

# Datowanie luminescencyjne

*Alicja Chruścińska*



***Instytut Fizyki  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
Toruń***

## Datowanie luminescencyjne

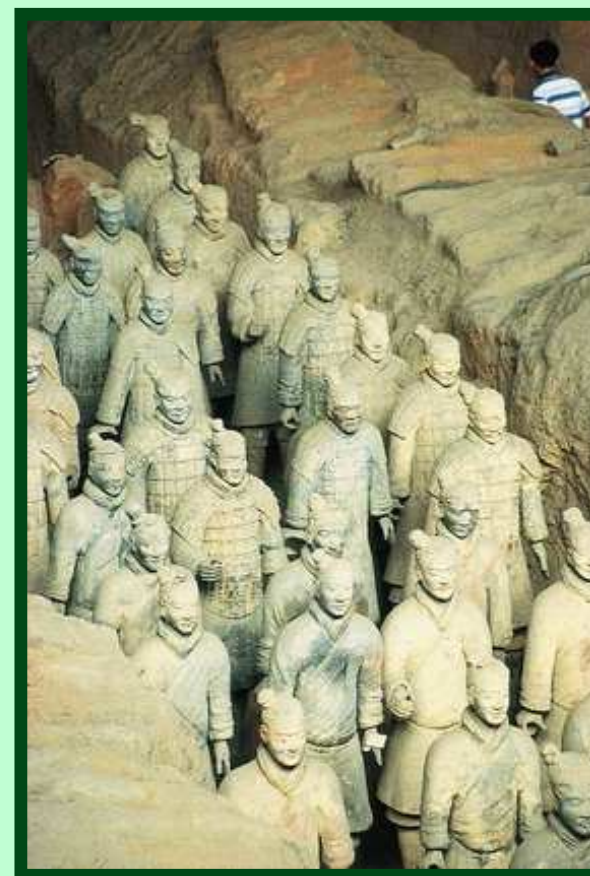
- Do czego może się przydać?
- Podstawowy model stymulowanej luminescencji
- Zasada datowania luminescencyjnego
- Dawka roczna – główne problemy
- Ciekawe wyzwania



*Instytut Fizyki  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika  
Toruń*

## Do czego może się przydać?

### Datowanie ceramiki archeologicznej

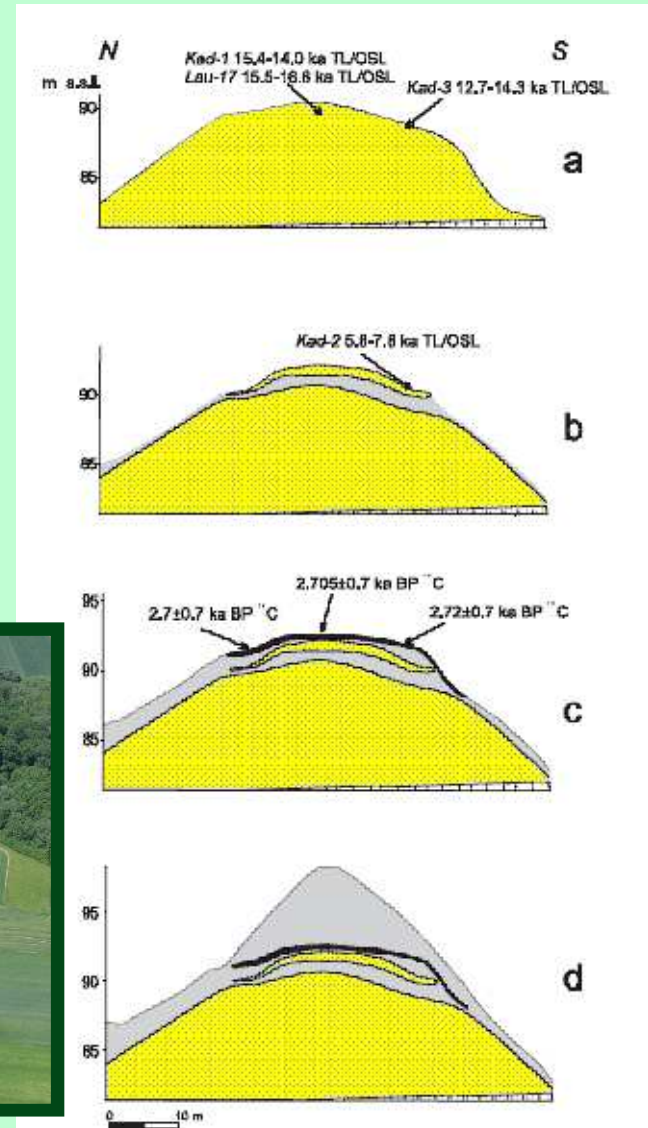


### Datowanie luminescencyjne



# Do czego może się przydać?

## Datowanie czwartorzędowych osadów geologicznych



Datowanie luminescencyjne



## Do czego może się przydać?

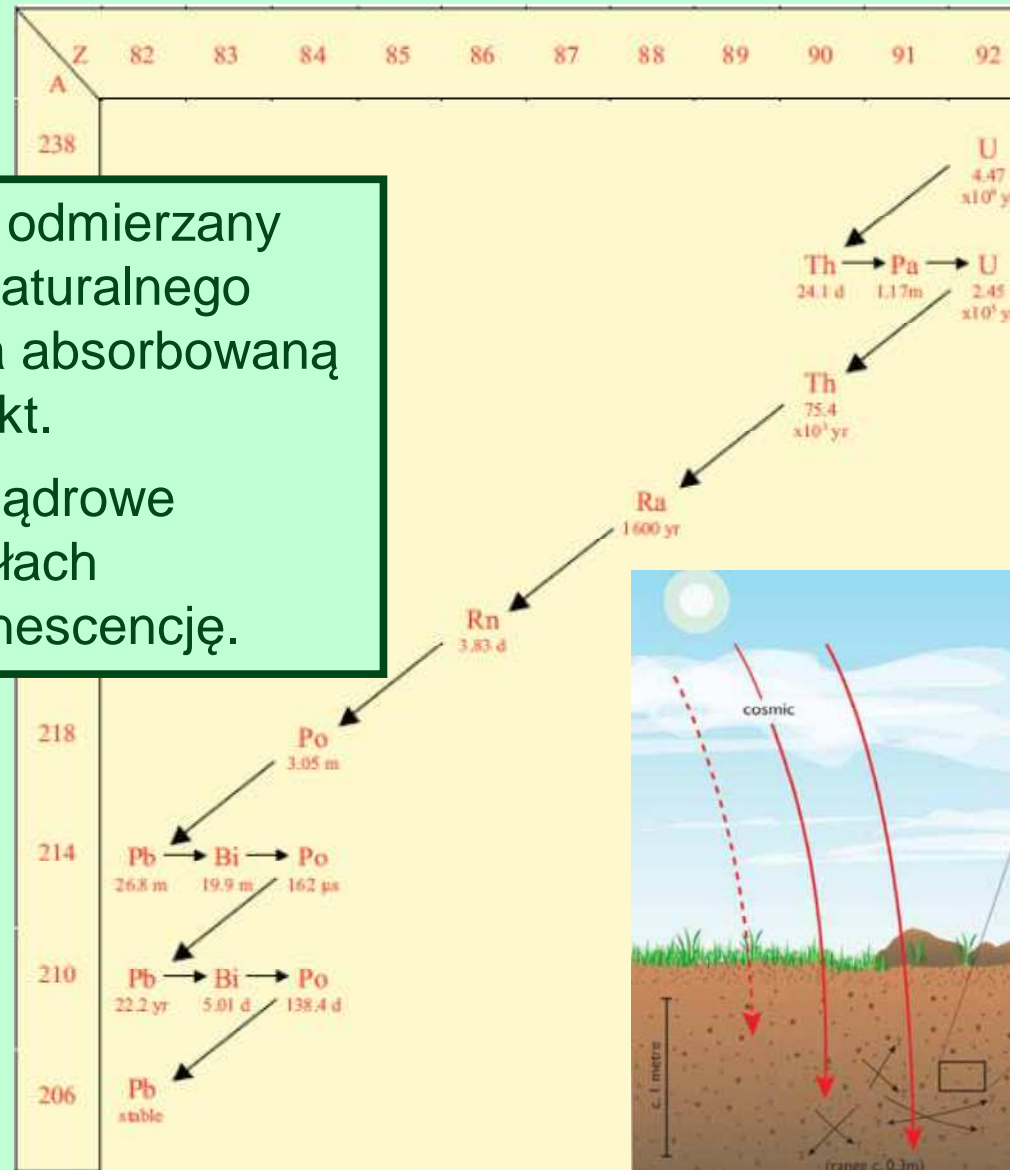
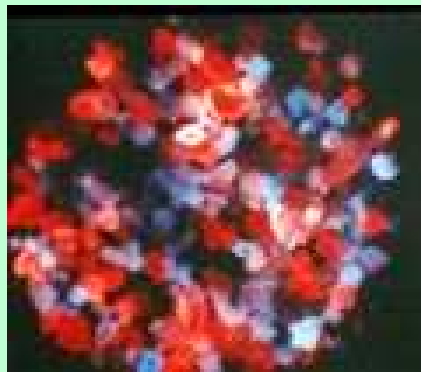
Z	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
A											
	238										U



Datowanie luminescencyjne

# Do czego może się przydać?

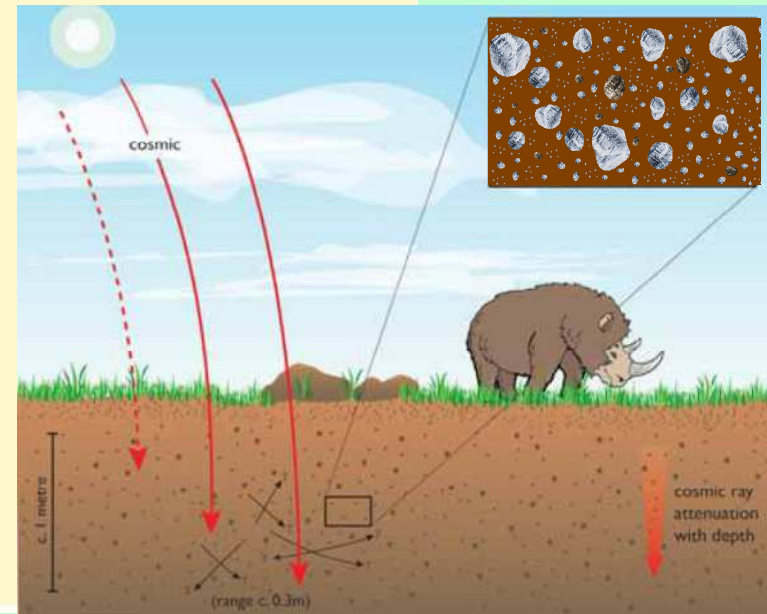
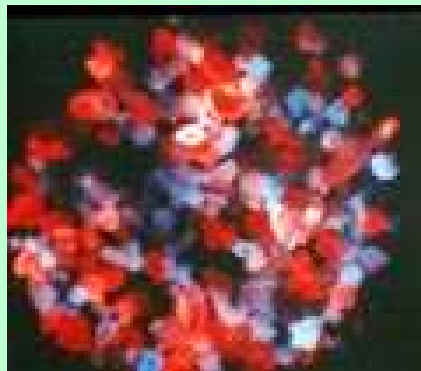
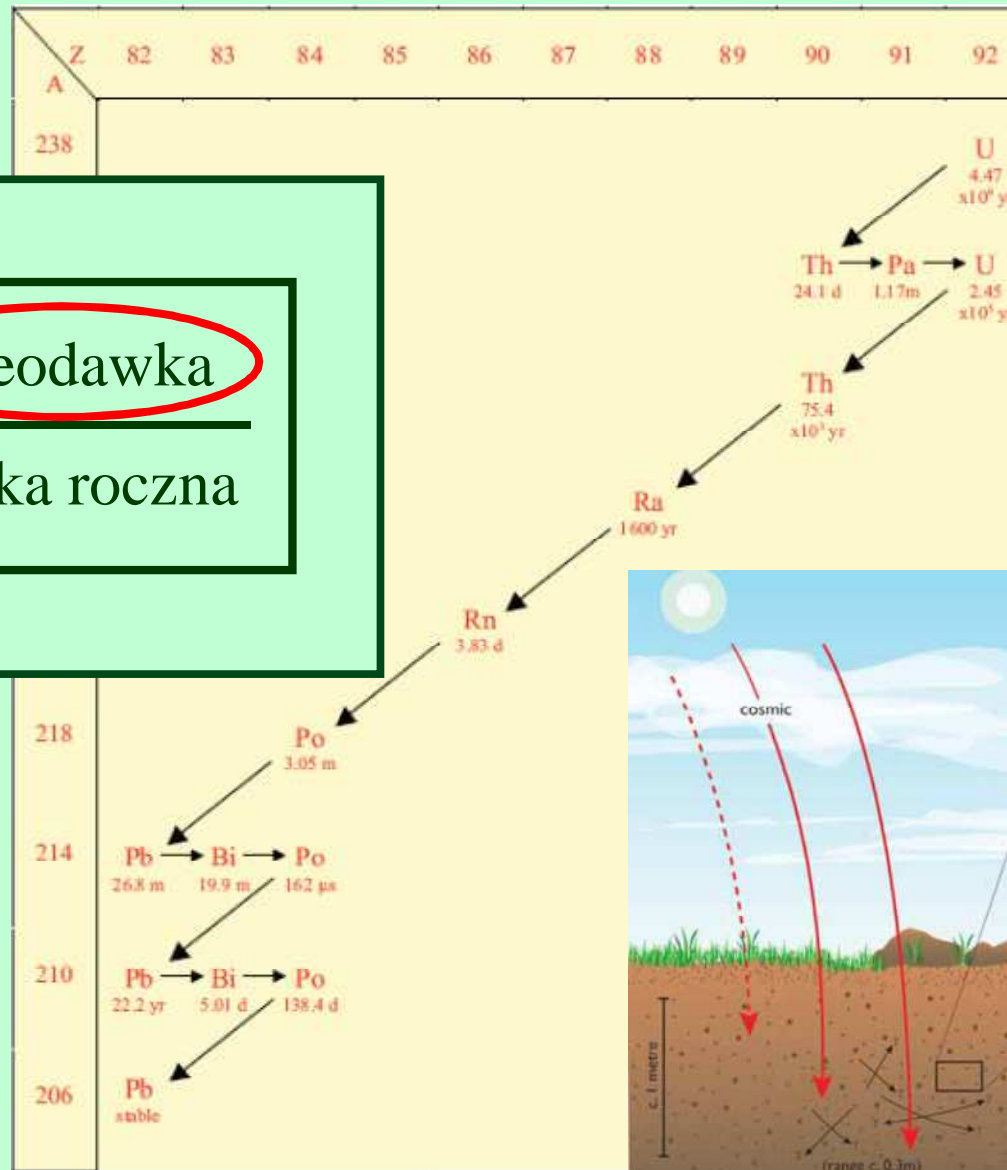
- Upływ czasu jest odmierzany wielkością dawki naturalnego promieniowania tła absorbowaną przez badany obiekt.
- Promieniowanie jądrowe generuje w minerałach stymulowaną luminescencję.



