

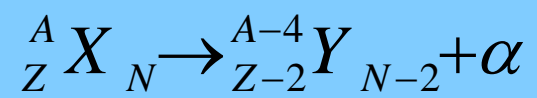
Seminarium

- rozpad α
- oddziaływanie promienowania z materią
- liczniki scyntylicyjne

Konrad Tudyka

W 1908r. Rutheford zatopił niewielką ilość ^{86}Rn w szklanym naczyniu o ciękich ściankach (przenikliwych dla promieniowania α). Całość została umieszczona w naczyniu, w którym można było powodować wyładowania elektryczne. Widmo wyładowań α przyjęło postać linii Helu.

Teoria rozpadu α

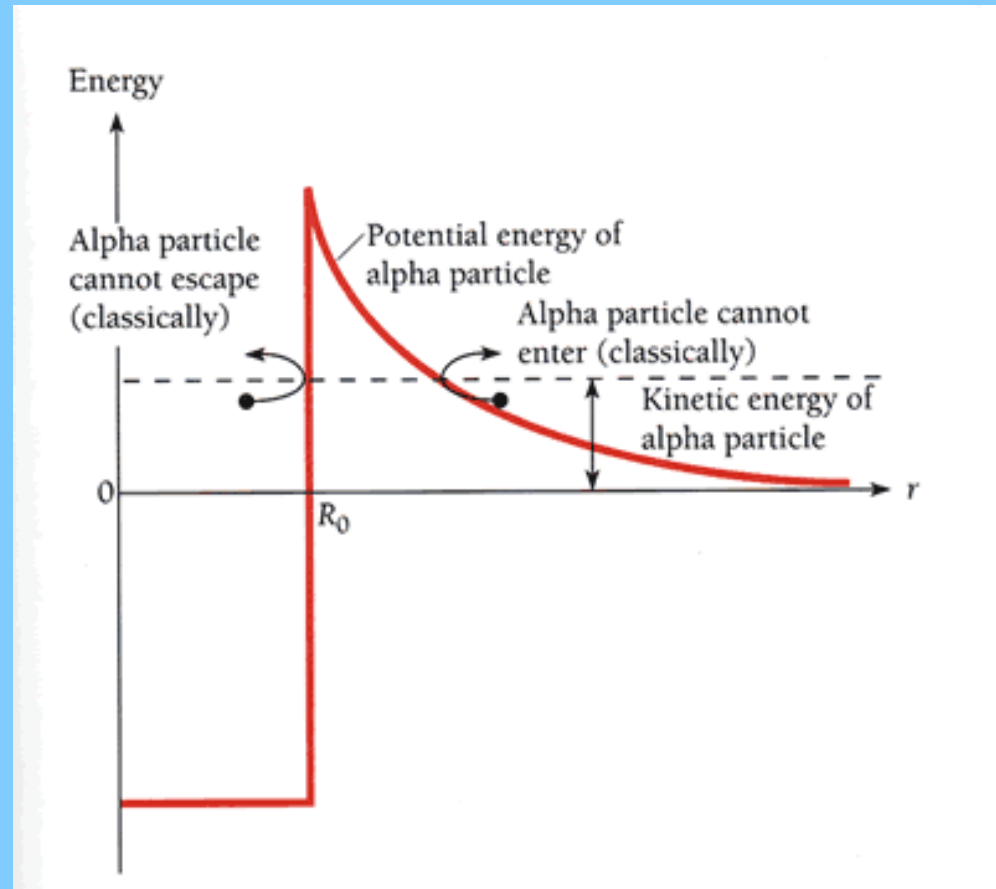


Model klasyczny?

$$V_C = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{R}$$

$$R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$$

^{226}Ra $V_C = 26\text{MeV}$



Do 1930 energię cząstek α wyznaczano za pomocą ich zasięgu w powietrzu.

- ^{210}Po emituje cząstkę α o energii 5.3 MeV co odpowiada 4.0cm

- ^{226}Ra emituje cząstkę α o energii 4.9 MeV co odpowiada 3.9cm

Po 1930 używane były spektrografy magnetyczne. Cząstki α były odchylane w polu magnetycznym i w zależności od pędu ogniskowane w różnych miejscach na kliszy fotograficznej

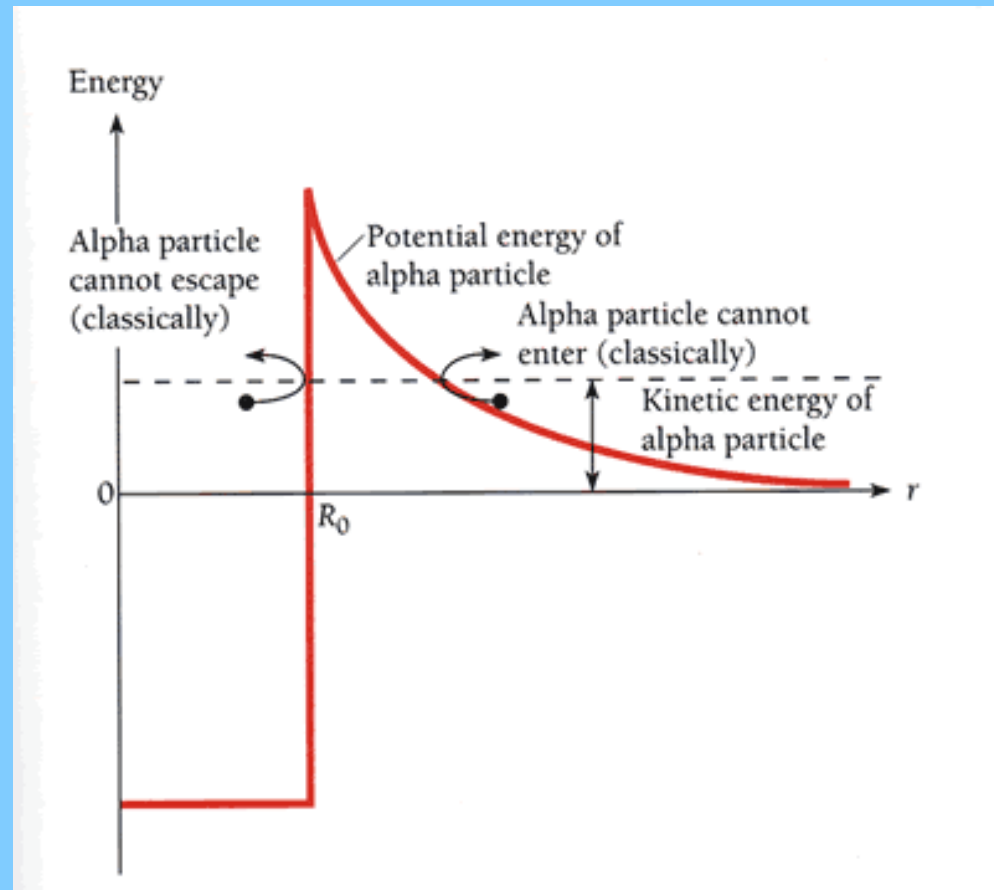
^{226}Ra

$V_c = 26\text{MeV}$

$E_\alpha = 4.9\text{MeV}$

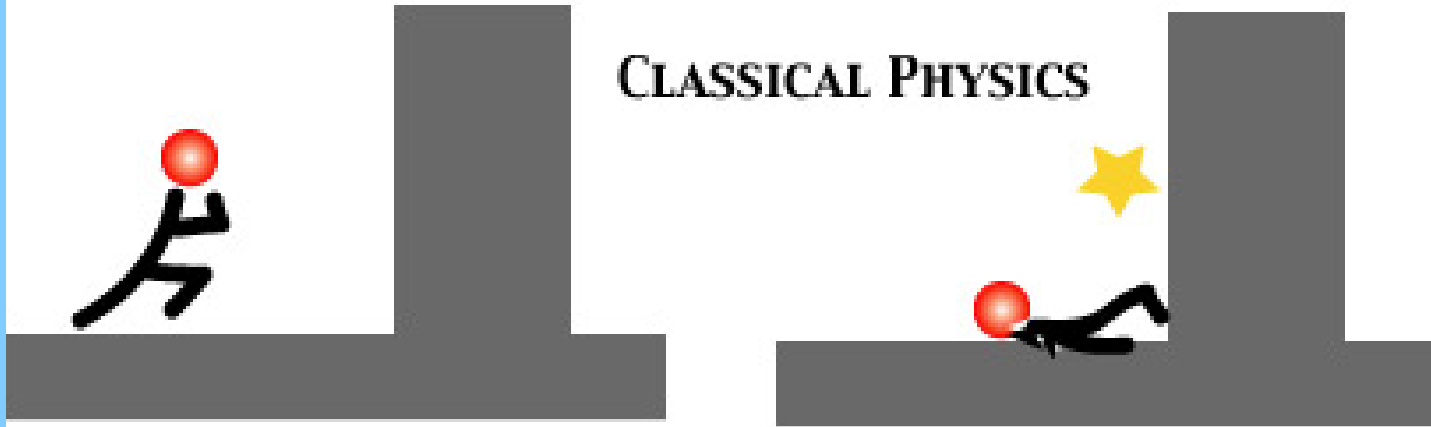
Zgodnie z zasadami fizyki klasycznej rozpad nie może zajść!

