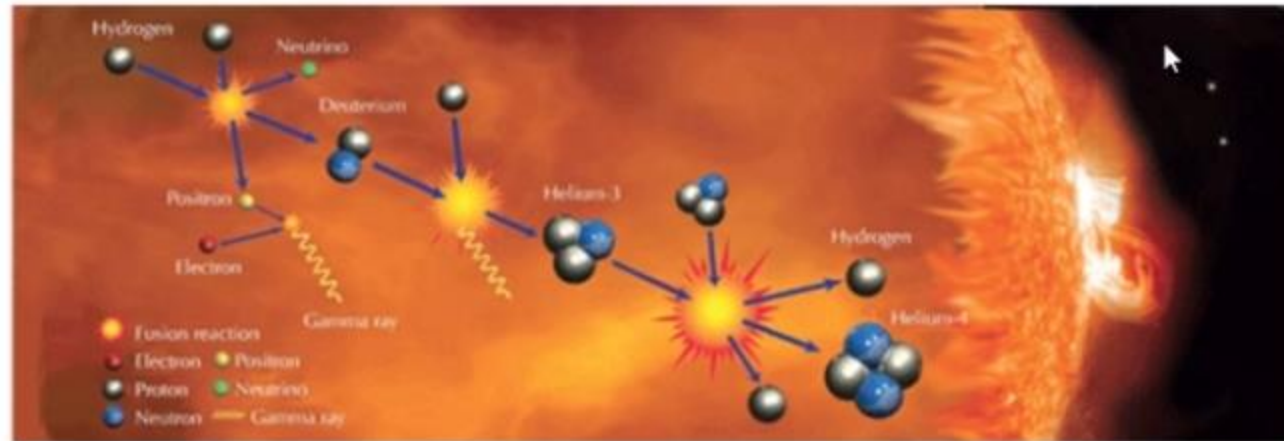
Zderzenie jądra wodoru 2 (D) z jądrem wodoru 3 (T):





## Fuzje jądrowe

Fuzja to proces zachodzący w jądrze naszego Słońca. To co widzimy jako światło i czujemy jako przyjemne ciepło to właśnie wynik reakcji fuzji. W Słońcu pod wpływem wysokiej temperatury oraz niewyobrażalnego ciśnienia jądra wodoru zderzają się, przechodząc w cięższe atomy helu i uwalniają ogromne ilości energii w tym procesie.







## Promieniotwórczość

Promieniowanie wytworzone przez substancje radioaktywne nazywamy **promieniowaniem jądrowym**.

- 1896 r. Henri Becquerel ogłosił, że promieniowanie związków uranu może ulegać odbiciu, załamaniu i polaryzacji, wobec czego uznano je za rodzaj promieniowania elektromagnetycznego o bardzo krótkich falach,
- 1903 i 1911 r. Maria i Pierre Curie – nagroda Nobla za odkrycie **polonu i radu**.

Odkrycie promieniotwórczości spowodowało postęp zarówno radioterapii poprzez zastosowanie radu, a następnie sztucznych izotopów radioaktywnych jak kobalt czy iryd, oraz - postęp badań radiodiagnostycznych obrazujących i czynnościowych dzięki izotopom radioaktywnym.

**Maria Skłodowska Curie** - wybitny fizyk i chemik, żyjąca i pracująca we Francji, pierwsza kobieta będąca profesorem Sorbony, współtwórczyni nauk o promieniotwórczości, autorka pionierskich prac z fizyki i chemii jądrowej, jedyna osoba która otrzymała dwa razy nagrodę Nobla i jednocześnie matka innej noblistki Ireny Curie. Jedyna kobieta pochowana we francuskim Panteonie.

Najprawdopodobniej najszlachetniejsza  
kobieta naukowiec na świecie.





Kongres Solvaya, 1927 rok. *Od lewej ku prawej – stoją:* A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, E. Herzen, T. de Donder, E. Schroedinger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin. *Siedzą w środkowym rzędzie:* P. Debye, M. Knudsen, W.L. Bragg, H.A. Kramers, P.A.M. Dirac, A.H. Compton, L.V. de Broglie, M. Born, N. Bohr. *W pierwszym rzędzie:* I. Langmeir, M. Planck, M. Curie, H. A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, C.E. Guye, C.T.R. Wilson, O.W. Richardson.



## Szeregi promieniotwórcze

Wśród pierwiastków występujących w przyrodzie wyróżniamy **szeregi promieniotwórcze:**

### **naturalne**

- **szereg uranowo-radowy**, od izotopu uranu 238,
- **szereg uranowo-aktynowy**, od izotopu uranu 235,
- **szereg torowy**, od izotopu toru 232.