Datowanie luminescencyjne

# Do czego może się przydać?

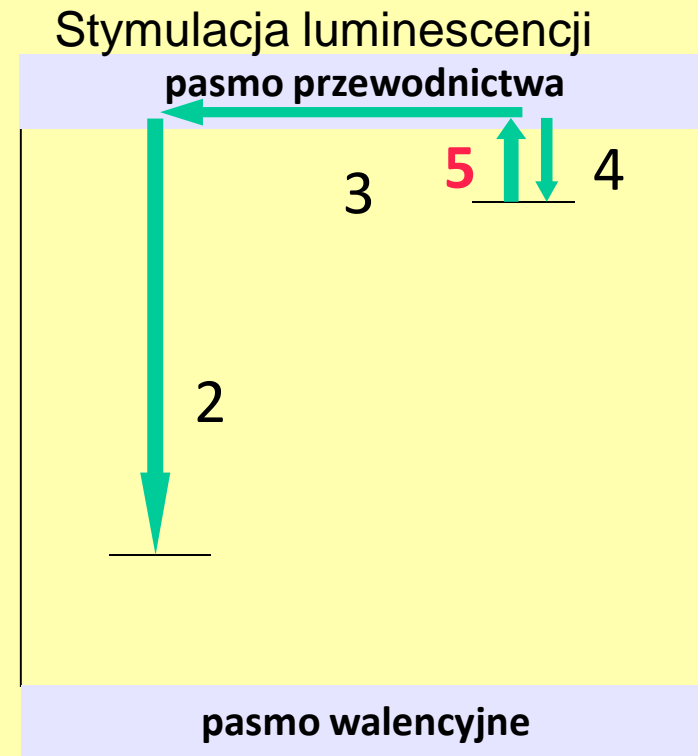
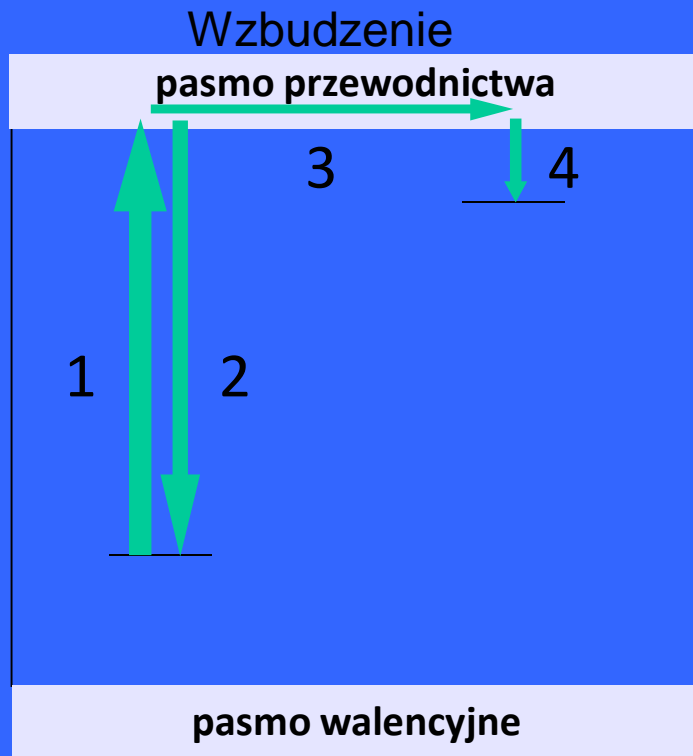
$$\text{wiek} = \frac{\text{paleodawka}}{\text{dawka roczna}}$$



Datowanie luminescencyjne



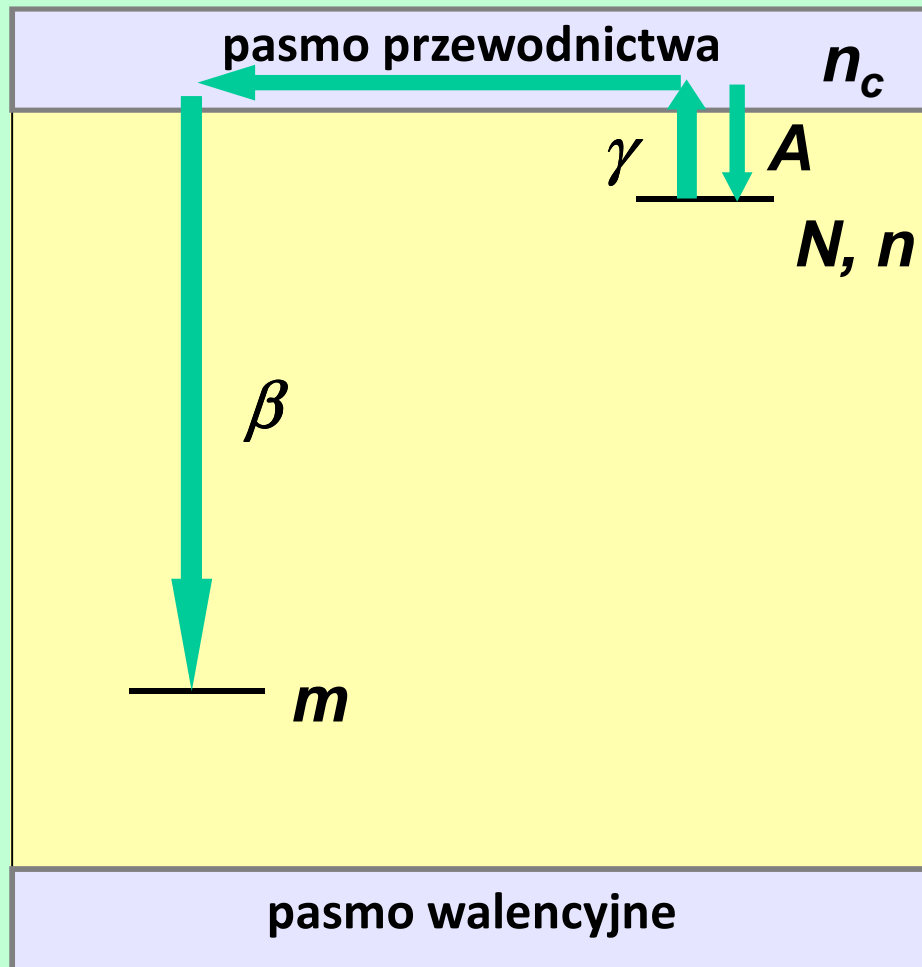
# Podstawowy model stymulowanej luminescencji



- 1 – wzbudzenie przez promieniowanie
- 2 – rekombinacja promienista na centrum luminescencyjnym
- 3 – transport w paśmie przewodnictwa
- 4 – pułapkowanie
- 5 – stymulacja luminescencji

Datowanie luminescencyjne

# Podstawowy model stymulowanej luminescencji



$$\frac{dn}{dt} = -f n + A(N - n)n_c;$$

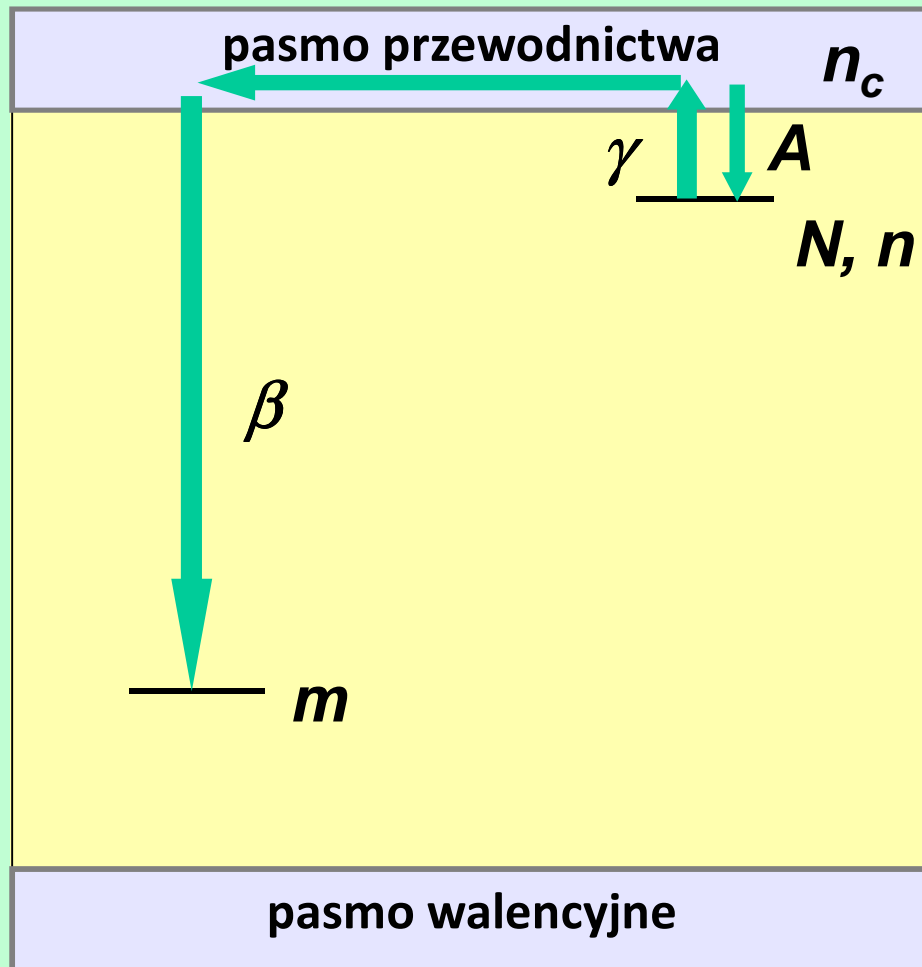
$$\frac{dm}{dt} = -\beta m n_c;$$

$$\frac{dn_c}{dt} = f n - A(N - n)n_c - \beta m n_c;$$

i warunki początkowe

$$I(t) = -\frac{dm}{dt}$$

# Podstawowy model stymulowanej luminescencji



Stymulacja

$$\frac{dn}{dt} = -f n + A(N - n)n_c;$$

$$\frac{dm}{dt} = -\beta m n_c;$$

$$\frac{dn_c}{dt} = f n - A(N - n)n_c - \beta m n_c;$$

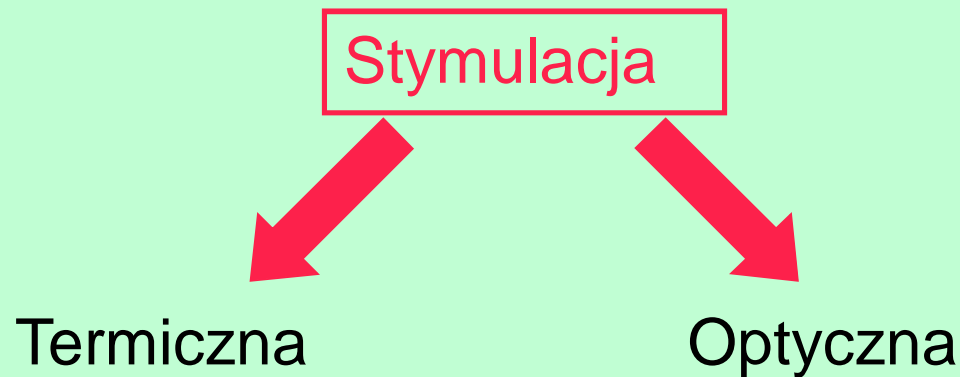
i warunki początkowe

$$I(t) = -\frac{dm}{dt}$$

Datowanie luminescencyjne



## Podstawowy model stymulowanej luminescencji



TL - termoluminescencja:

$$f = s \exp(-E_T/kT)$$

$E_T$  – termiczna głębokość pułapki

$s$  – czynnik częstościowy

$T$  - temperatura

OSL - optycznie stymulowana luminescencja:

$$f = f \sigma (E_T, h\nu, T)$$

$\sigma$  – optyczny przekrój czynny

$\phi$  – strumień fotonów stymulacji

**TL i OSL wykorzystywane są do badania stanów pułapkowych**  
parametry wyróżniające pułapkę:

TL – ( $E_T, s$ )

OSL –  $\sigma$

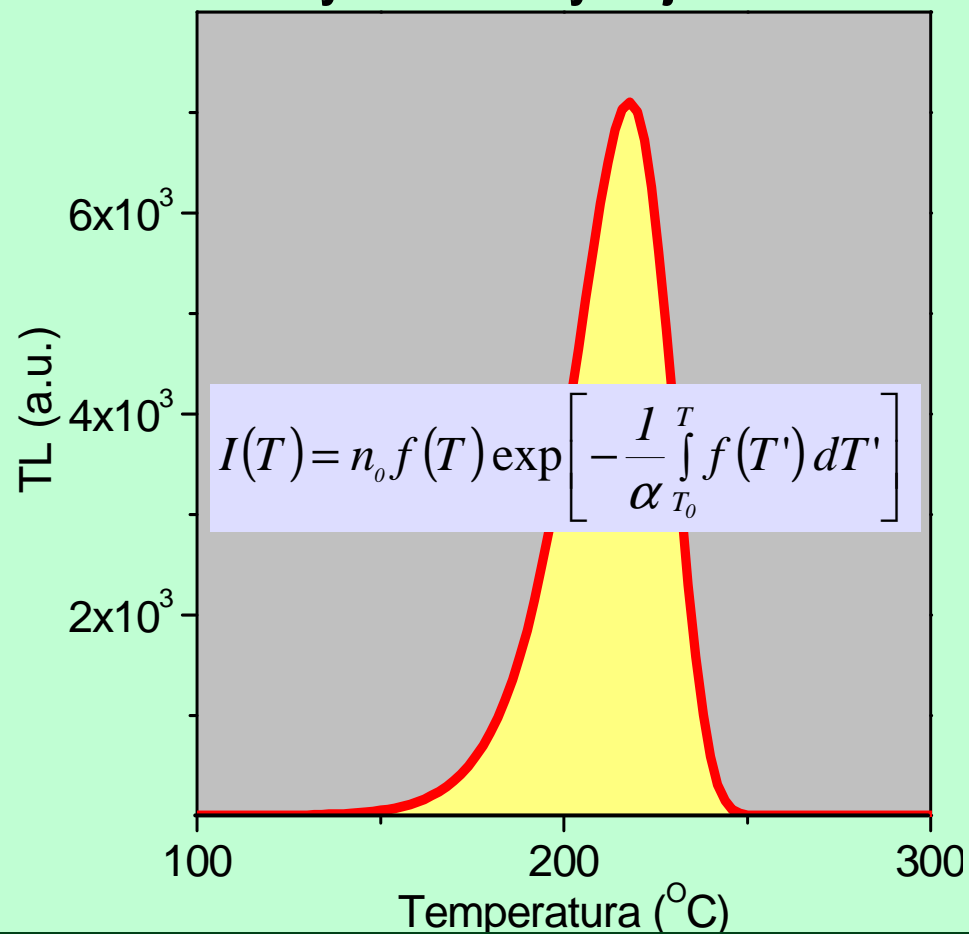
Datowanie luminescencyjne

# Podstawowy model stymulowanej luminescencji

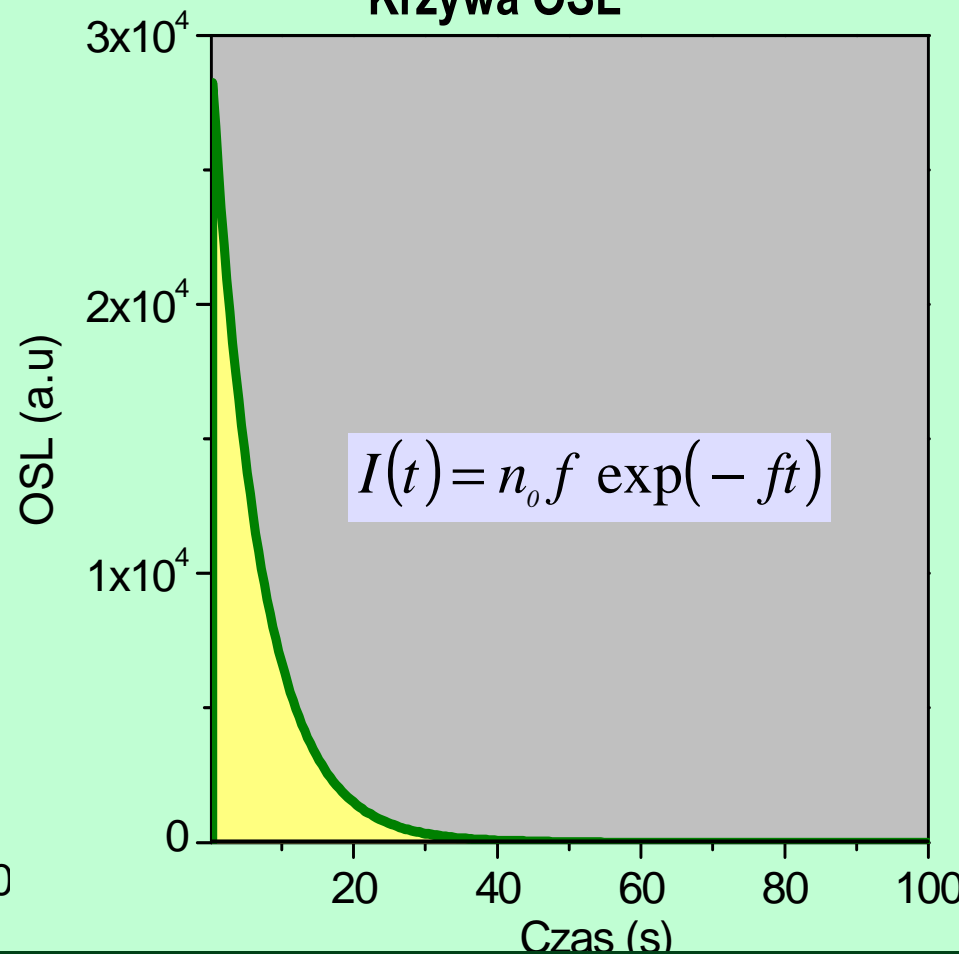
$$I(t) = -\frac{dm}{dt}; \quad f = s \exp\left(-\frac{E}{kT}\right); \quad T = T_0 + \alpha t$$