~~Model klasyczny~~

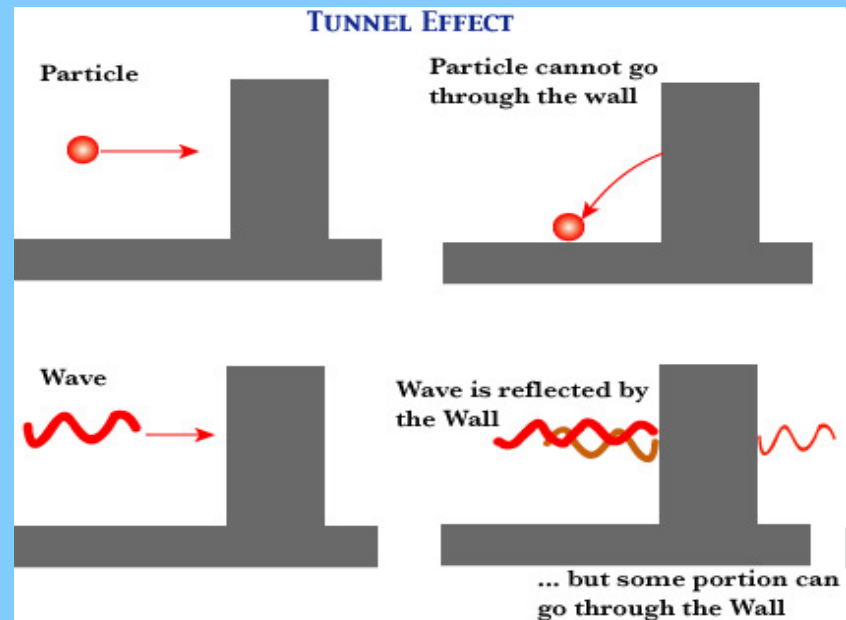
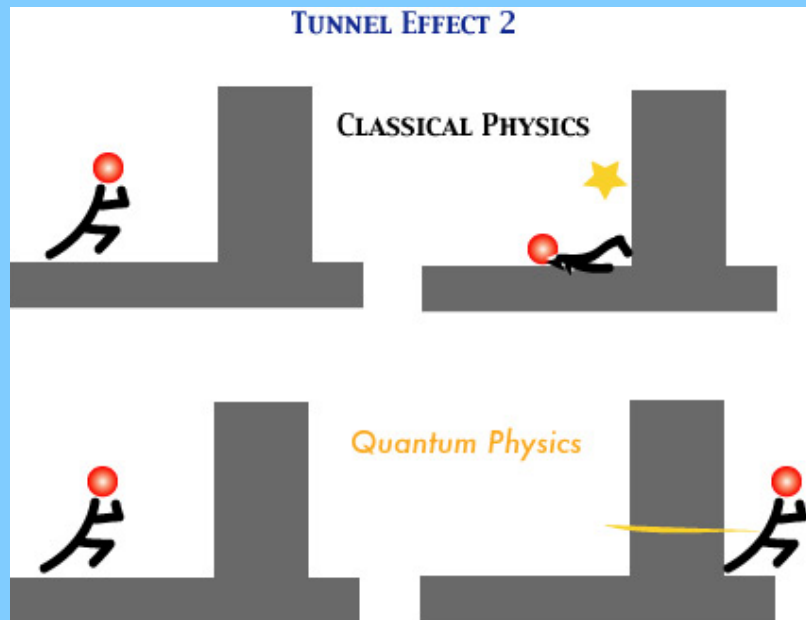


TUNNEL EFFECT 2

CLASSICAL PHYSICS



1928- Gammow oraz inni naukowcy wykryli efekt tunelowy co pozwoliło na sformułowanie półklasycznej teorii rozpadu α .



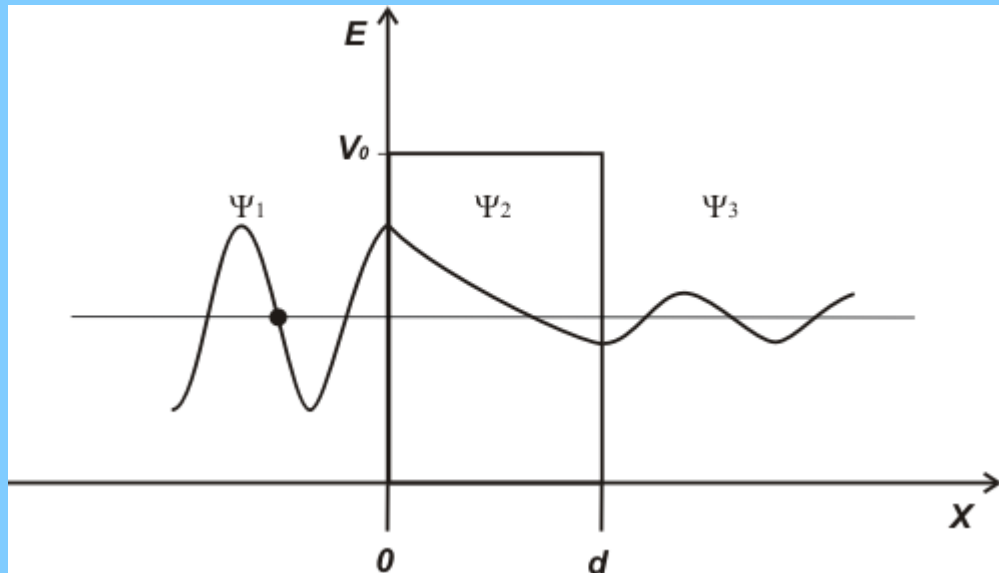
$$\lambda_{\alpha} [\text{s}^{-1}] = \lambda_0 [\text{s}^{-1}] \cdot T_{\alpha}$$

λ_0 **frequency of an α -particle being formed in the nucleus and and trying to escape**

T_{α} **probability for tunneling: transmission coefficient**

$$\lambda_0 \approx 10^{21} \text{ s}^{-1}$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V\psi = E\psi$$



$$T = \frac{1}{\left(1 + \frac{V_0^2}{V_0^2 - (2E - V_0)^2}\right) \sinh^2 k_2' d}$$