### **sztuczny**

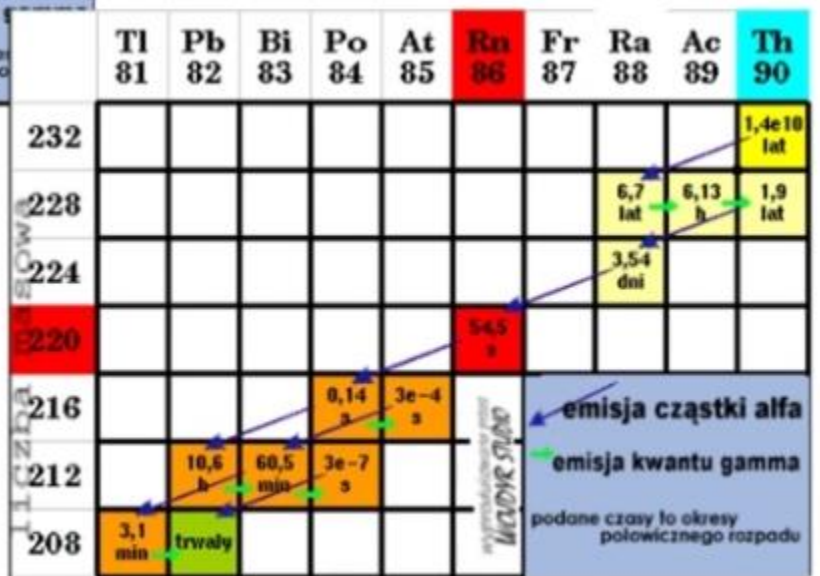
- **szereg neptunowy**, od izotopu neptunu 237.

Każdy szereg promieniotwórczy rozpoczyna się nuklidem stosunkowo trwałym, znikającym znacznie wolniej niż inne nuklidy stanowiące pozostałe ogniwa szeregu. Szeregi kończą się nuklidami nie promieniotwórczymi.



**Legenda**  
 ← emisja cząstki alfa  
 → emisja kwantu gamma  
 podane czasy to okresy połowicznego

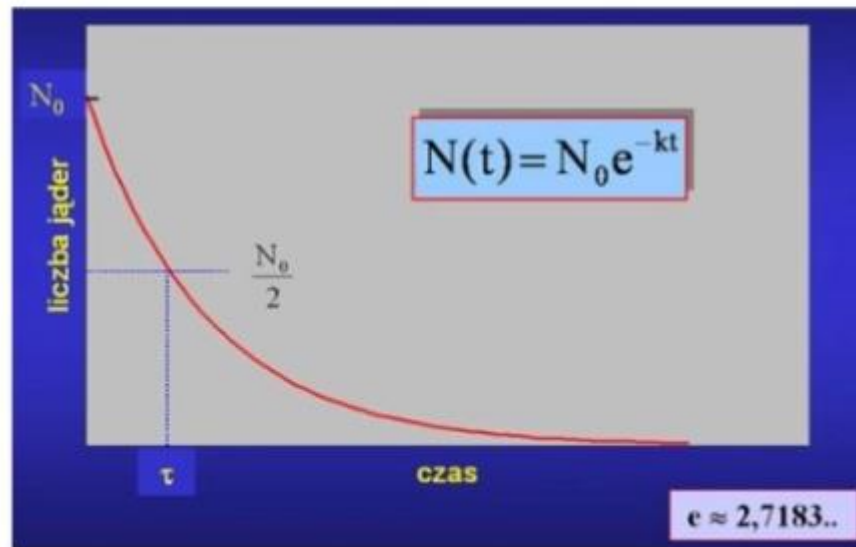
naturalne  
 uranowo - radowy:  $^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{206}_{82}\text{Pb}$   
 uranowo - aktynowy:  $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{207}_{82}\text{Pb}$   
 torowy:  $^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow ^{208}_{82}\text{Pb}$   
 sztuczny  
 neptunowy:  $^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow ^{209}_{83}\text{Bi}$



← emisja cząstki alfa  
 → emisja kwantu gamma  
 podane czasy to okresy połowicznego rozpadu

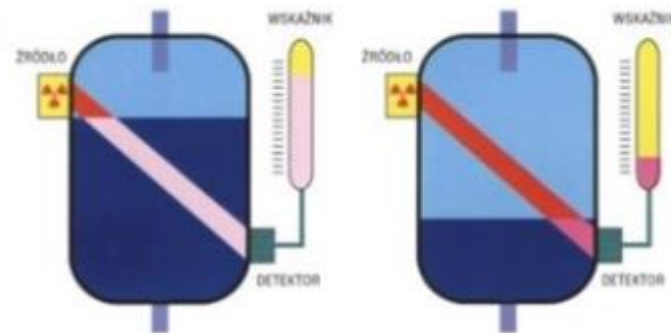
Współczynnik proporcjonalności  $k$  nazywany jest stałą szybkości rozpadu promieniotwórczego. Jeżeli przyjmiemy, że w chwili  $t=0$  liczba jąder promieniotwórczych wynosiła  $N_0$  to można rozwiązać równanie i znaleźć funkcję, która je spełnia:

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



Czas połowicznego rozpadu, jako czas  $\tau$  po którym z  $N_0$  jąder ulegających rozpadowi pozostanie połowa ( $N_0/2$ ).