$$I(t) = -\frac{dm}{dt}; \quad f = \phi \sigma = \text{const}$$

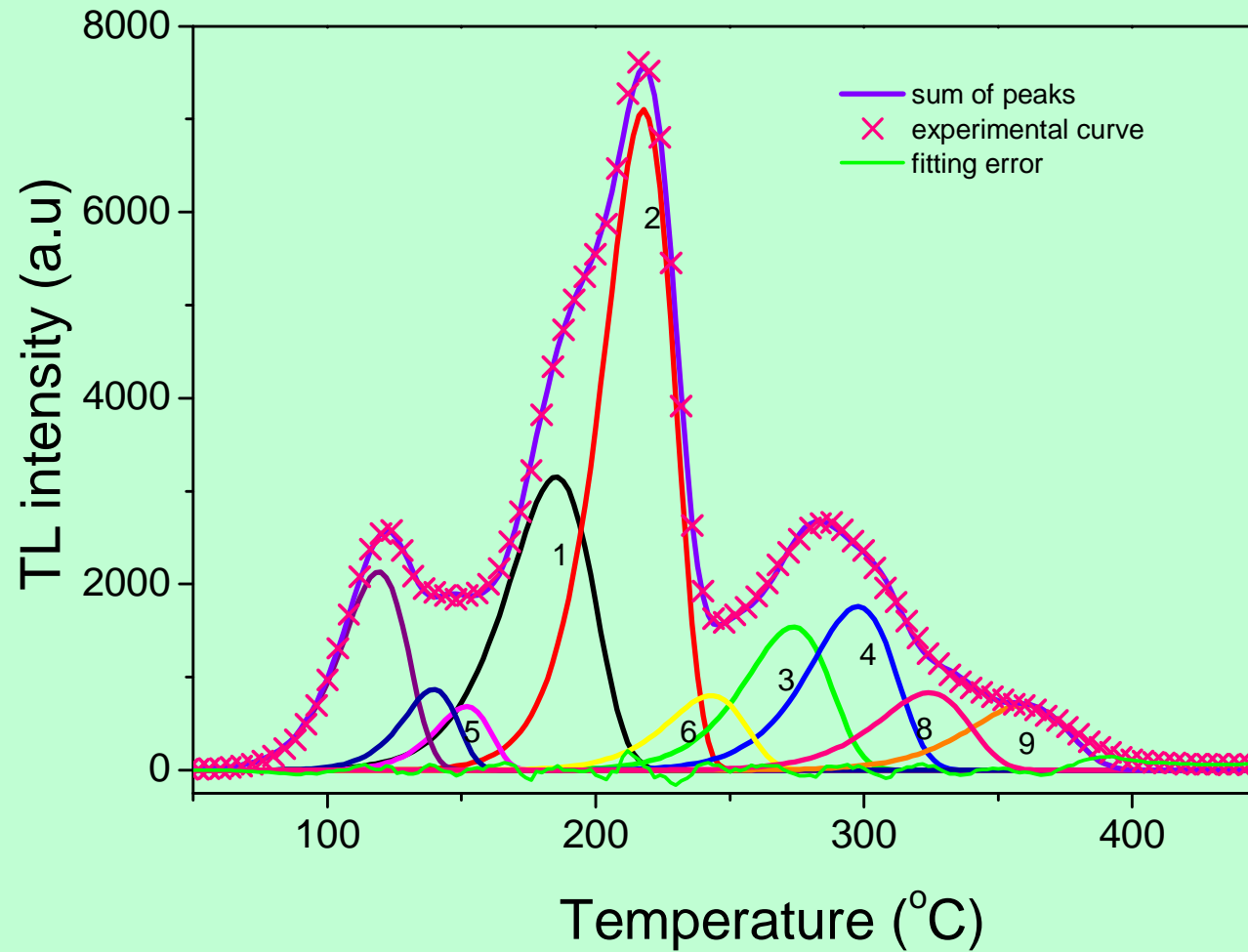
## Krzywa TL - krzywa jarzenia



## Krzywa OSL

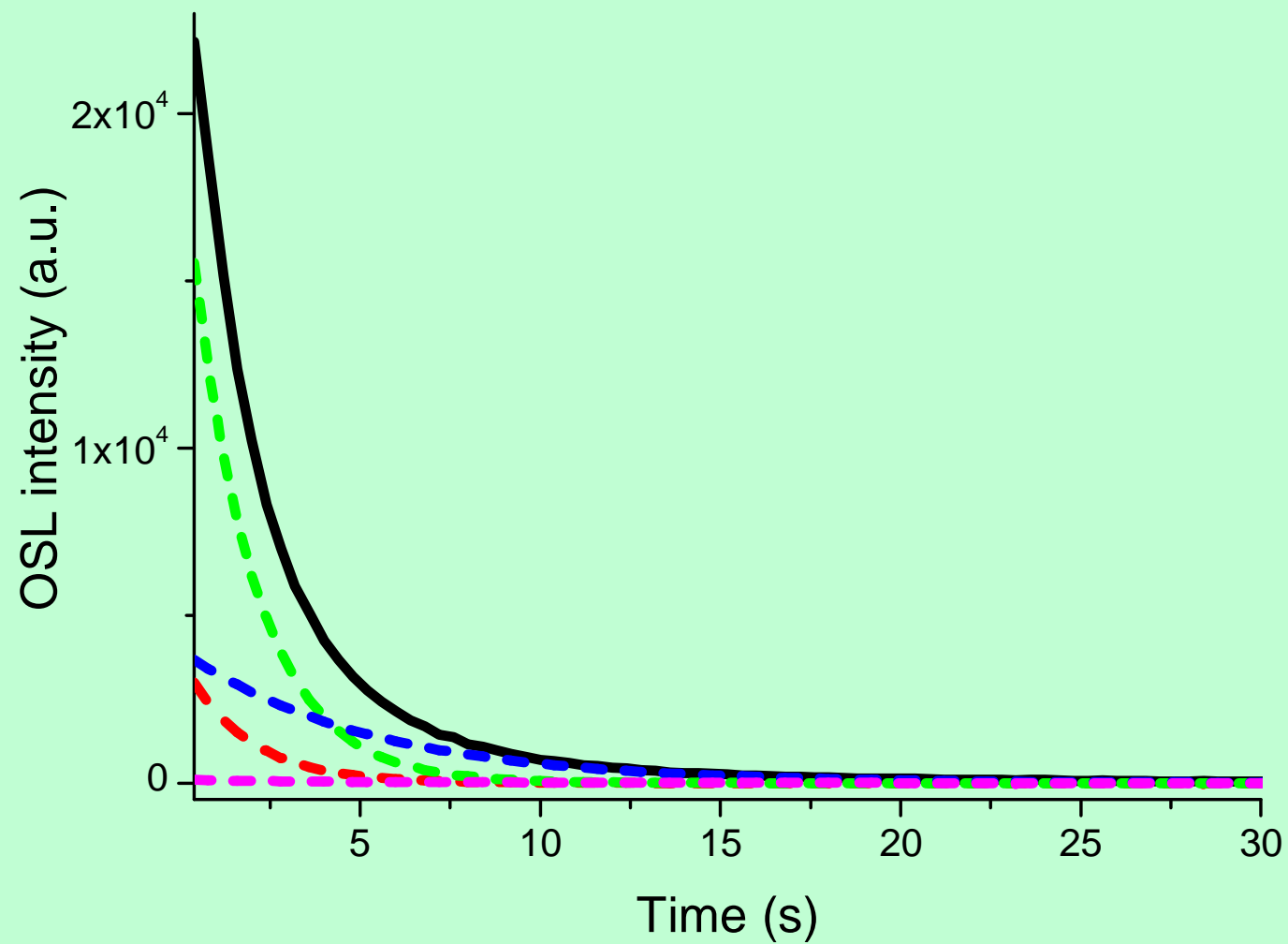


## TL kwarcu



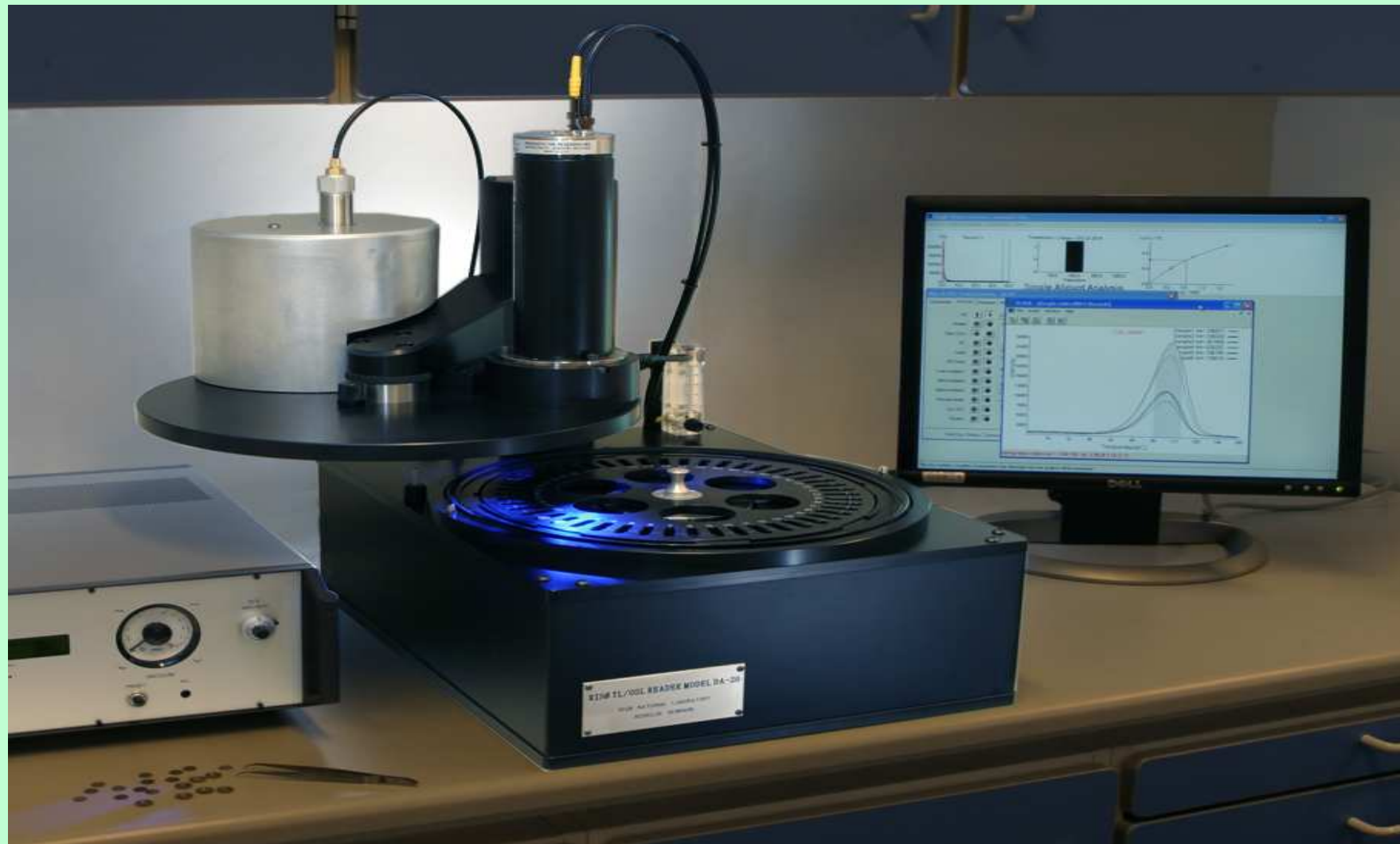


OSL kwarcu



# Podstawowy model stymulowanej luminescencji

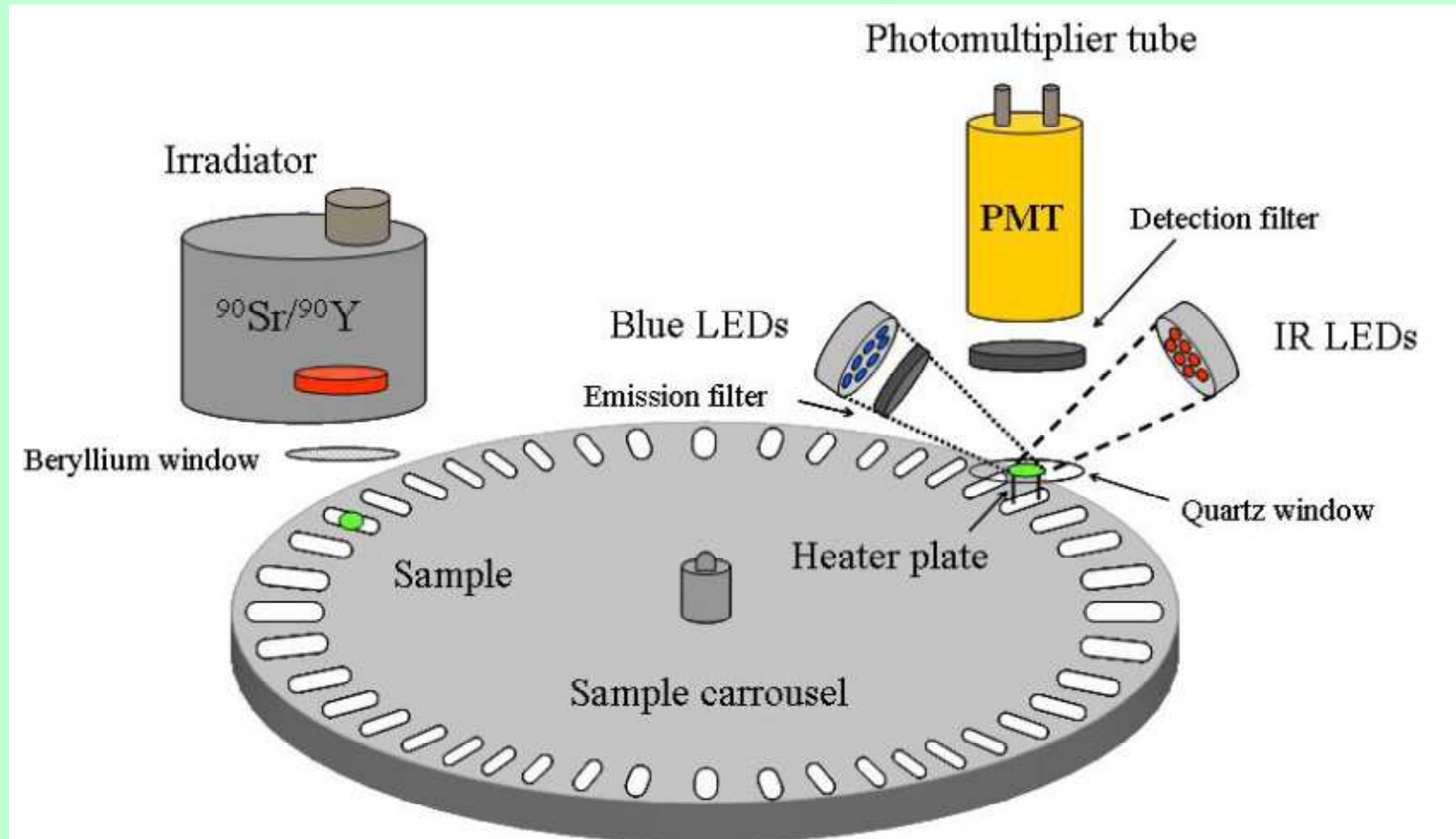
## Układ pomiarowy



Datowanie luminescencyjne

# Podstawowy model stymulowanej luminescencji

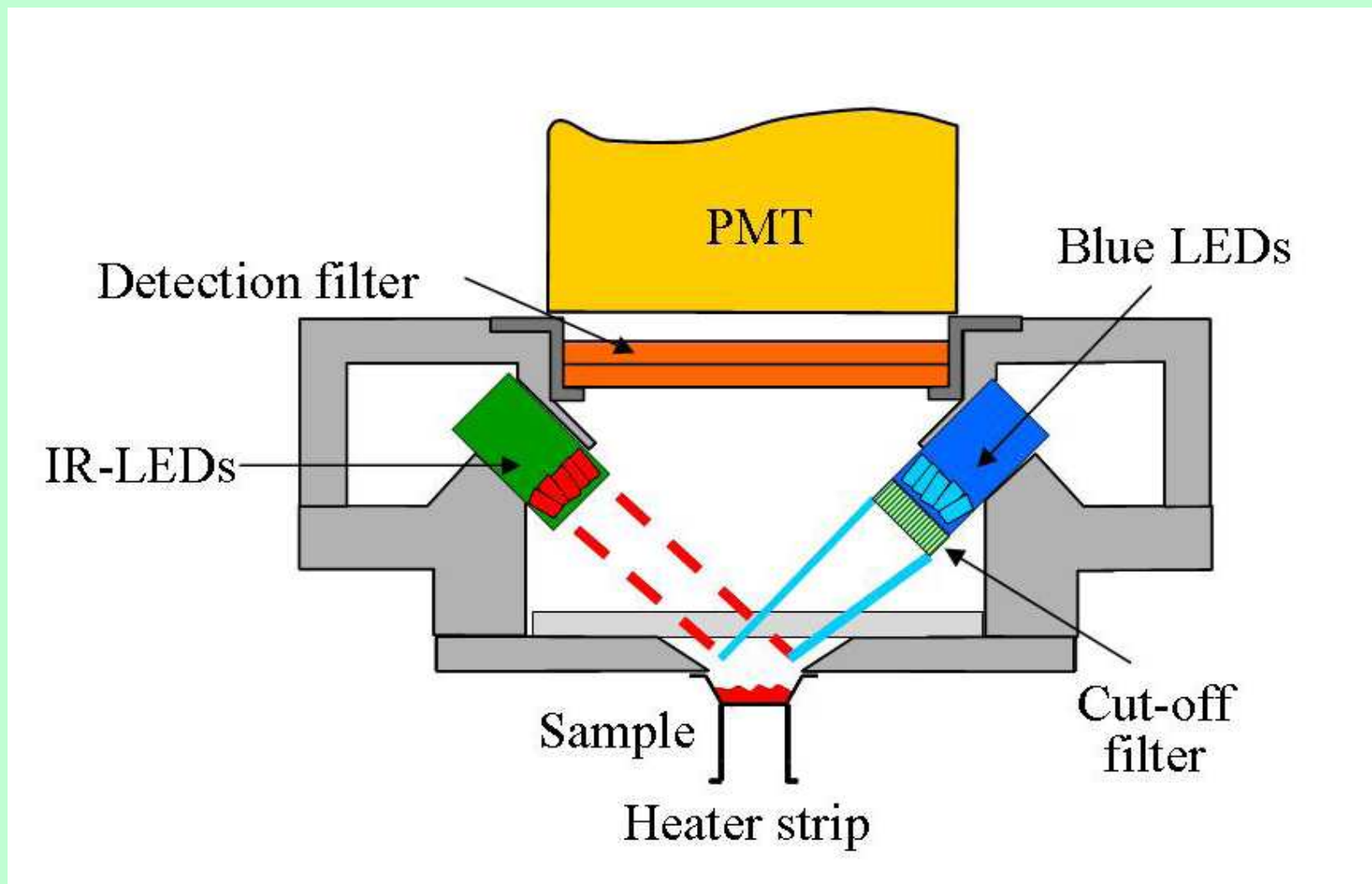
## Układ pomiarowy



Datowanie luminescencyjne

# Podstawowy model stymulowanej luminescencji

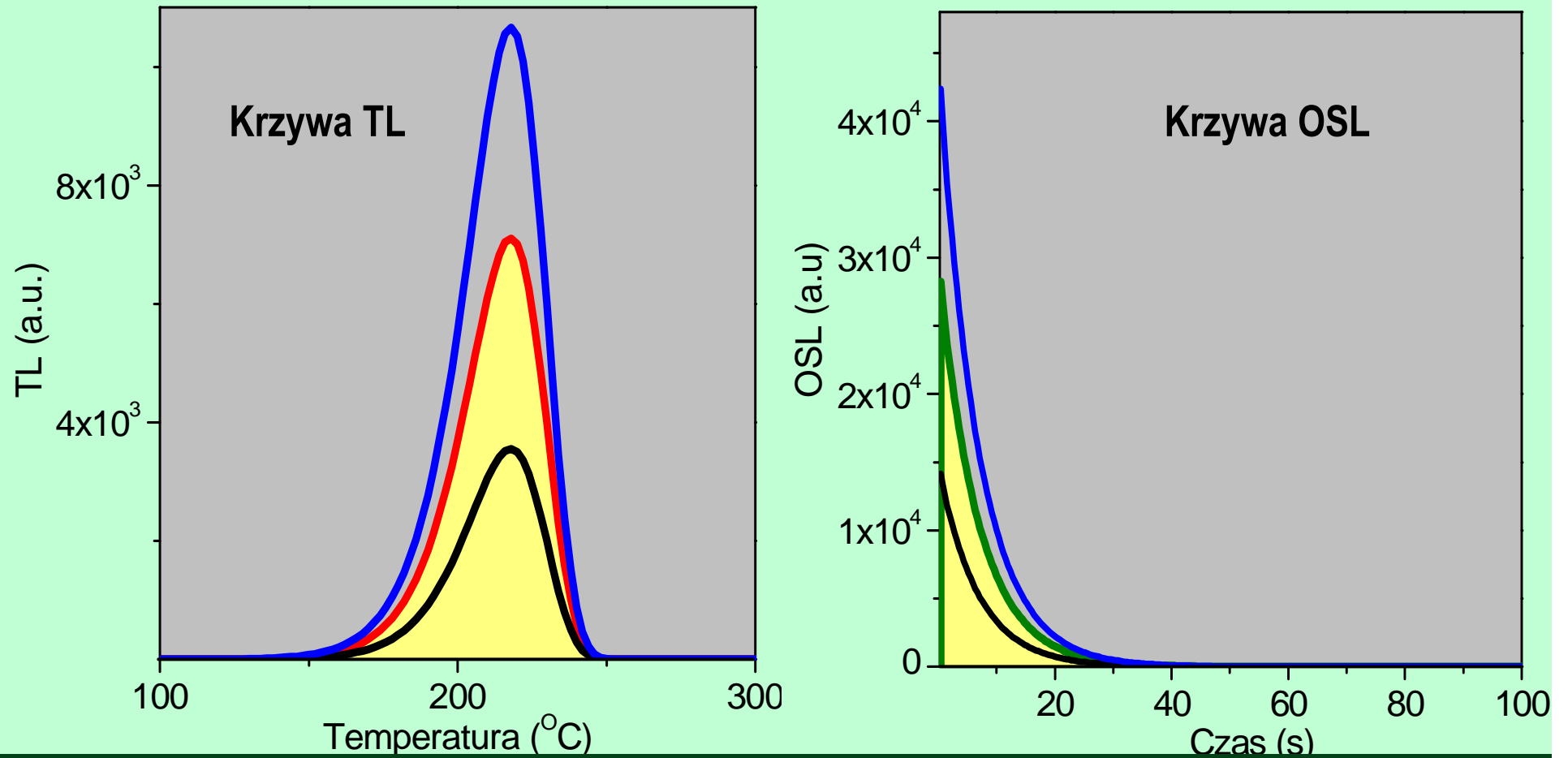
## Układ pomiarowy



Datowanie luminescencyjne

# Podstawowy model stymulowanej luminescencji

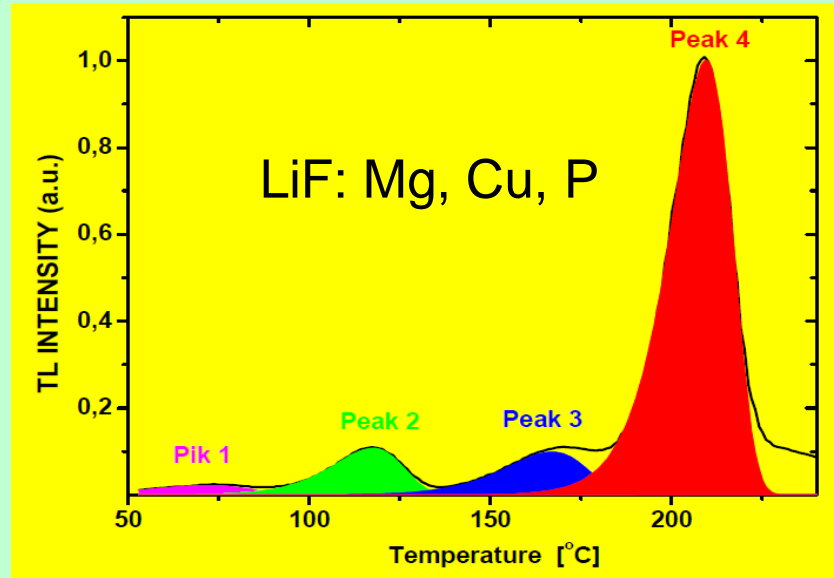
natężenie luminescencji proporcjonalne do dawki wzbudzenia