Dla $dk_2' \gg 1$ zachodzi $\sinh^2 x = (1/4)e^{2x}$

$$T = 4 \frac{V_0^2 - (2E - V_0)^2}{V_0^2} e^{-2k_2' d}$$

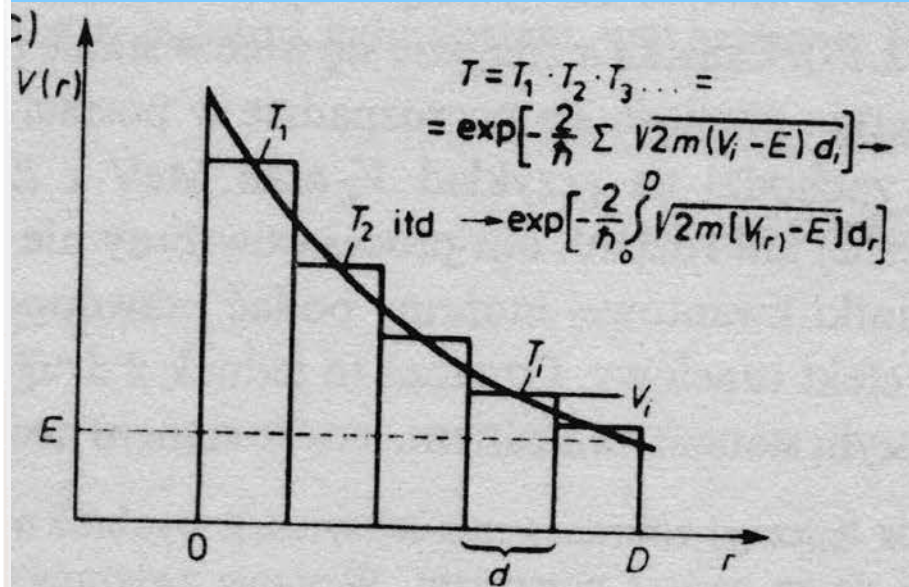
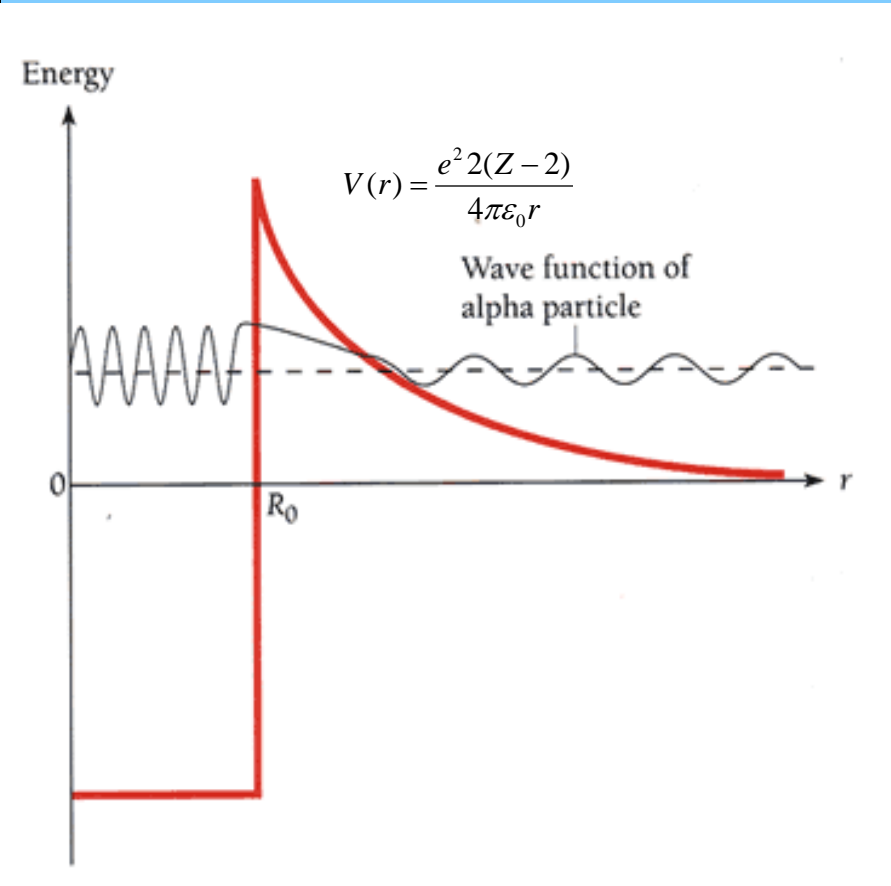
Podstawiając:

$$k_2' = 1/\hbar \sqrt{2m(V_0 - E)}$$

$$4 \frac{V_0^2 - (2E - V_0)^2}{V_0^2} \approx 1$$

$$T \approx \exp(-2/\hbar \sqrt{2m(V_0 - E)} d)$$

$$T \approx \exp(-2/\hbar \sqrt{2m(V_0 - E)}d)$$



Można przyjąć, że cząstka α porusza się między barierami z prędkością v .

Z każdym zbliżeniem cząstka ma szansę T na ucieczce.

Odstęp pomiędzy poszczególnymi próbami ma miejsce co $2R/v$.

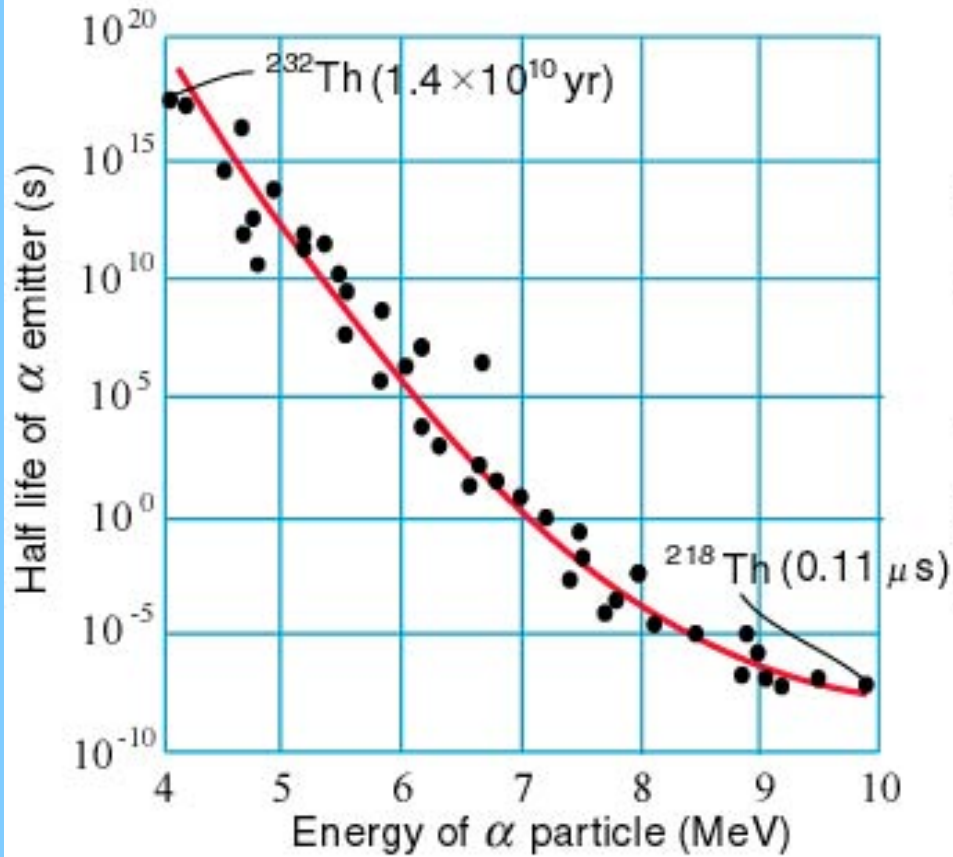
$$T \frac{v}{2R} dt = \lambda dt$$

$$T \approx \exp(-2/\hbar \sqrt{2m(V_0 - E)}d)$$

$$V(r) = \frac{e^2 2(Z-2)}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\ln \lambda = \ln \frac{v}{2R} + \frac{8}{\hbar} \sqrt{e^2 m_\alpha (z-2)R} - \frac{2\pi e^2}{\hbar} \sqrt{\frac{2m_\alpha}{E_\alpha}} (z-2)$$

Fig. (A)