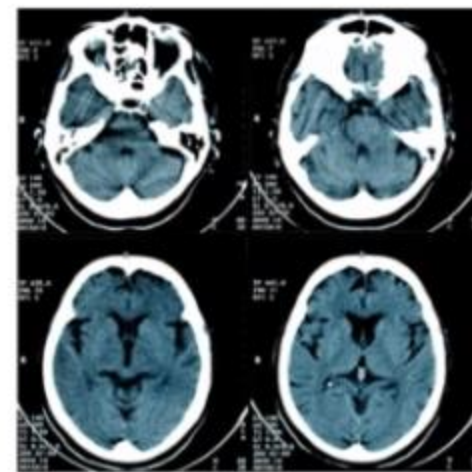
- **Przemysł:** defektoskopia izotopowa - wykrywanie nieszczelności i wad w elementach konstrukcyjnych, mierniki poziomu cieczy - czujniki poziomu minimum i maximum, mierniki grubości materiałów - dokładny pomiar grubości materiałów jednorodnych, pomiar grubości powłok jednego materiału na drugim, zastosowanie atomów znaczonych - przedmiot lub pierwiastek, który jest przedmiotem badania zostaje oznaczony izotopem promieniotwórczym co umożliwia dokładną rejestrację w dowolnym etapie badanego procesu.





## Zastosowanie promieniotwórczości

- **Medycyna** - tomografia komputerowa - metoda uwidaczniania warstw ciała ludzkiego. Zjawiskiem fizycznym odpowiedzialnym za powstawanie obrazu jest pochłanianie promieniowania rentgenowskiego. W zależności od gęstości tkanki stopień pochłaniania jest różny, stąd też wynikają różnice w zacieleniu poszczególnych struktur organizmu. Inaczej wyglądają tkanki zawierające powietrze (płuca, jamy oboczne nosa, gaz w przewodzie pokarmowym), a inaczej narządy tj. np. wątroba  
Najsilniej promieniowanie pochłaniają kości, zwapnienia i zęby.  
Patologiczne struktury w obrębie tkanki różnią się stopniem pochłaniania promieniowania, co pozwala na ich zobrazowanie.





- Diagnostyka rentgenowska - mimo szkodliwości promieni jonizujących, zdjęcia rentgenowskie są wykonywane stosunkowo często. Jest to metoda ogólnie dostępna. Dzięki promieniom rtg możliwe jest obrazowanie, a więc i ocena kości, stąd duża przydatność tej metody w leczeniu urazów.



**Leczenie radiojodem** – w leczeniu niektórych chorób tarczycy stosuje się tak zwany radiojod (izotop promieniotwórczy jodu  $^{131}\text{I}$ ).

Wykorzystuje się w tym wypadku charakterystyczną właściwość tkanki tarczycowej - zdolność gromadzenia jodu. Prawie całość podanego lub spożytego w pokarmach i wodzie jodu, szybko jest wychwytywane przez tkankę tarczycową.

Tak samo dzieje się z izotopem jodu promieniotwórczego. Jest to wykorzystywane w rozpoznawaniu i leczeniu chorób tarczycy





## **ELEKTROWNIE JĄDROWE (ATOMOWE)**

Elektrownia jądrowa – obiekt przemysłowo-energetyczny (elektrownia ciepłna), wytwarzający energię elektryczną poprzez wykorzystanie energii pochodzącej z rozszczepienia jąder atomów, najczęściej uranu (uranu naturalnego lub nieco wzbogaconego w izotop  $^{235}\text{U}$ ), w której ciepło konieczne do uzyskania pary wodnej, jest otrzymywane z reaktora jądrowego.

### Zalety:

- produkują 1/6 całej energii elektrycznej na świecie;
- technologia czysta ekologicznie, brak emisji  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,
- bardzo mała masa paliwa (łatwy transport);

### Wady:

- brak akceptacji społecznej;
- problem ze składowaniem wypalonego paliwa.





AGH

### Moc reaktorów jądrowych w MW