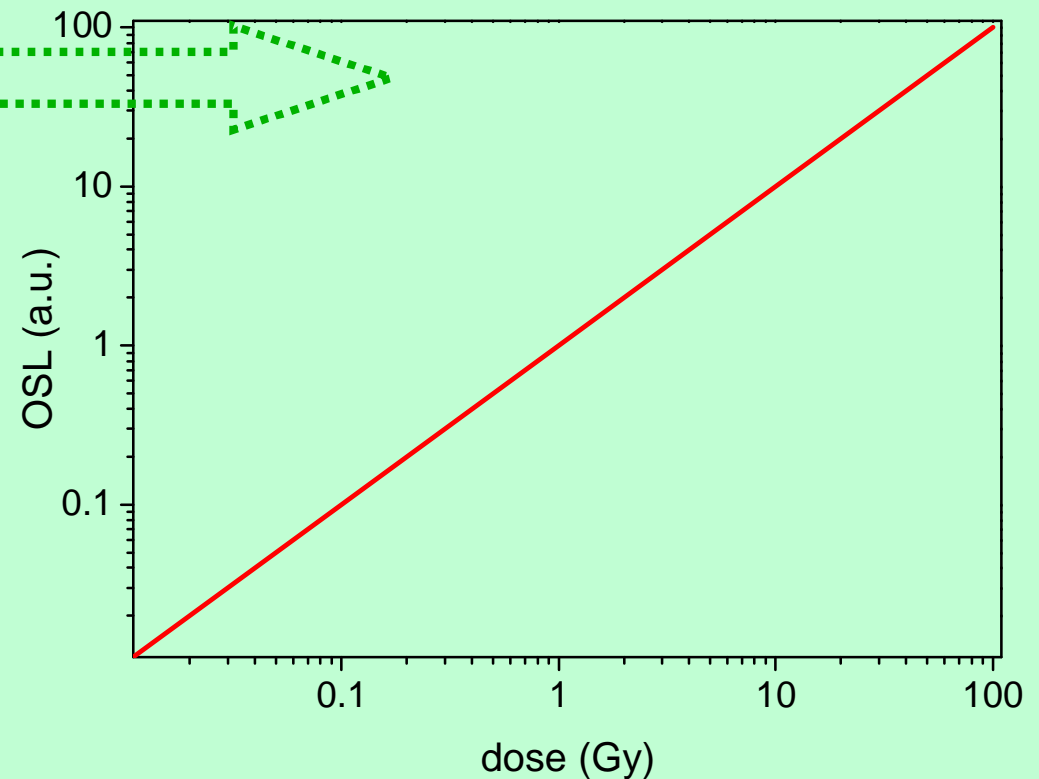
Datowanie luminescencyjne

# Podstawowy model stymulowanej luminescencji

Zakres liniowej odpowiedzi dozymetrów TL/OSL na dawkę ( $10^{-5} - 10^2$  Gy)



tzw. krzywa wzrostu



TL głównie LiF: Mg, Cu, P  
(pik około 200°C /detekcja: ~410nm)

OSL głównie Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C  
(stymulacja: 532nm /detekcja: ~410nm)



# Zastosowania

dozymetria retrospektywna

dawka retrospektywna = wiek · dawka roczna



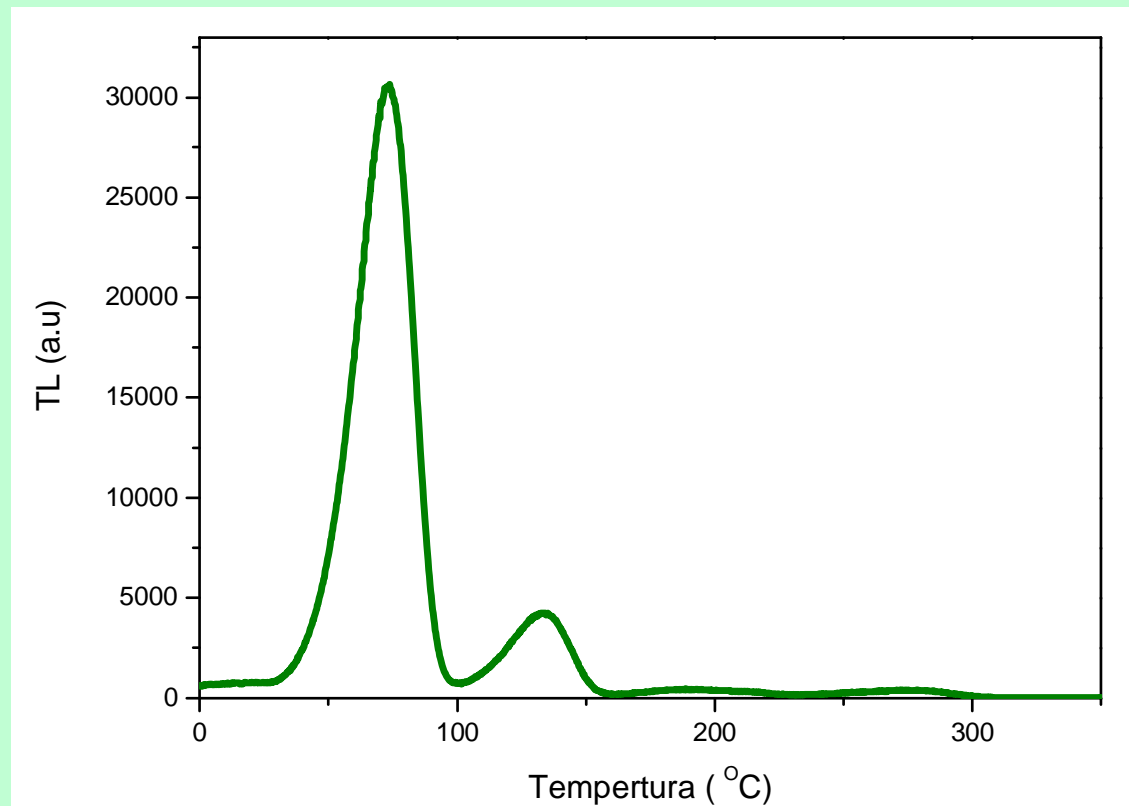
dawka retrospektywna = wiek · dawka roczna + **dawka awaryjna**



# Zastosowania

pułapki = defekty → **badania jakości kryształów**

Luminescencja stymulowana jest niepożądana w materiałach, które powinny wydajnie świecić, np. w scyntylatorach.