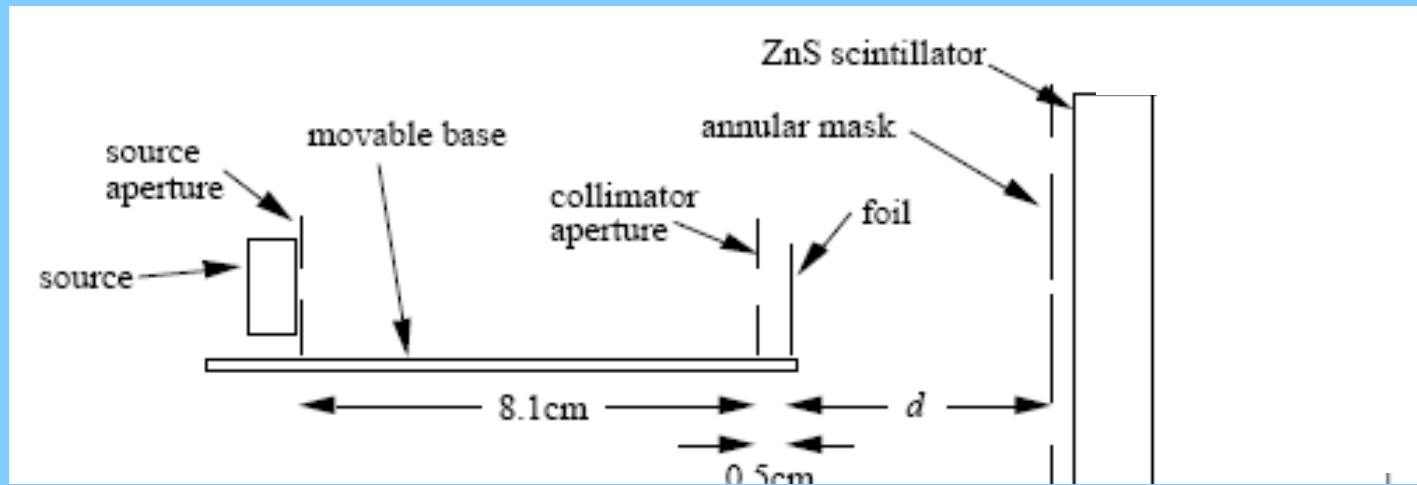


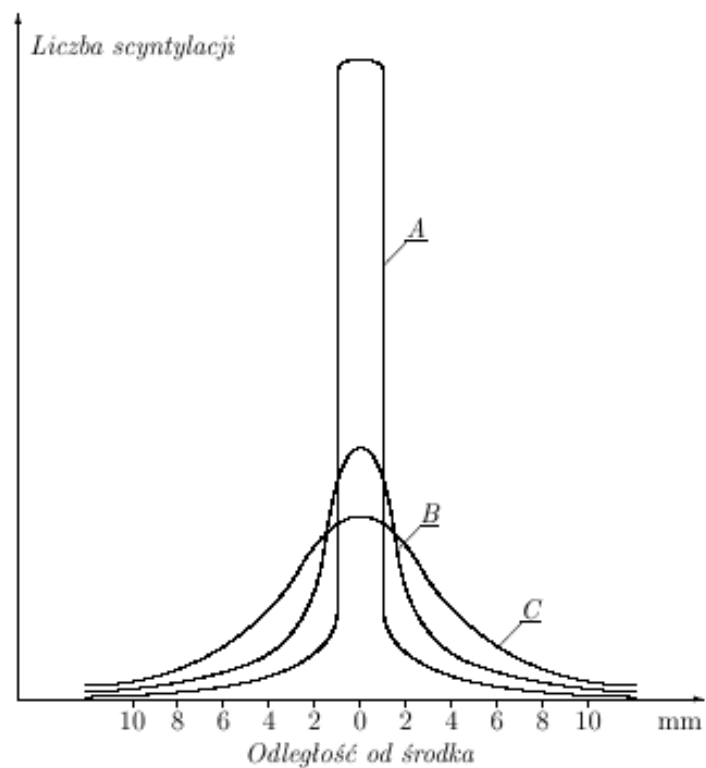
$$\log\left(\frac{T_{1/2}}{s}\right) = \frac{125}{\sqrt{E_{\alpha} / \text{MeV}}} - 47$$

Species	E_α from spec	E_α from theory
Po ²¹²	8.954 MeV	8.954 MeV
Po ²¹⁴	7.85 MeV	7.833 MeV
Po ²¹⁶	6.93 MeV	6.906 MeV
Bi ²¹¹	6.77 MeV	6.751 MeV
Rn ²²⁰	6.42 MeV	6.405 MeV
Bi ²¹²	6.15 MeV	6.115 MeV

Oddziaływanie promieniowania α z materią

Geigera i Marsdena w roku 1909 puścili wiązkę α , po przejściu przez okrągłą przesłonę padała na ekran ZnS, wywołując scyntylacje. Na powierzchni wyraźnie ograniczonej okręgiem. Pole tej powierzchni odpowiada powierzchni przekroju wiązki. Po umieszczeniu bardzo cienkiej złotej folii na drodze wiązki, powierzchnia, w której powstają scyntylacje zwiększa się, a krawędzie jej stają się mniej ostre.





Rysunek 1.1: Rozpraszanie cząstek α . A — rozkład scyntytacji bez folii rozpraszającej, B — rozkład scyntytacji przy wstawieniu złotej folii, C — rozkład scyntytacji przy wstawieniu 2 złotych folii [1].

$$\vec{p}_{\perp,\alpha} = \vec{p}_e$$

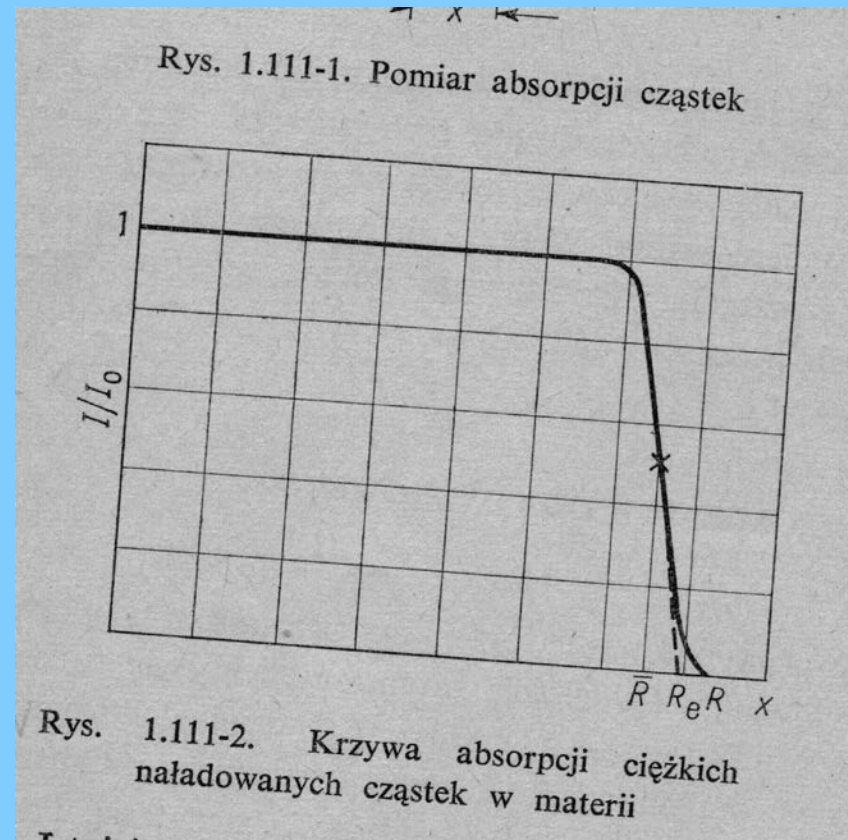
**conservation of
momentum**

$$\Delta E_{\alpha} = \frac{p_{\perp,\alpha}^2}{2 \cdot m_{\alpha}} \quad \Delta E_e = \frac{p_e^2}{2 \cdot m_e} = \frac{2 \cdot m_{\alpha} \cdot \Delta E_{\alpha}}{2 \cdot m_e}$$

$$\Delta E_e = \frac{m_{\alpha}}{m_e} \Delta E_{\alpha} \approx 8000 \cdot \Delta E_{\alpha}$$

1/8000 energi alfa jest tracone na pojedynczym zderzeniu

Najważniejszym procesem oddziaływania dla ciężkich cząstek naładowanych są nieelastyczne zderzenia jonizujące atomy (tracąc przy tym energię).