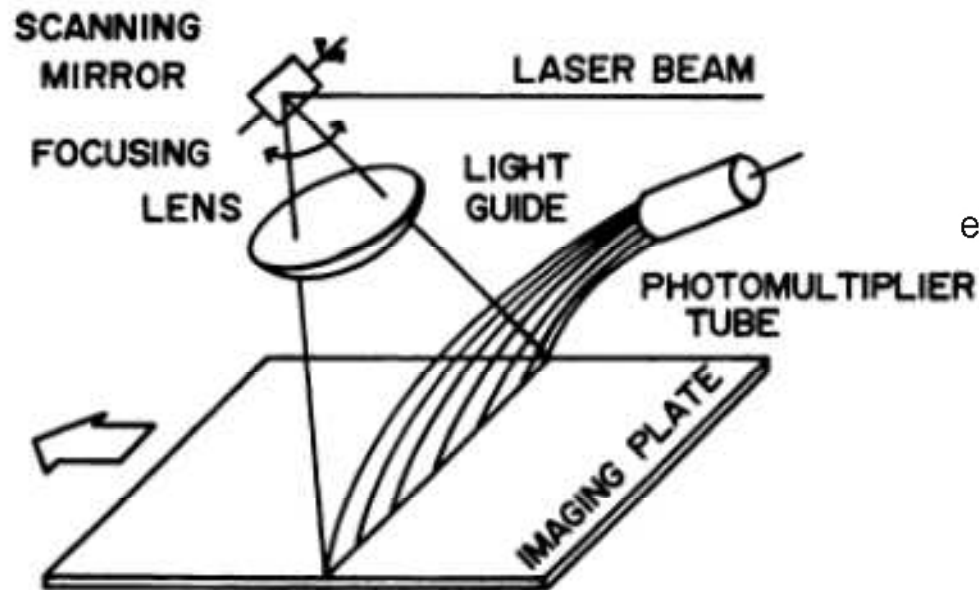
np.: S. Menon, et al., TSL, OSL and ESR studies in  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4:\text{Tb}$  phosphor *J. Lumin.* 128, (2008), 1673  
S.S. Novosad, et al., Recombination processes in the  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  scintillator, *Inorg. Mat.* 44 (2008), 515

# Zastosowania

obrazowanie → diagnostyka rentgenowska:

płytki PSP  
(Photostimulable Phosphor)

Storage



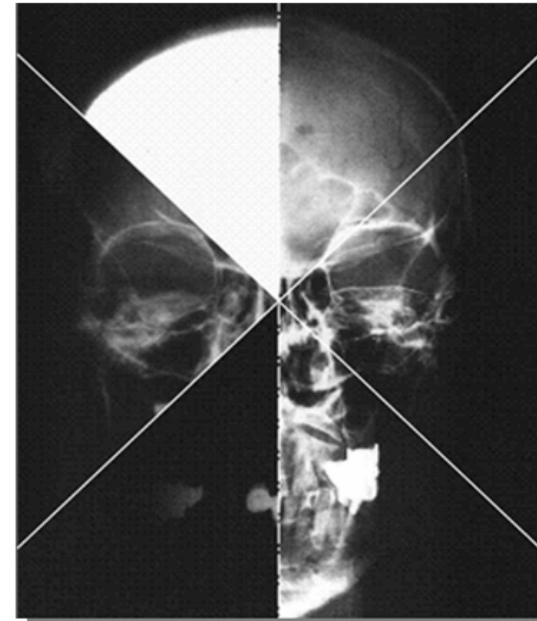
film system

storage phosphor

under-exposed

normal

over-exposed



under-exposed

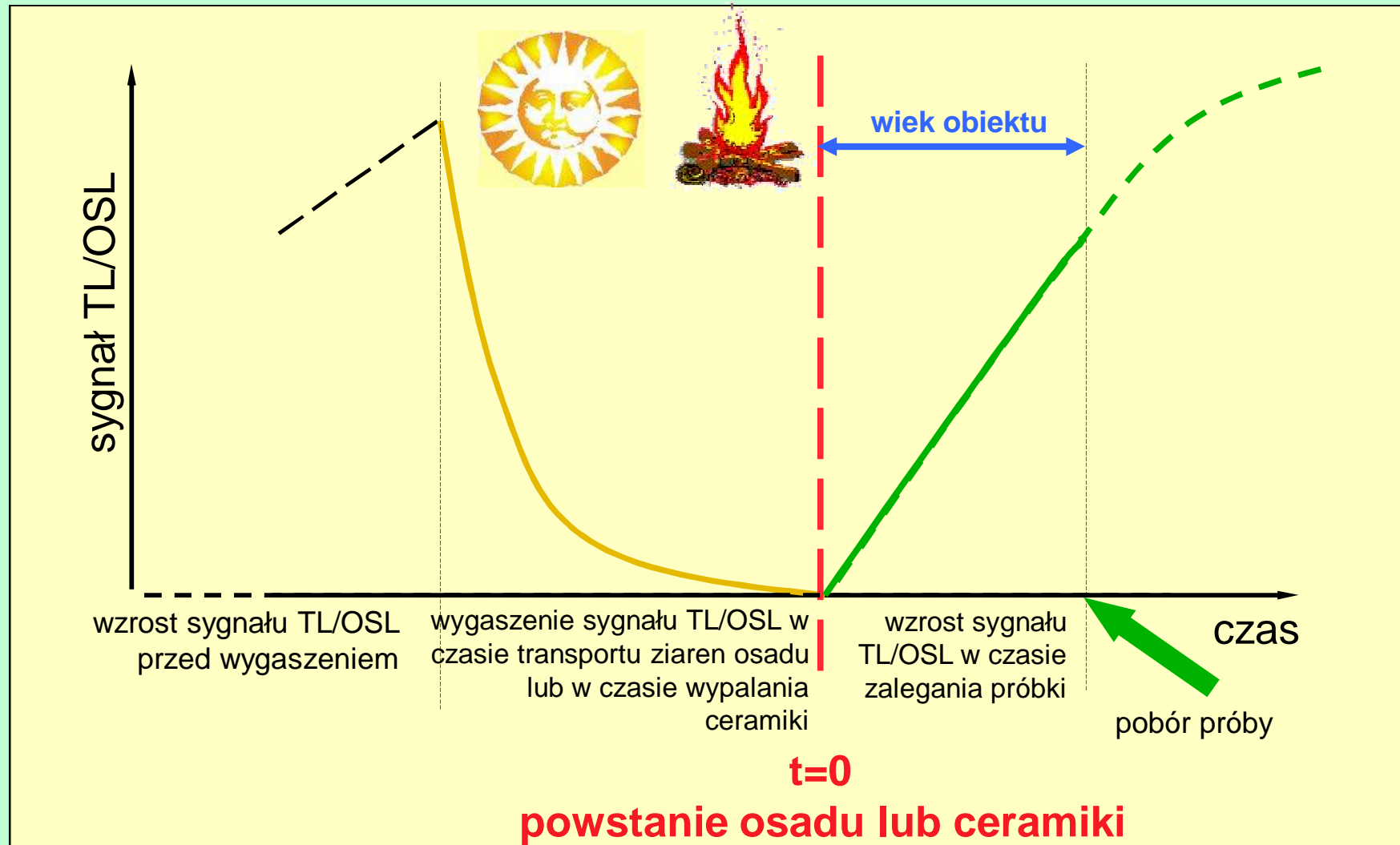
normal

over-exposed

Materiały: BaFBr:Eu<sup>2+</sup>, RbBr:Ga<sup>+</sup>,  
CsBr:Ga<sup>+</sup>, CsBr:Eu

# Zasada datowania luminescencyjnego

## Historia ziarna kwarcu

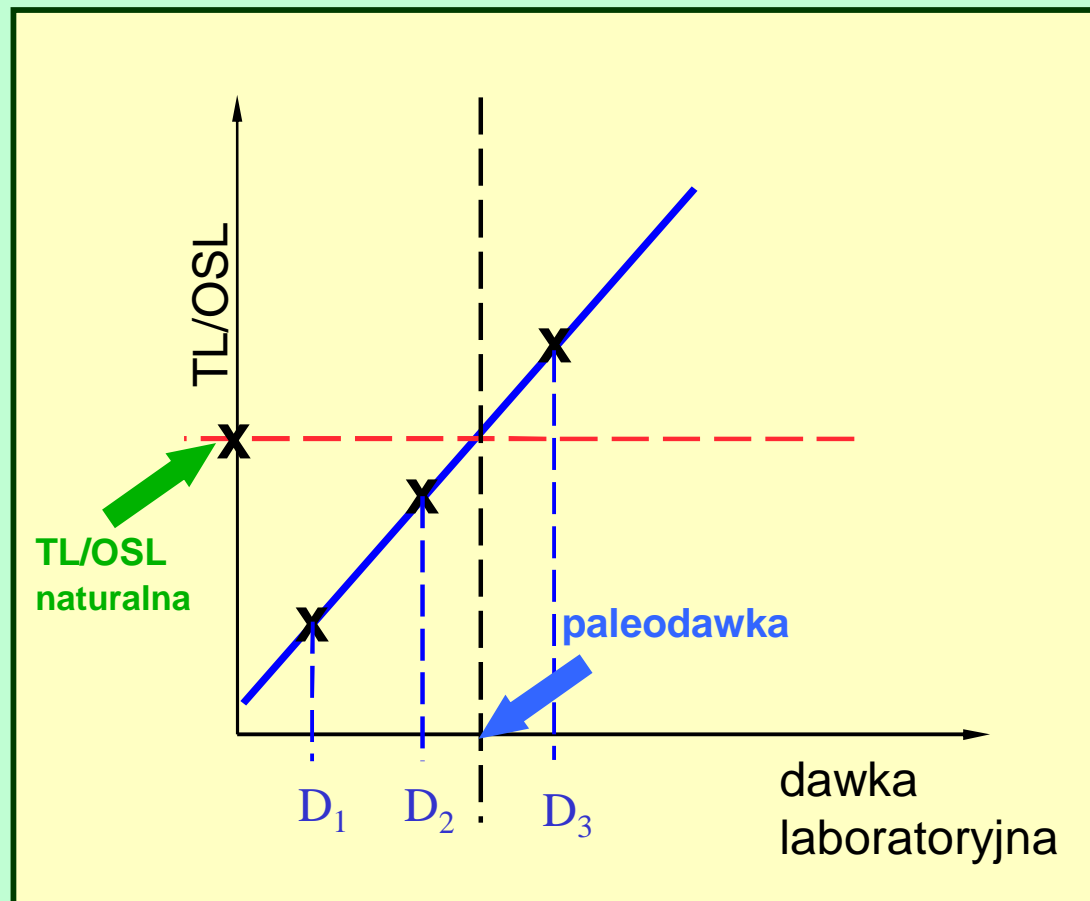


## Datowanie luminescencyjne

# Zasada datowania luminescencyjnego

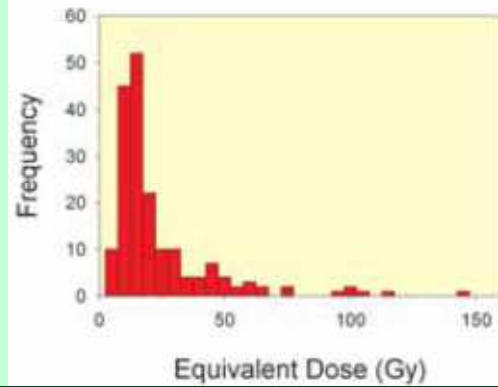
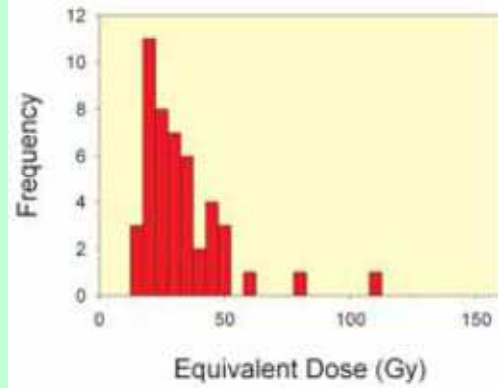
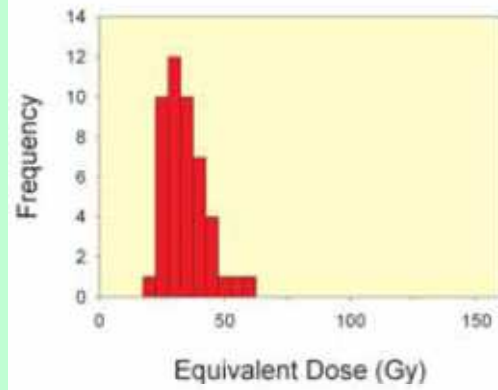
$$\text{wiek} = \frac{\text{paleodawka}}{\text{dawka roczna}}$$

TL/OSL  $\rightarrow$  paleodawka

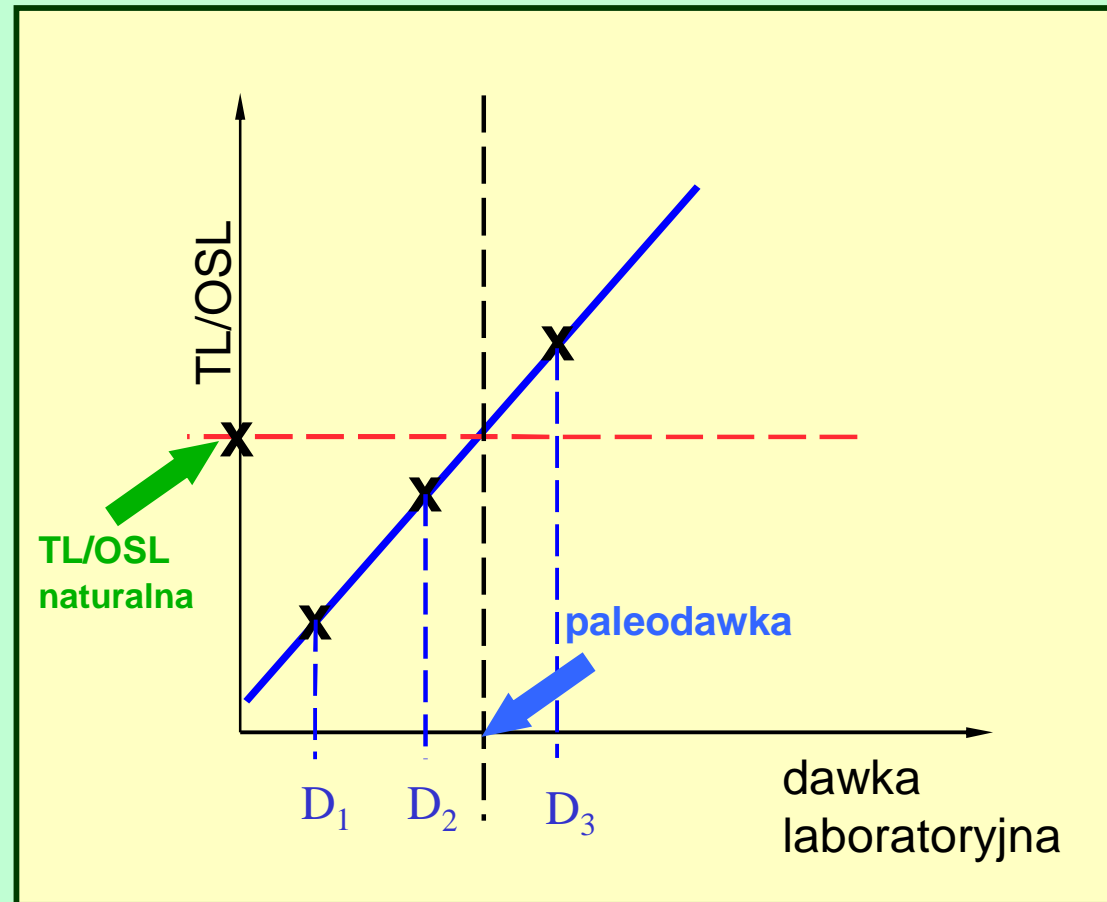


Datowanie luminescencyjne

# Zasada datowania luminescencyjnego



TL/OSL → paleodawka



Datowanie luminescencyjne



## Zasada datowania luminescencyjnego

$$\text{wiek} = \frac{\text{paleodawka}}{\text{dawka roczna}}$$

detektor germanowy XtRa GX1520  
wydajność 15%, osłona pasywna;  
analyzer wielokanałowy – Model1510  
Canberra System 100 MCA  
program do analizy widm SAMPO'90



spektrometria gamma

dawka roczna ?

dozymetria TL/OSL

## Dawka roczna

Składniki dawki rocznej dla „przeciętnej” próbki ceramiki - ziarna do 8  $\mu\text{m}$

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	razem
Potas	-	16	5	21
Rubid	-	0.5	-	0.5
Tor	21	6	10	37
(po $^{220}\text{Rn}$ )	(1)	(4)	(6)	(22)
Uran ( $^{238}\text{U}+^{235}\text{U}$ )	24	8	7	39
(po $^{222}\text{Rn}$ )	(13)	(5)	(7)	(25)
Prom. kosm	-	-	3	3
razem	45	30	25	100

$^{40}\text{K}$  – 1%,  $^{87}\text{Rb}$  – 1 ppm,  $^{232}\text{Th}$  – 10 ppm,  $^{238}\text{U}$  – 3 ppm

## Dawka roczna

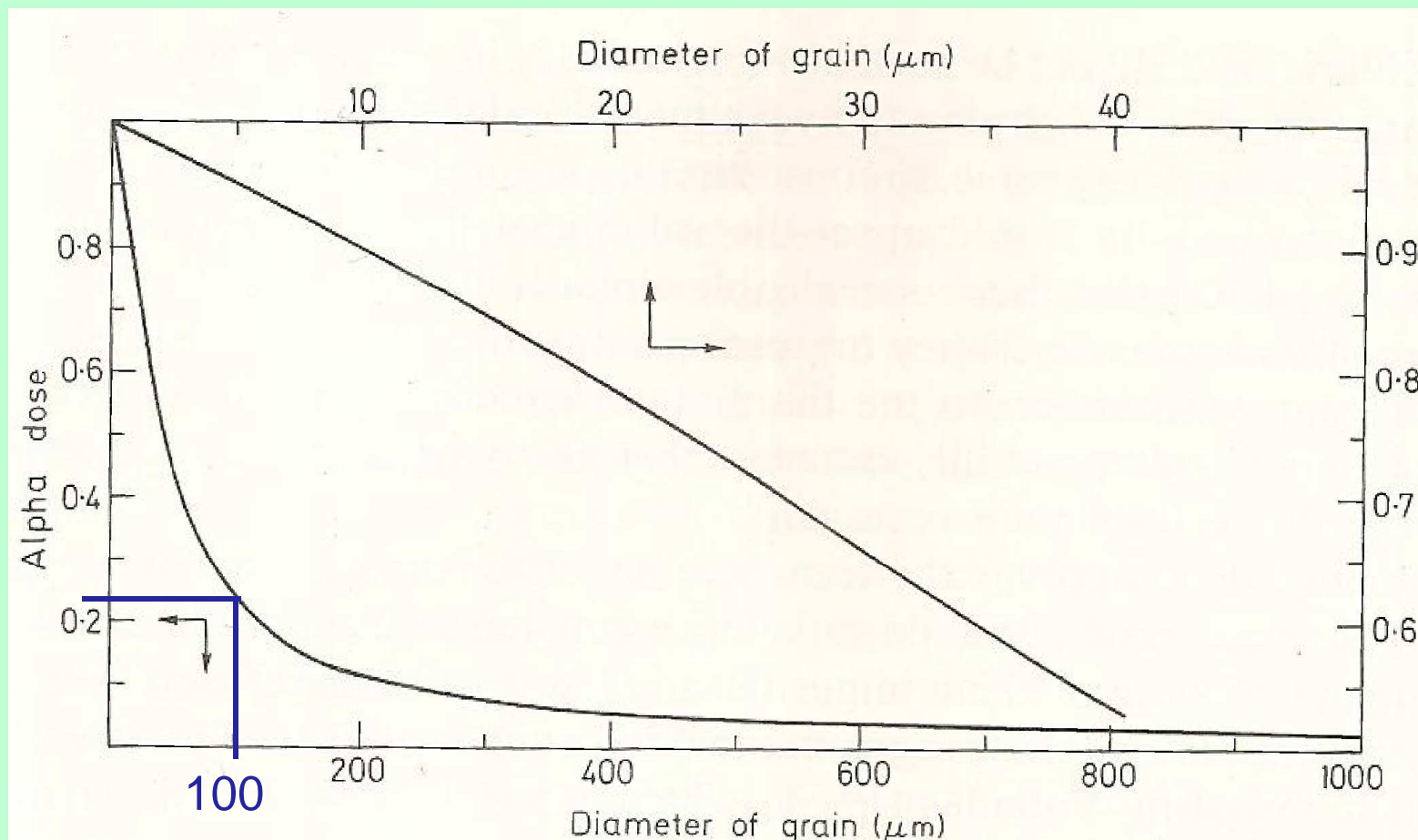
Składniki dawki rocznej dla „przeciętnej” próbki ceramiki - trawione ziarna o pierwotnej średnicy ok. 100  $\mu\text{m}$

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	razem
Potas	-	30	8	38
Tor	-	10	19	29
(po $^{220}\text{Rn}$ )	-	(6)	(11)	(17)
Uran ( $^{238}\text{U}+^{235}\text{U}$ )	-	16	12	28
(po $^{222}\text{Rn}$ )	-	(9)	(11)	(20)
Prom. kosm	-	-	5	5
razem	-	56	44	100

$^{40}\text{K}$  – 1%,  $^{87}\text{Rb}$  – 1 ppm,  $^{232}\text{Th}$  – 10 ppm,  $^{238}\text{U}$  – 3 ppm

## Dawka roczna

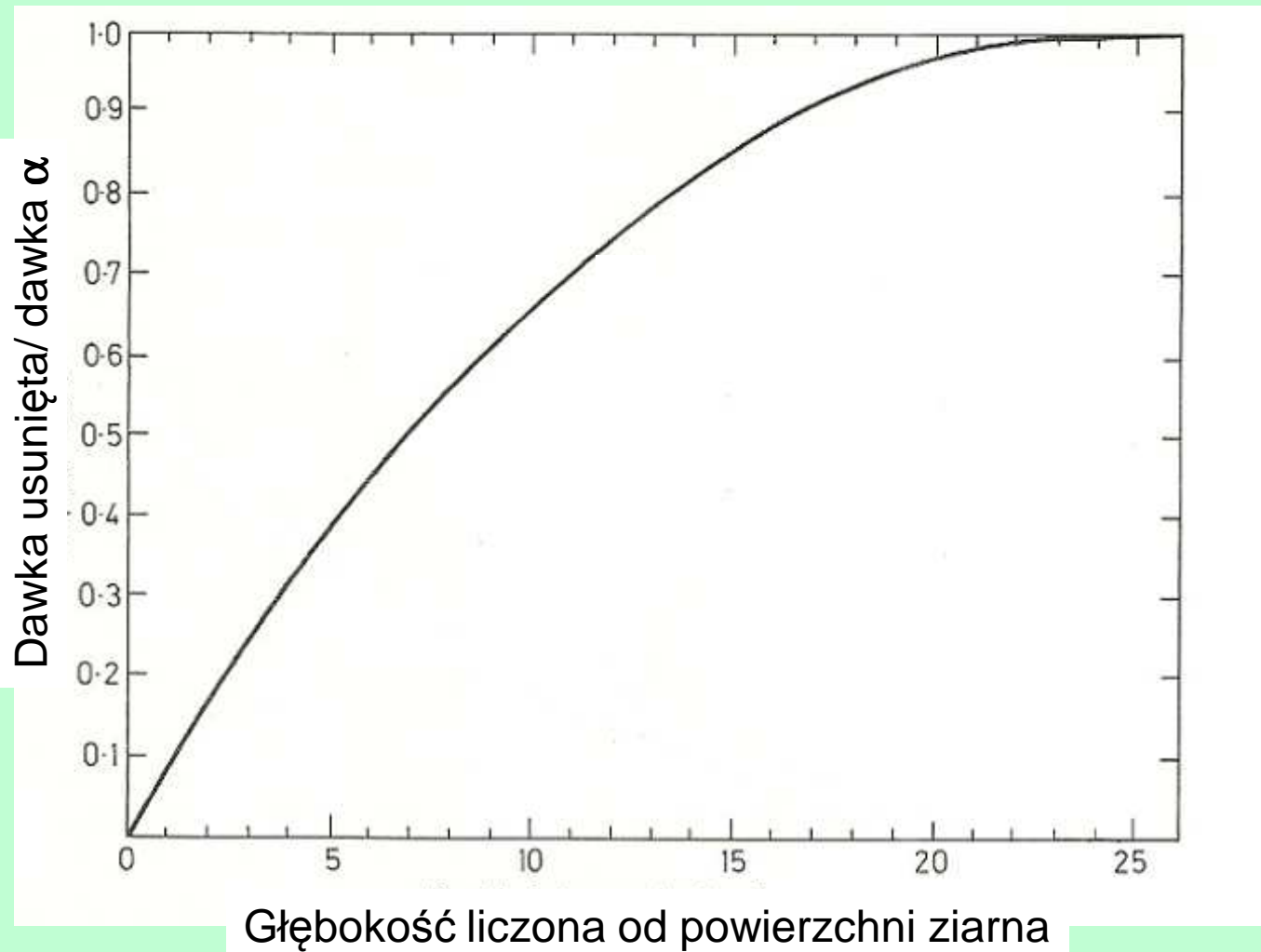
Średnia dawka  $\alpha$  zaabsorbowana przez ziarno kwarcu w matrycy o równej aktywności uranu i toru względem analogicznej dawki dla ziarna o średnicy  $8 \mu\text{m}$ .



Datowanie luminescencyjne

## Dawka roczna

Część dawki  $\alpha$  zaabsorbowanej przez ziarno kwarcu „usuwana” przez trawienie powierzchni ziarna.





## Dawka roczna

### Podstawowe założenie:

w czasie akumulacji paleodawki moc dawki promieniowania jest stała

### Najważniejsze problemy:

ucieczka radonu ( $^{222}\text{Rn} - T_{1/2} = 3.8$  dnia )

wilgotność i jej zmiany w czasie

niejednorodność otoczenia obiektu

## Dawka roczna

najprostszy przypadek

jednorodna warstwa osadu

$$D_r = \cancel{D_\alpha} + T_\beta W_\beta D_\beta + W_\gamma D_\gamma$$

poprawki uwzględniające

wilgotność osadu:  $W_\beta$ ,  $W_\gamma$

(wilgotność 20 – 40%)

poprawka związana z absorpcją  
promieniowania  $\beta$  w ziarnie oraz  
trawieniem:  $T_\beta$

(dla ziarna 100  $\mu\text{m}$  –  $T_\beta = 0.9$ )



ceramika archeologiczna

$$D_r = \cancel{D_\alpha} + T_\beta W_\beta D_\beta^i + D_\gamma$$

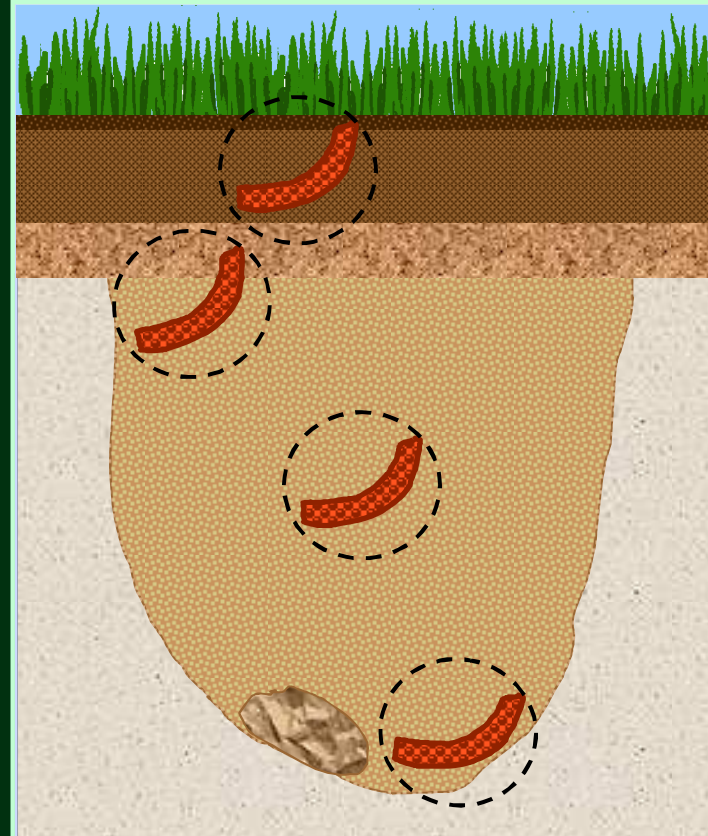
Dawka  $\gamma$  zewnętrzna i wewnętrzna

$$D_\gamma = p W_\gamma^i D_\gamma^i + (1-p) W_\gamma^e D_\gamma^e$$

$p$  - zależne od kształtu i rozmiaru próbki → są dostępne tabele

Problemy:

- ograniczona masa próbki ( $D_\beta^e \uparrow$ )
- niejednorodne otoczenie próbki (złożone  $D_\gamma^e$ )



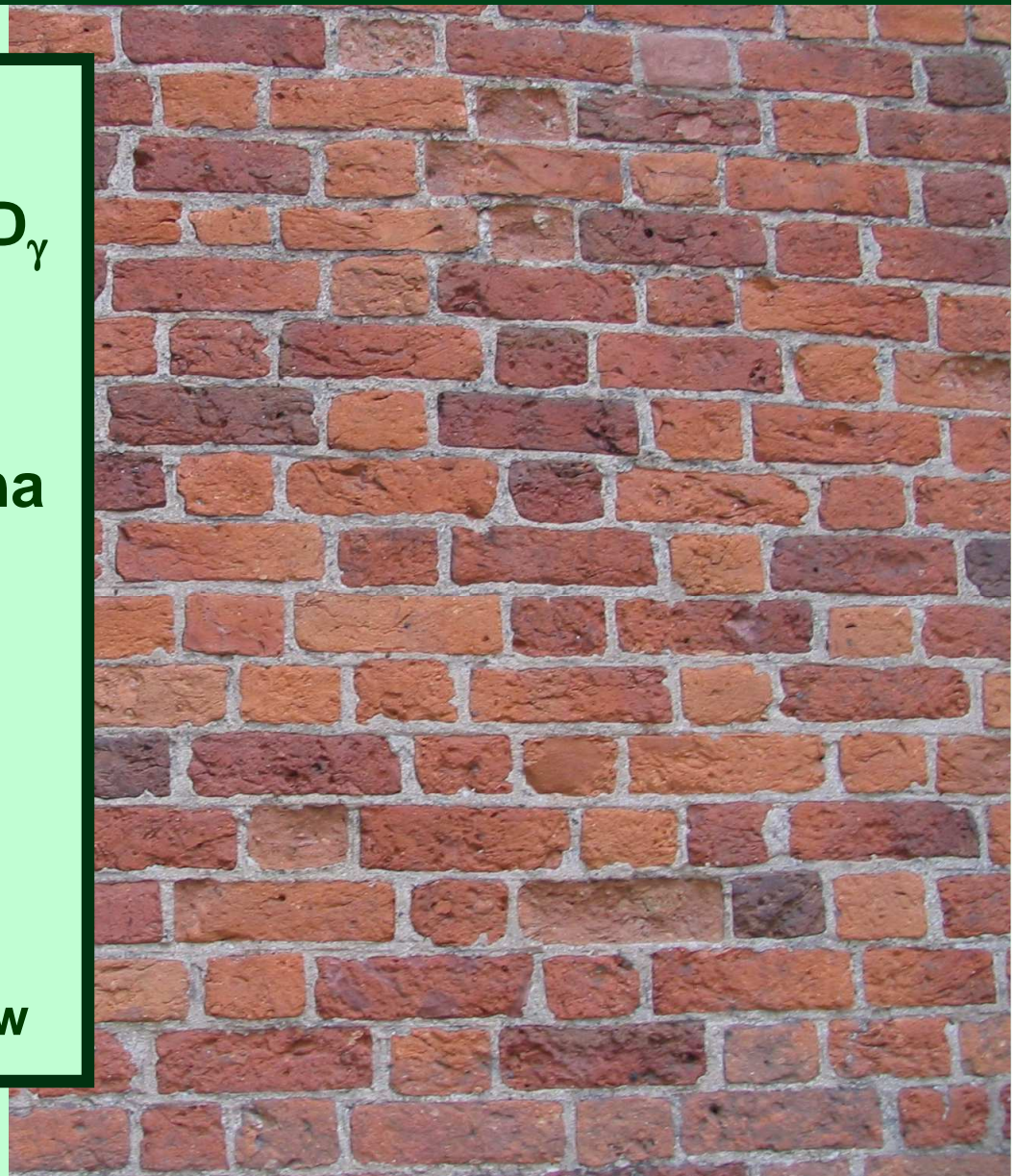
cegła zabytkowa

$$D_r = \cancel{D_\alpha} + T_\beta W_\beta D_\beta + G_\gamma W_\gamma D_\gamma$$