$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2 n}{m_e v^2} Z \ln \frac{2m_e v^2}{I} \quad E \ll \frac{m^2}{2m_e} c^2$$

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 z^2 n}{m_e v^2} Z \ln \left(\frac{2m_e v^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right)$$

z- liczba atomowa cząstki

Z- liczba atomowa absorbenta

n- liczba atomów/objętość

I- średnia potencjał wzbudzenia i jonizacji atomów absorbenta

m- masa cząstki

$$I = 9.1Z \left(1 + \frac{1.9}{Z^{2/3}} \right) eV$$

Absorbent – I eV

Powietrze- 80,5

H-15,6

C-76,4

Al- 150

Cu- 276

W- 655

Pb- 705

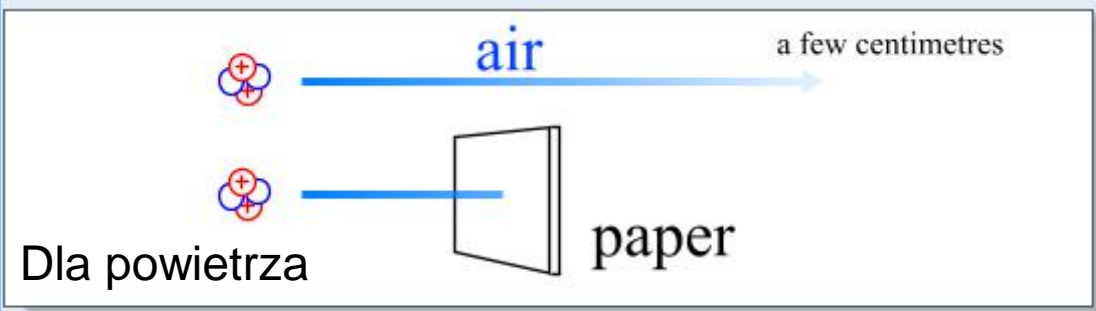
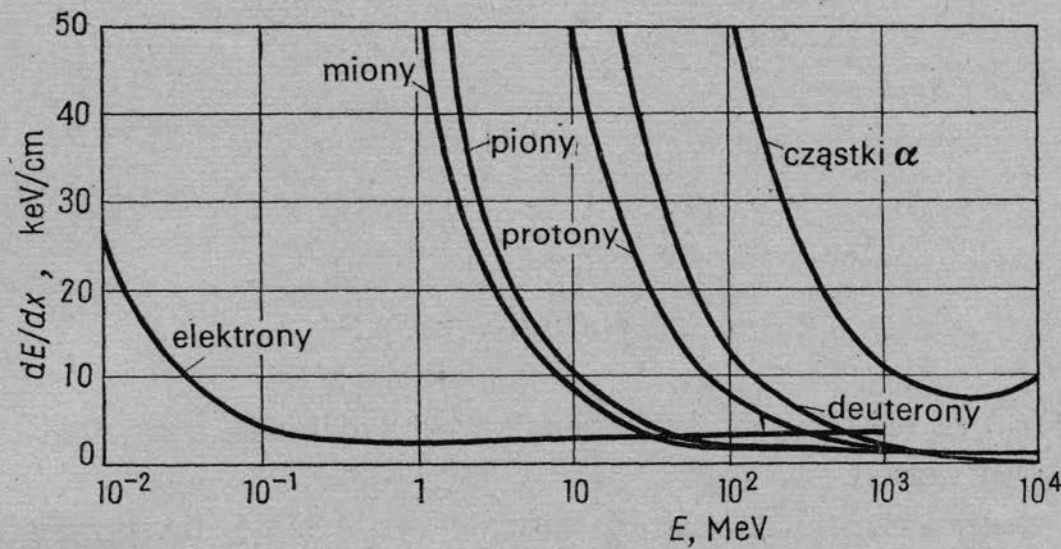
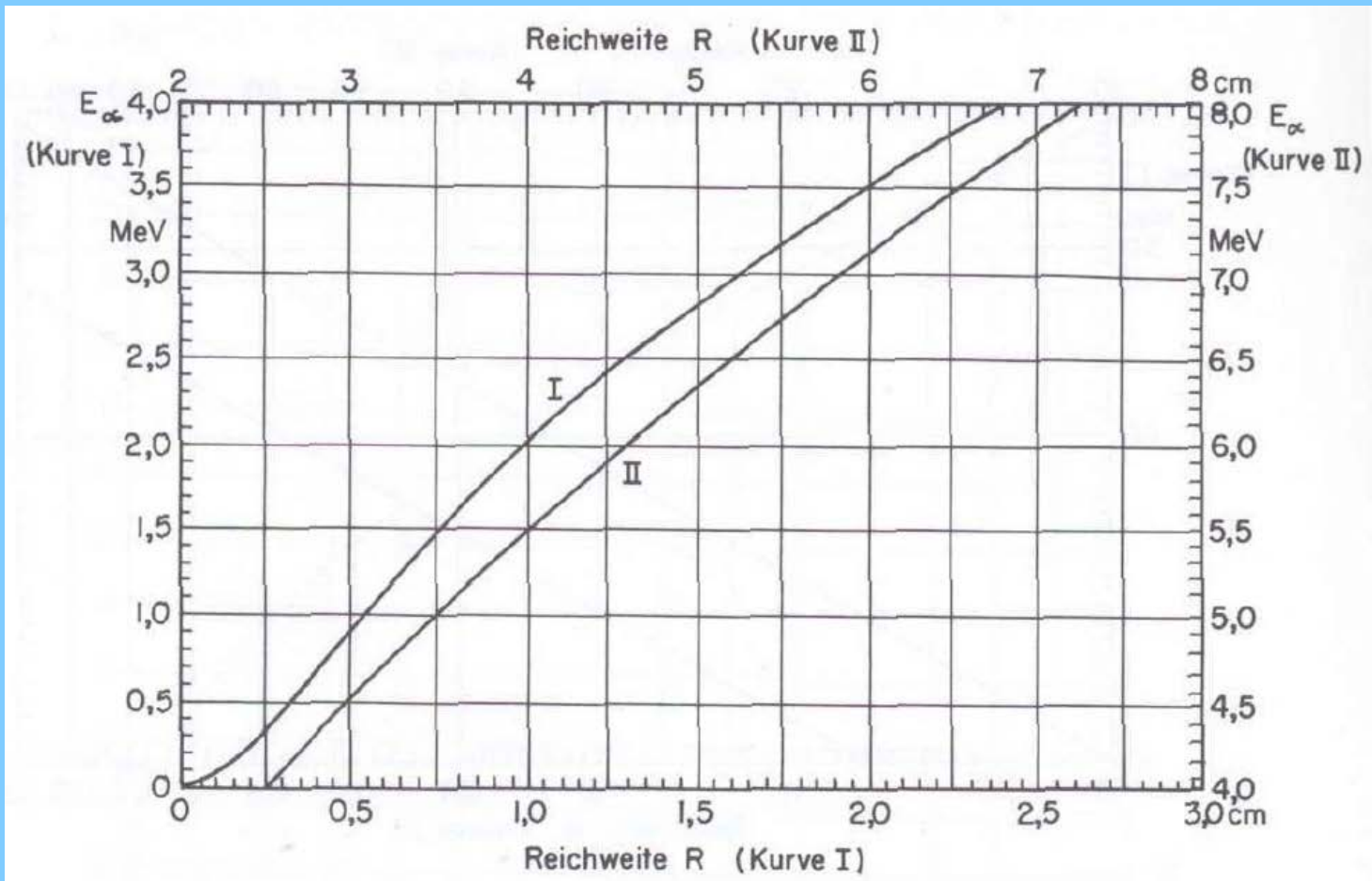
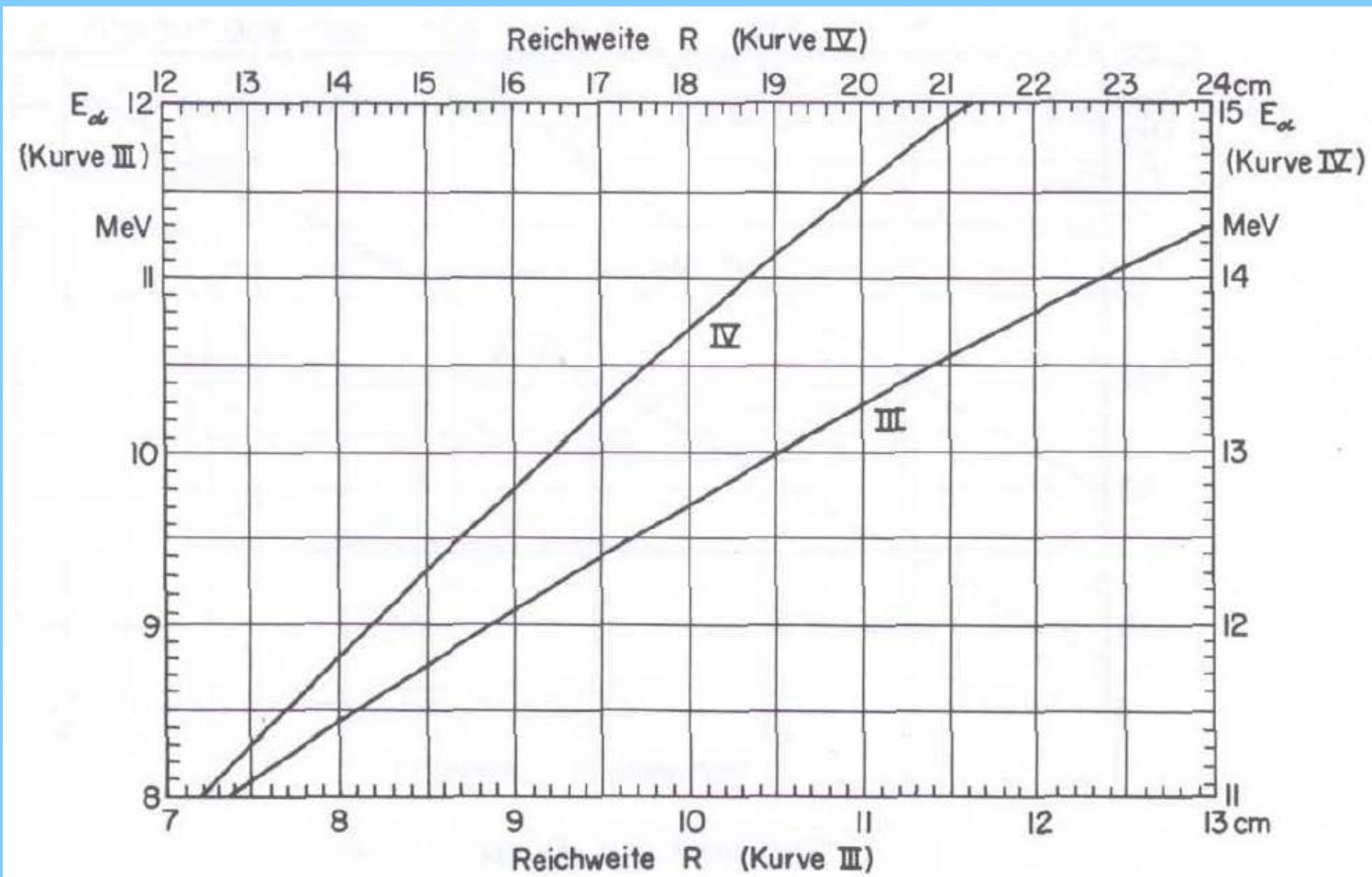
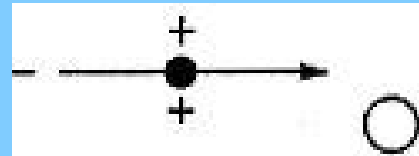