$G_\gamma$  - poprawka związana z „niepełną matrycą” zależna od głębokości poboru

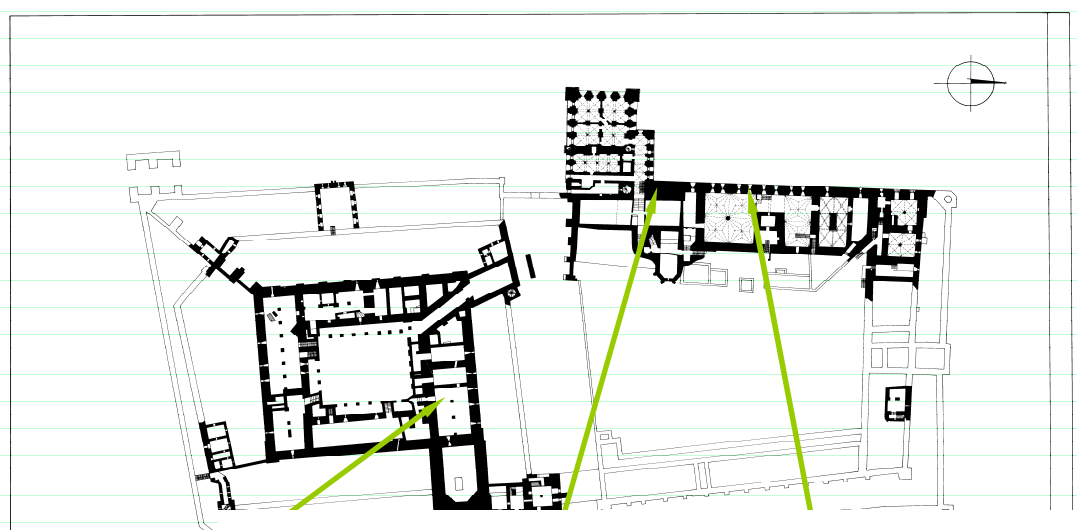
Problemy:

- niejednorodne otoczenie (zaprawa!)
- kłopot z instalacją dozymetrów



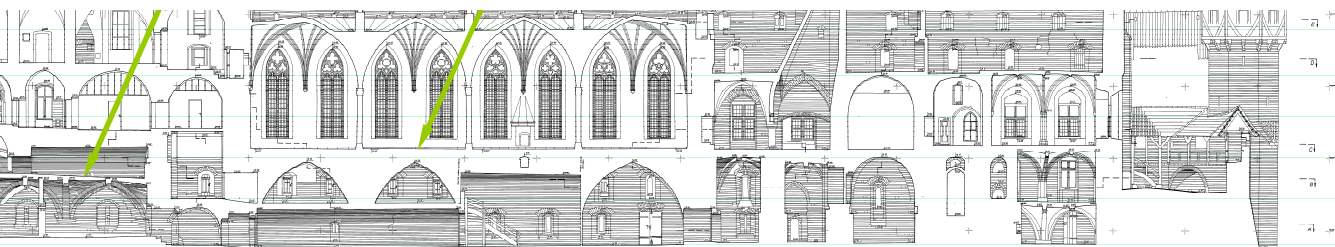
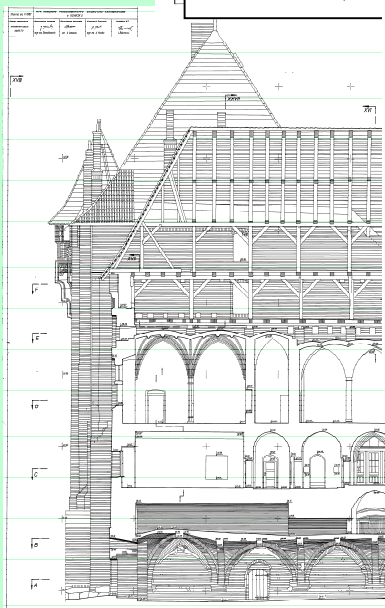


# Dawka roczna



Mal1, 1

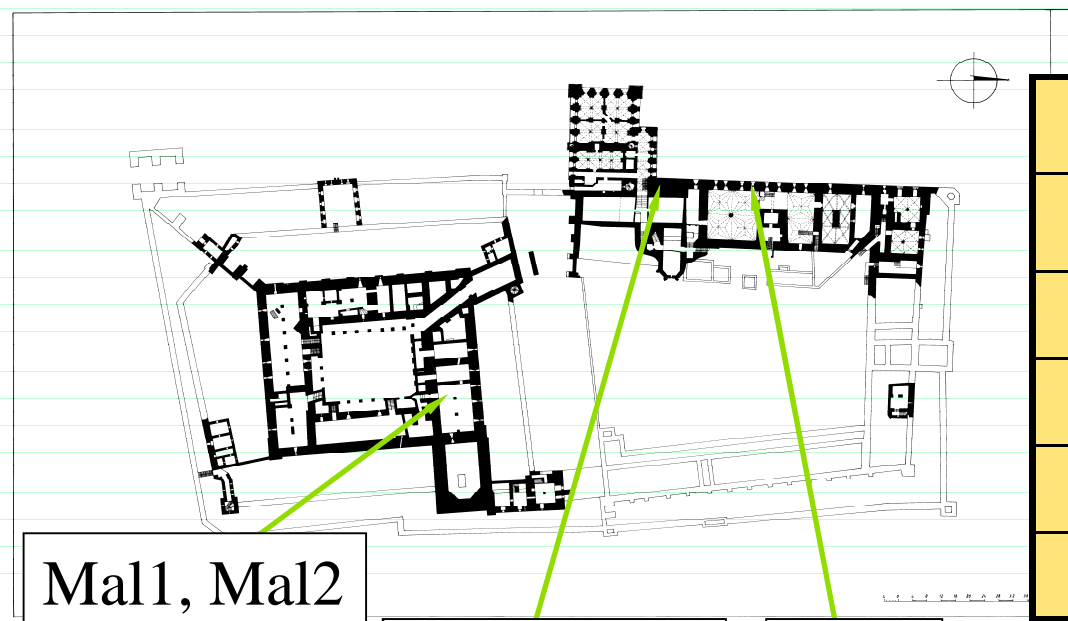
Sample	$D_{K-40}$ ( $\mu\text{Gy/a}$ )		$D_{\text{Th-232}}$ ( $\mu\text{Gy/a}$ )		$D_{\text{U-238}}$ ( $\mu\text{Gy/a}$ )	
	brick	mortar	brick	mortar	brick	mortar
Mal1	508±5	173±2	367±2	86±1	192±2	77±1
Mal2	499±24		405±3			
Mal3	548±5	138±1	395±2	64±1	344±4	53±1
Mal4	575±5	183±2	453±2	103±1	348±2	77±1



Datowanie luminescencyjne



# Dawka roczna

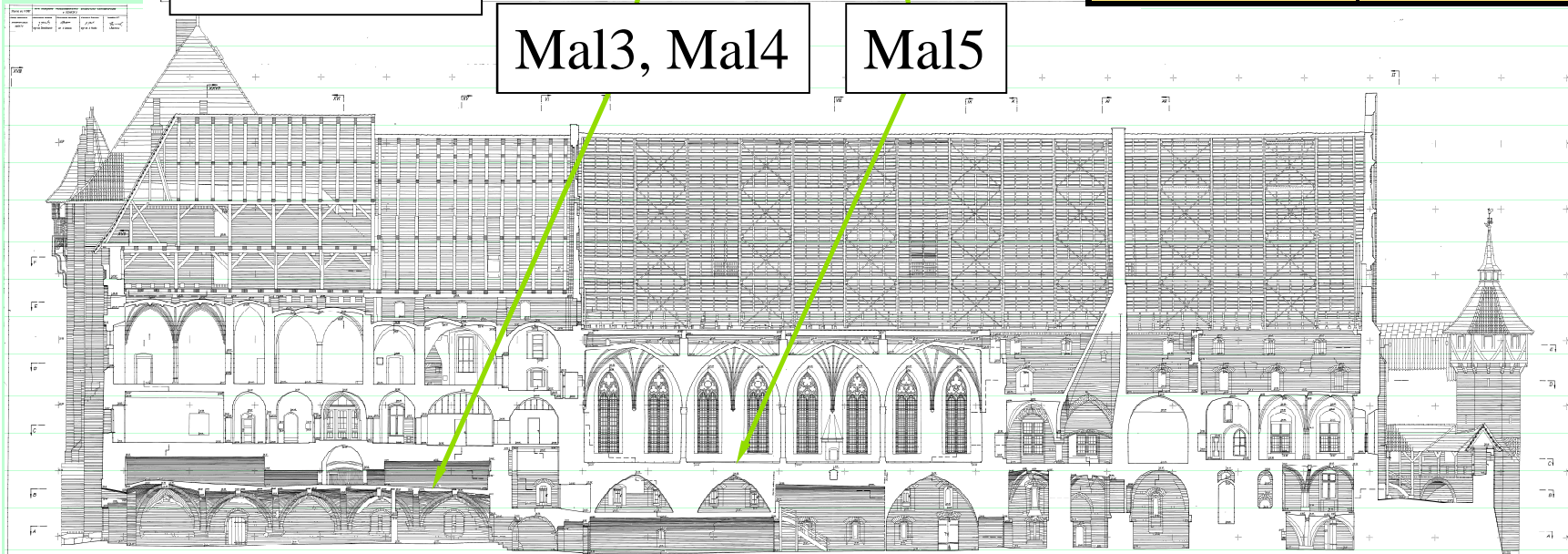


Ma1, Ma2

Ma3, Ma4

Ma5

Próbka	data
Ma1	1165-1246
Ma2	1212-1289
Ma3	1276-1346
Ma4	1315-1383
Ma5	1267-1338



Datowanie luminescencyjne

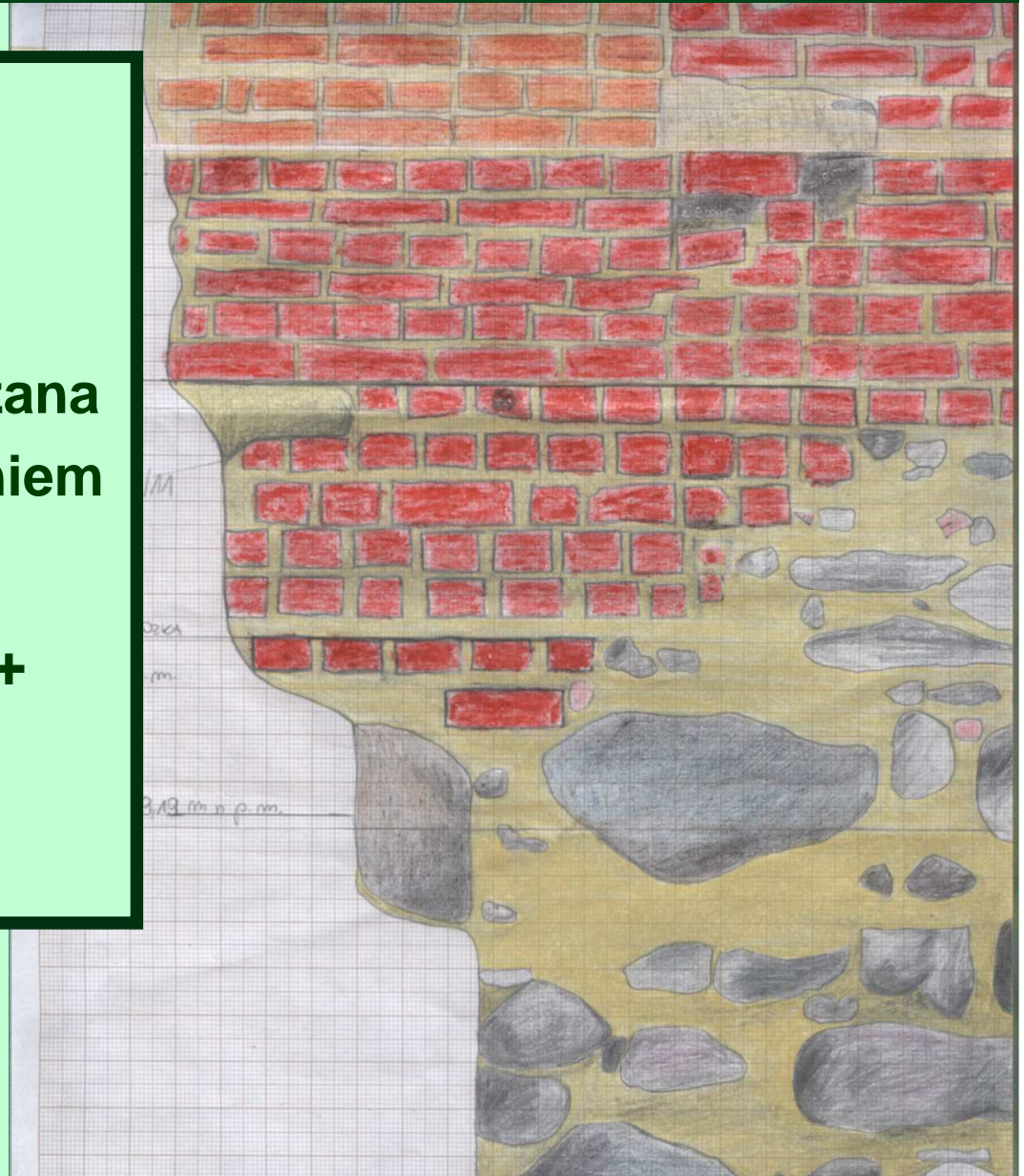
## Dawka roczna

cegła archeologiczna

$$D_r = D_{\alpha} + T_{\beta} W_{\beta} D_{\beta} + D_{\gamma}$$

Dawka  $\gamma$  – złożona, wyznaczana indywidualnie z uwzględnieniem niejednorodności otoczenia

$$D_{\gamma} = p^c W_{\gamma}^c D_{\gamma}^c + p^1 W_{\gamma}^1 D_{\gamma}^1 + \\ + p^2 W_{\gamma}^2 D_{\gamma}^2 + \dots$$

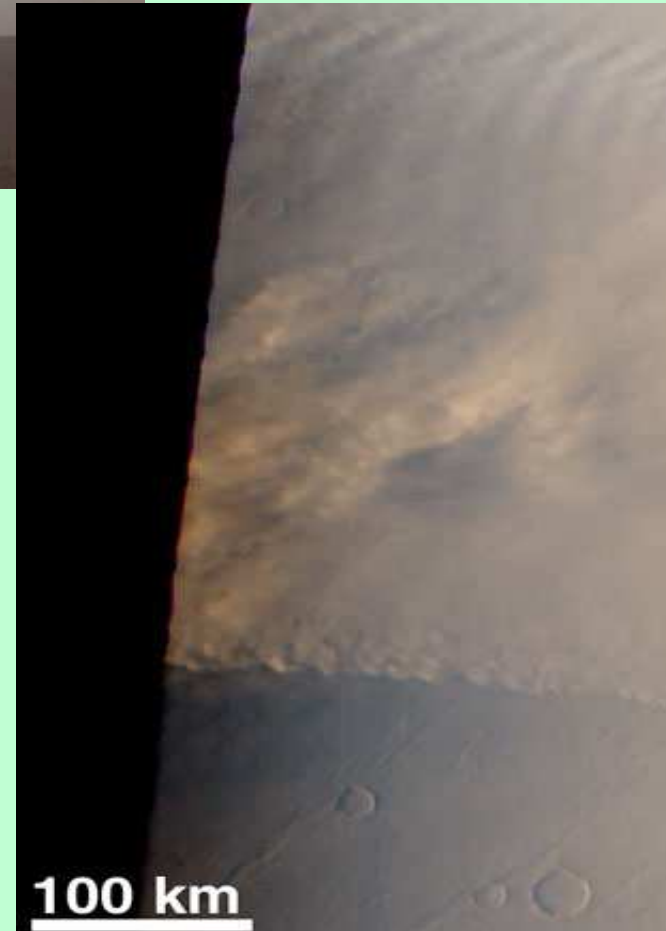
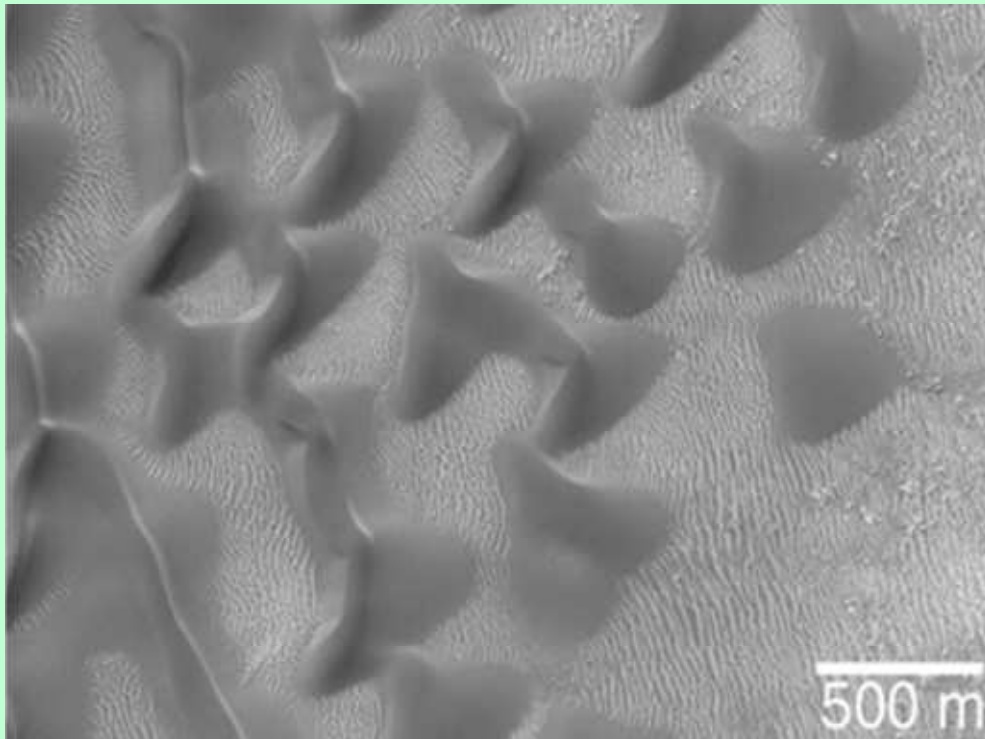


### Zalety datowania luminescencyjnego

- **Określa wiek powstania obiektu**
- **Ziemijski zakres datowania obejmuje czasy ostatnich zlodowaceń, czyli okres najbardziej interesujący z uwagi na zmiany klimatyczne.**
- **Technika jest sprawdzona i ugruntowana od wielu lat;**
- **Instrumenty pomiarowe do pomiaru TL/OSL nie są skomplikowane.**

## Ciekawe wezwania

Datowanie osadów na Marsie...  
eolicznych

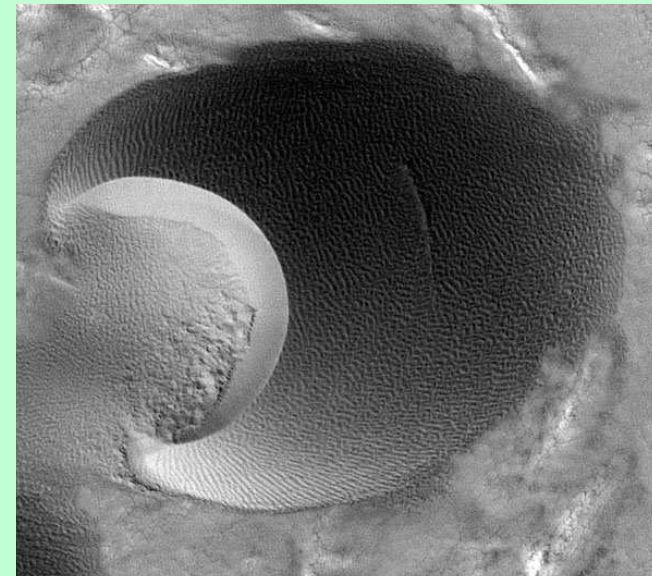
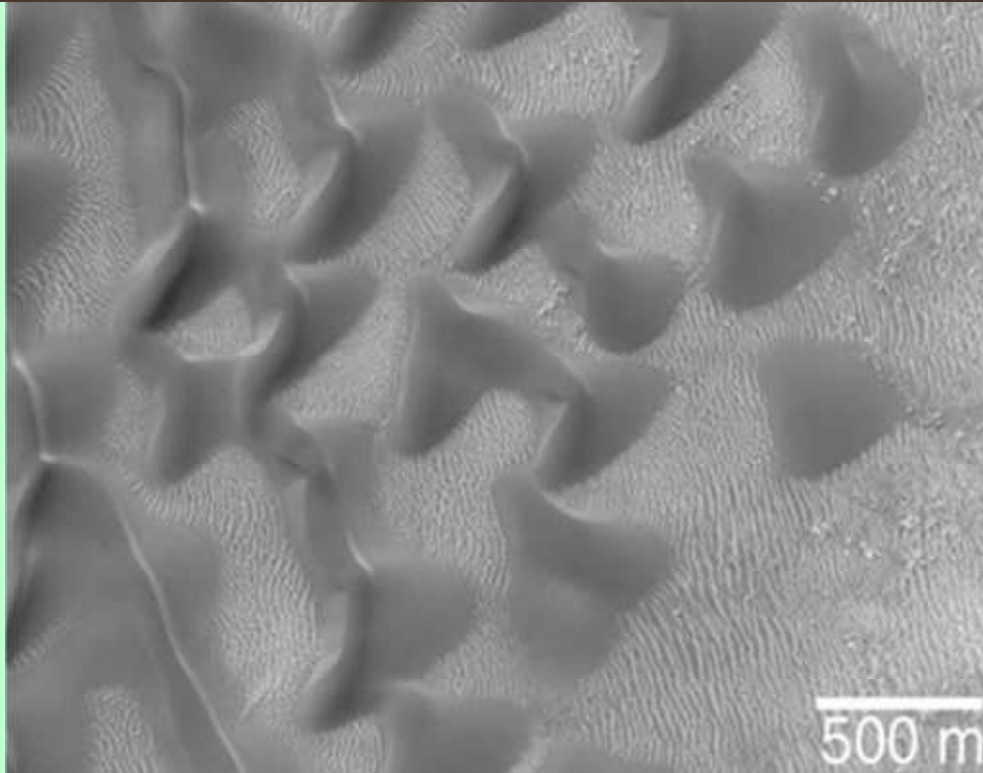


Datowanie luminescencyjne



## Ciekawe wezwania

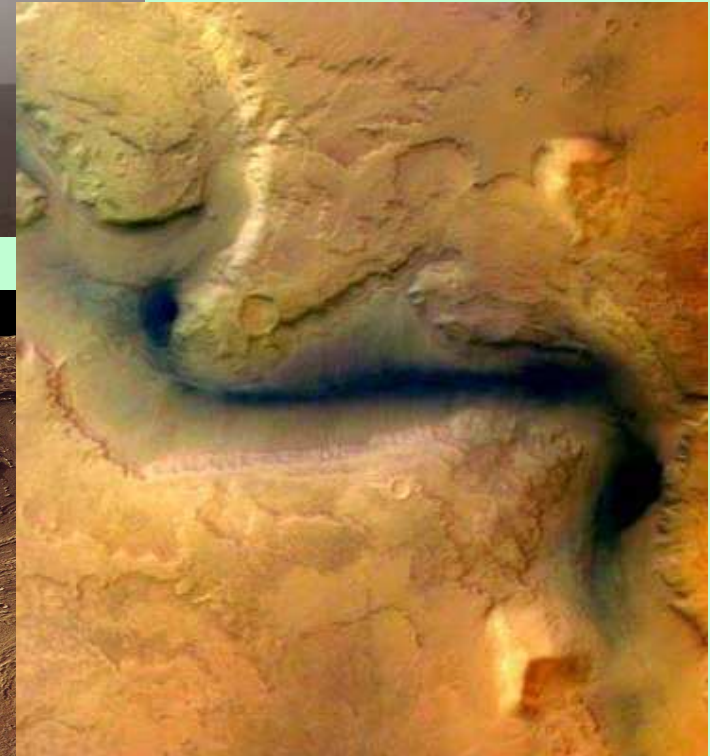
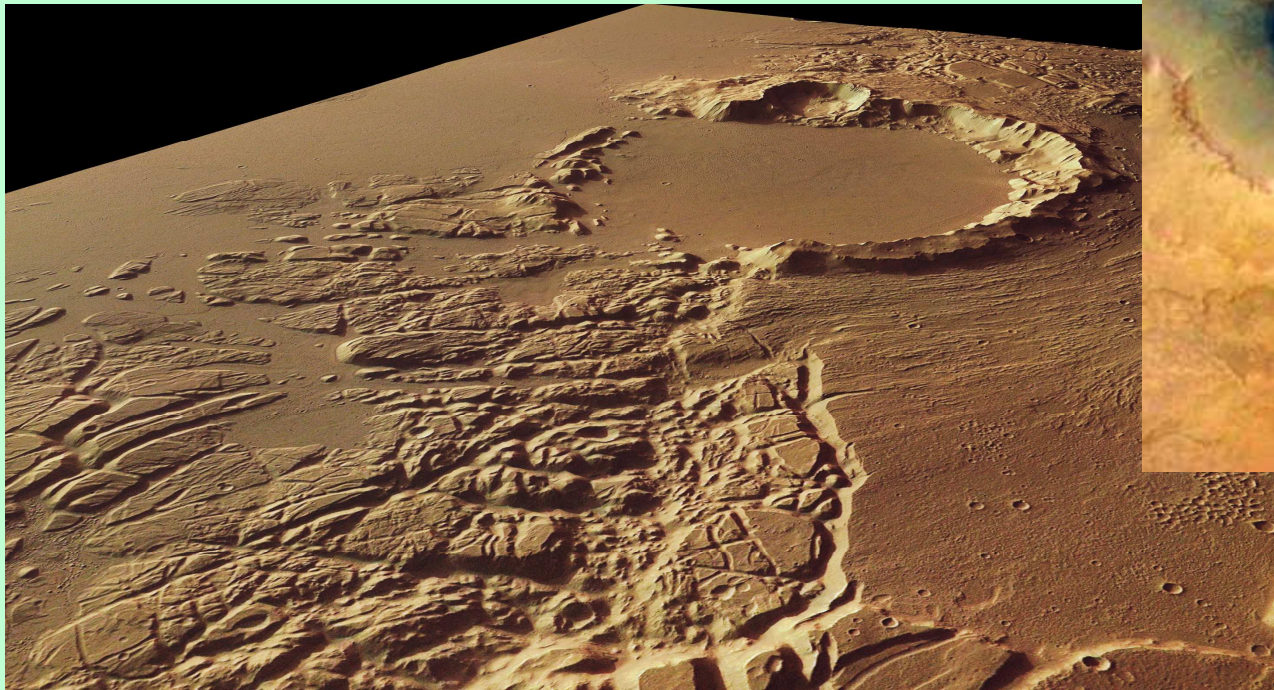
Datowanie osadów na Marsie...  
eolicznych



Datowanie luminescencyjne

## Ciekawe wezwania

Datowanie osadów na Marsie...  
eolicznych, fluwialnych

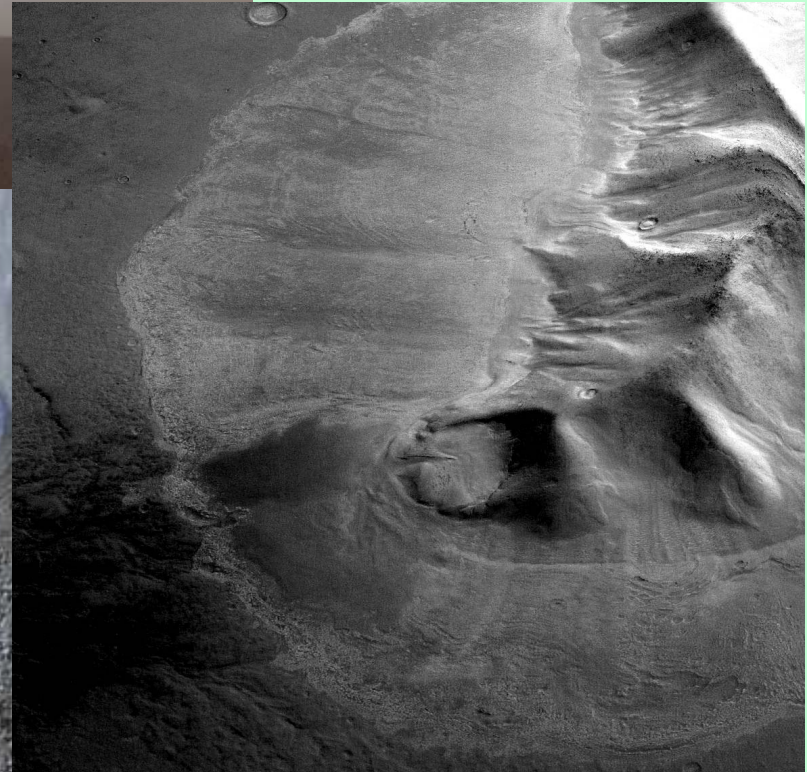


Datowanie luminescencyjne



## Ciekawe wezwania

Datowanie osadów na Marsie...  
eolicznych, fluwialnych i glacialnych



Datowanie luminescencyjne



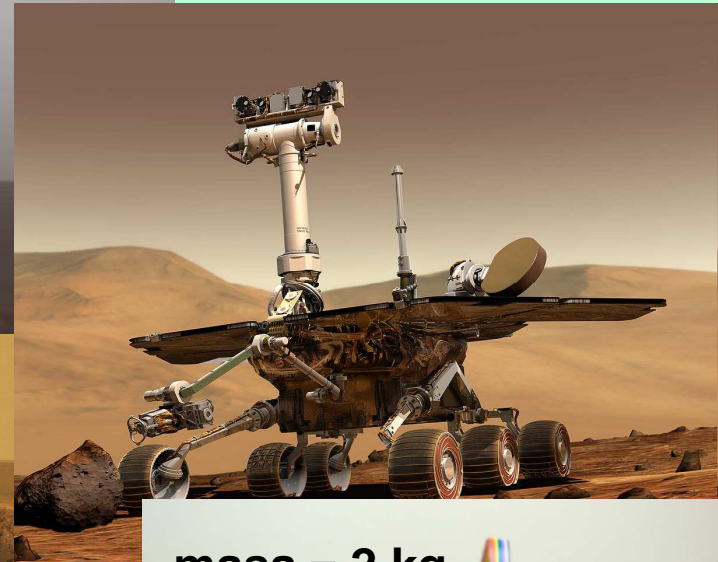
## Ciekawe wezwania

Datowanie osadów na Marsie...  
eolicznych, fluwialnych i glacialnych

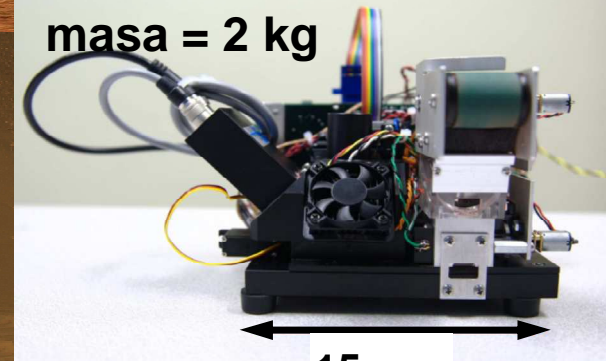
Zakres  
datowania  
osadów

10 tys. lat – na powierzchni

2 mln lat - 3 - 4 m pod powierzchnią



masa = 2 kg



15 cm

Datowanie luminescencyjne

**Dziękuję za uwagę**