Figure 3

$$R = \int_{E_0}^0 \frac{dE}{dE/dx}$$



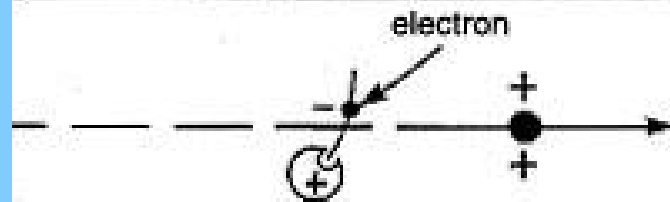




alpha particle approaches atom



alpha particle (He^{++}) pulls electron off an atom as it passes by

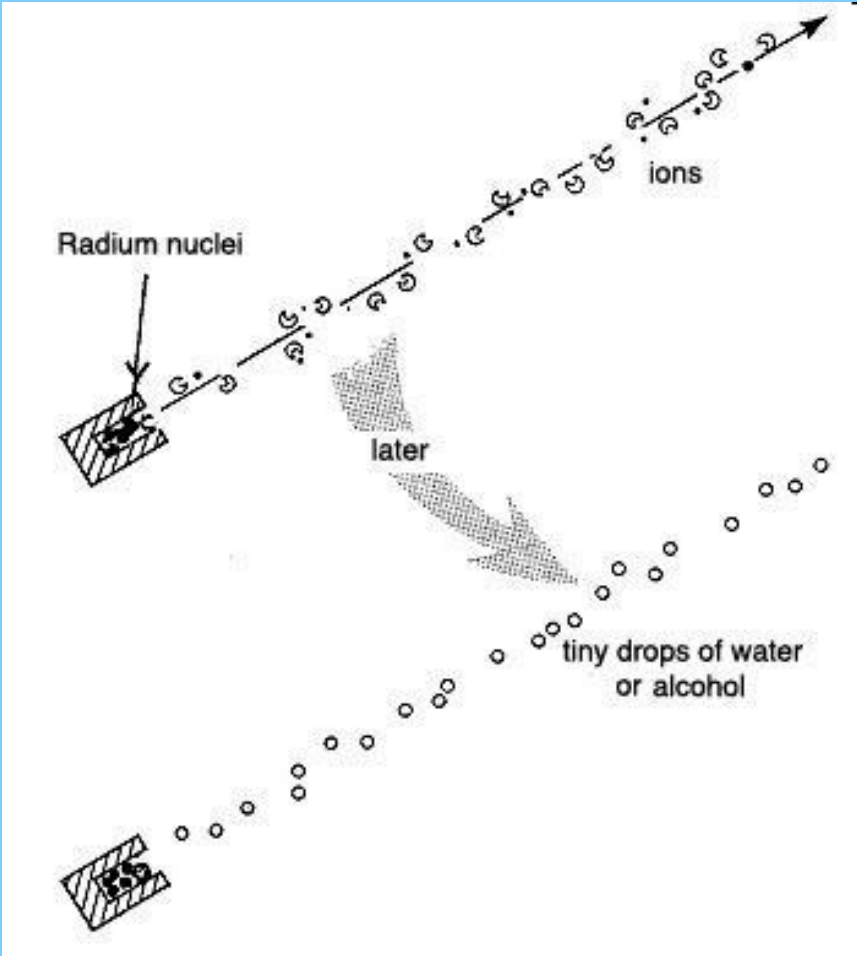


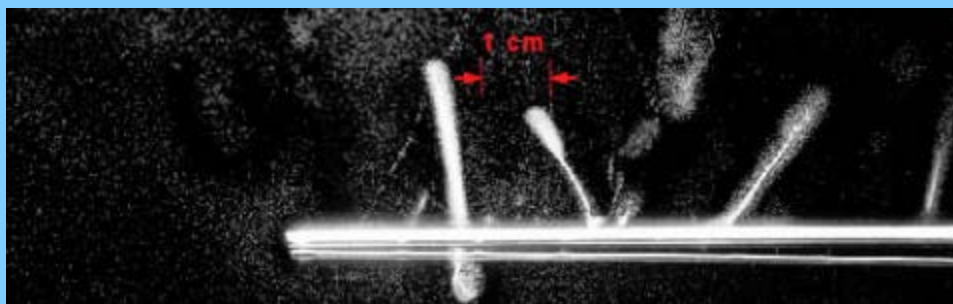
another atom catches the electron



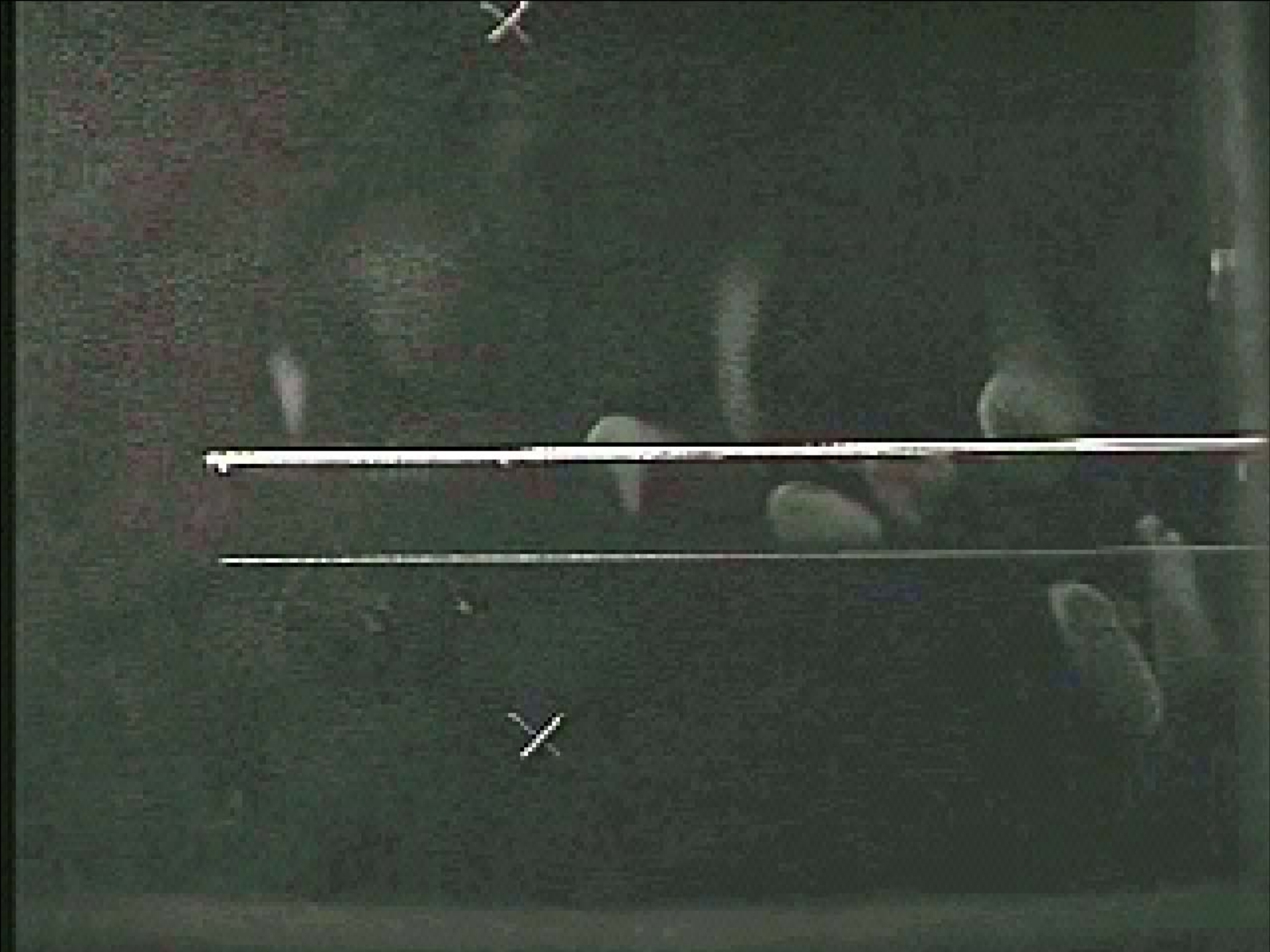
two ions (one + , one -) are left and vapour condenses onto them

Produkcja około 100,000 kropli
Pozbawienie elektronu 100,000 atomów





Metalowy pręt zawierający 2% naturalnego toru.
Alpha cząstki emitowane z prętu tworzą ślady z drobnych kropli cieczy.



Liczniki scyntylicyjne

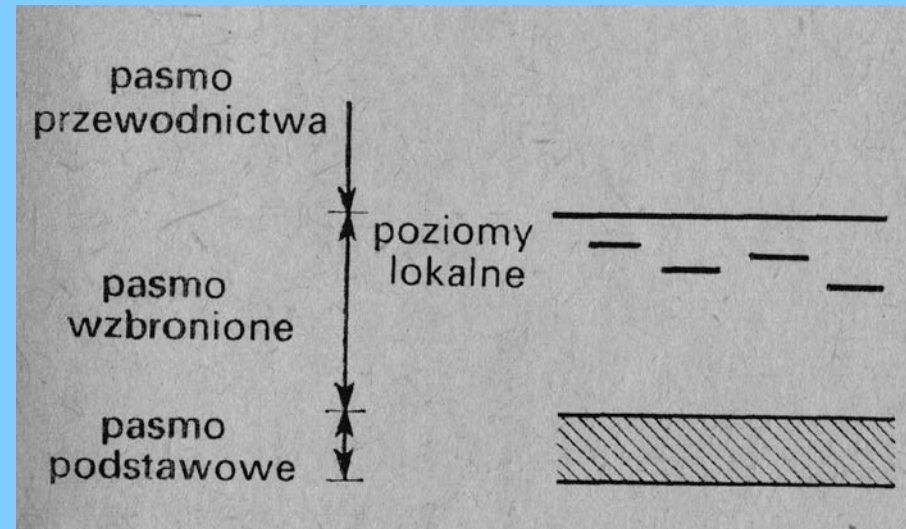
fluorescencja- od 10^{-9} do 10^{-5} s

fosforescencja- metatrwałe położenie elektronów, błysk następuje po pewnym czasie

Elektrony mogą znajdować się tylko w określonych stanach energetycznych tworzących pasma. W stanie normalnym elektrony znajdują się w paśmie o najniższej energii, tzn. paśmie podstawowym. Pod wpływem promienowania mogą zostać przeniesione do pasma wzbudzonego, tzw. pasma przewodnictwa.

Podczas powrotu do stanu podstawowego emitowany jest Powrót do pasma podstawowego może tu nastąpić jednym skokiem, przy czym emitowany jest kwant promieniowania elektromagnetycznego o dużej energii, lub co ważniejsze, przejście to może nastąpić poprzez lokalne poziomy w paśmie wzbronionym, pochodzące od zanieczyszczeń sieci krystalicznej, tzw. aktywatorów. Energie emitowanego promieniowania będą w tym ostatnim wypadku niższe, odpowiednie do rejestracji.

Elektron może być jednak zatrzymany na lokalnym poziomie zwanym poziomem metatrwałym. Jeżeli przejście z tego poziomu metatrwałego do pasma podstawowego z emisją promieniowania elektromagnetycznego następuje przy podgrzewaniu kryształu, mówimy wówczas o termoluminescencji.



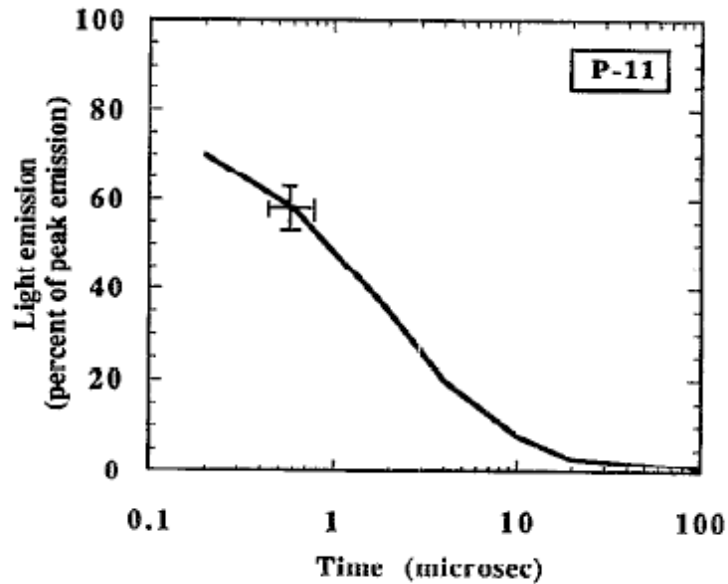


FIG. 8. Time evolution of the light emission from the ZnS(Ag) under a single excitation (single pulse). The light emission drops below 10% of the peak level (not shown here but which corresponds to a level of 100 at $t=0$) in less than 10 μ s.

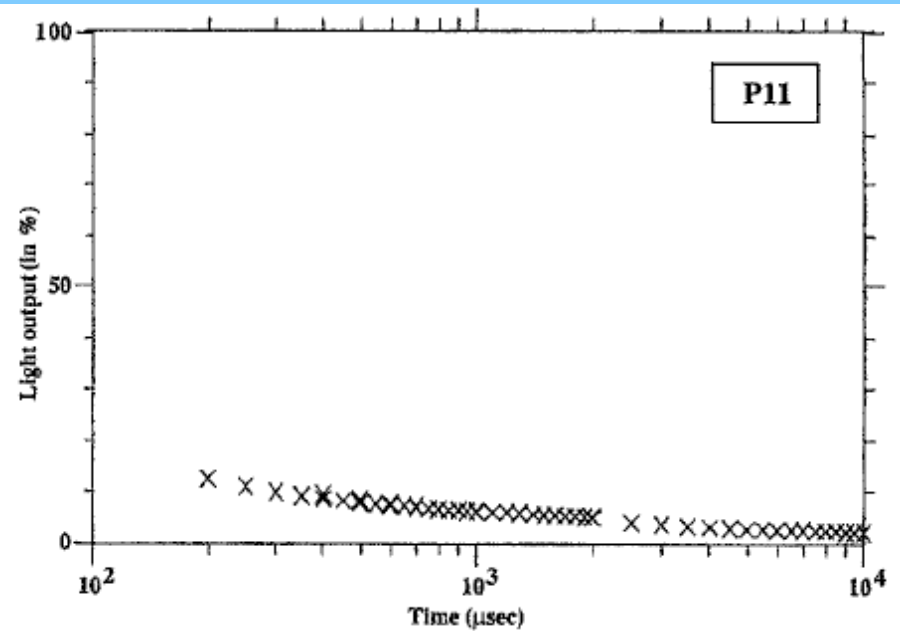


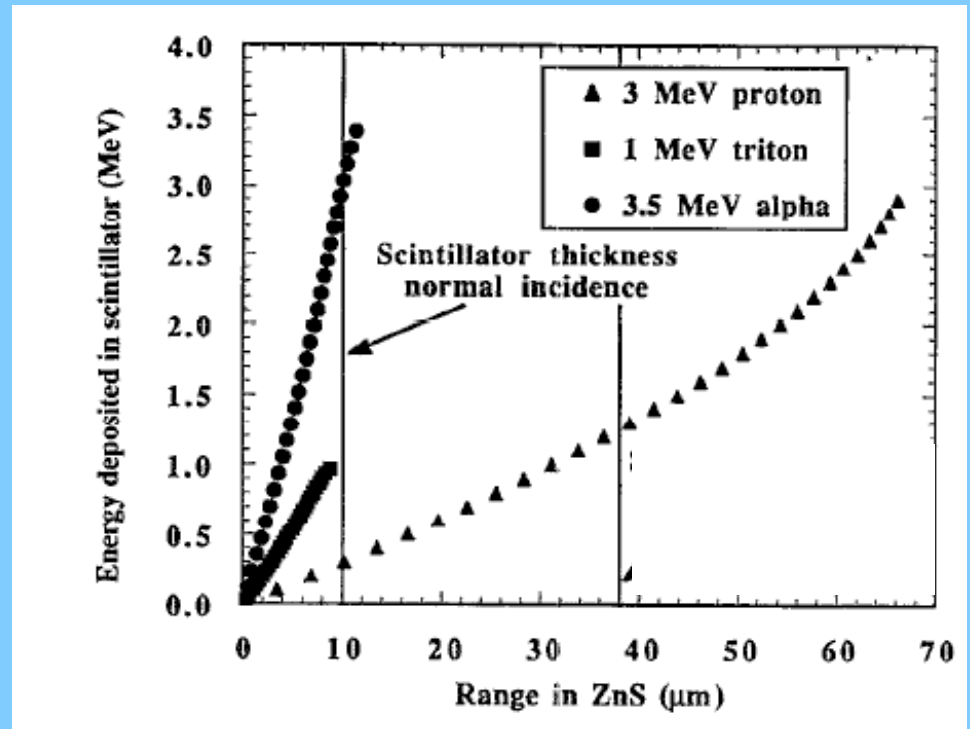
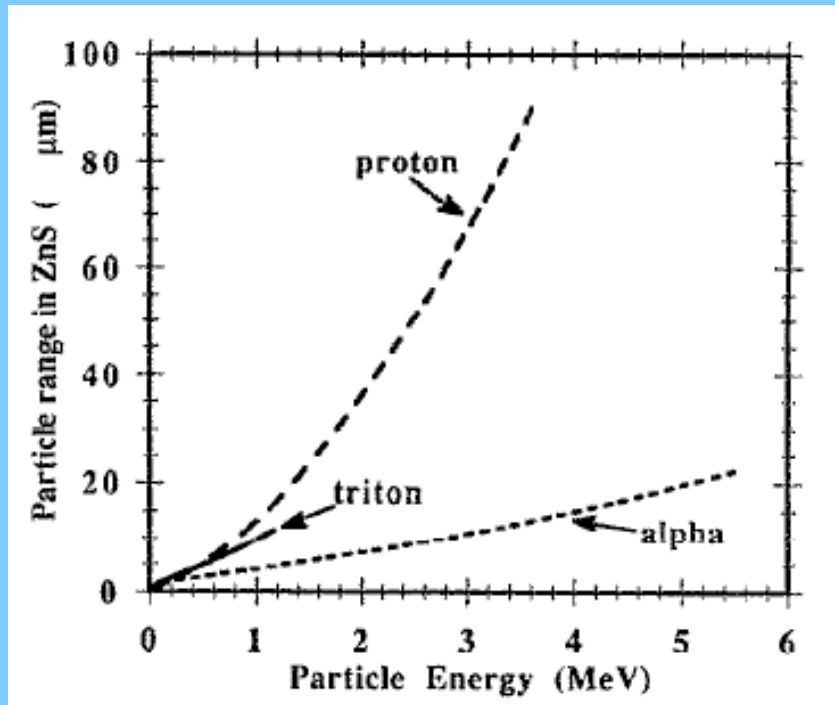
FIG. 9. Time evolution of the light emission from the ZnS(Ag) under multiple excitations. The light emission drops below 10% of the peak level (= 100 at $t=0$) in less than 1 ms, indicating the presence of a slower time constant.

Scintillator	Light yield (photons/keV)	Light output (%) of NaI(Tl) bialkali PMT	Temperature coefficient of light output (%/C) 25°C to 50°C	1/e Decay time (ns) (10 ⁻³ μs)	Wavelength of maximum emission γm (nm)	Refractive Index at γm	Thickness to stop 50% of 662 keV photons (cm)	Thermal expansion (/C) x 10 ⁻⁶	Cleavage plane	Hardness (Mho)	Density g/cm ³	Hygroscopic	Comments
NaI(Tl)	38	100	-0.3	250	415	1.85	2.5	47.4	<100>	2	3.67	yes	General purpose; excellent energy & good time resolution
Polyscin® NaI(Tl)									none				Polycrystalline NaI(Tl); for extra strength
CsI(Tl)	54	45	0.01	1000	550	1.79	2	54	none	2	4.51	slightly	High Z; rugged; good match to photodiodes & red PMT
CsI(Na)	41	85	-0.05	630	420	1.84	2	54	none	2	4.51	yes	High Z; rugged; good match to bialkali PMT
CsI(pure)	2	4-6	-0.3	16	315	1.95	2	54	none	2	4.51	slightly	High Z; fast emission
BGO	8 - 10	20	-1.20	300	480	2.15	1	7	none	5	7.13	no	High Z; compact detector; low afterglow
BaF ₂	1.8	3	0	0.6 - 0.8	220(195)	1.54	1.9	18.4	<111>	3	4.88	slightly	Fast component for fast time resolution
	10	16	-1.1	630	310	1.50	1.9	18.4	<111>	3	4.88	slightly	Slow component
CaF ₂ (Eu)	19	50	-0.33	940	435	1.47	2.9	19.5	<111>	4	3.18	no	Low Z; α & β detection
CdWO ₄	12 - 15	30-50	-0.1	14000	475	~2.3	1	10.2	<010>	4 - 4.5	7.9	no	High Z; low afterglow; for use with photodiodes
BrillanCe™ 350 LaCl ₃ (Ce)	49	70-90	0.7	28	350	~1.9	2.4	11	<100>		3.79	yes	General purpose; best energy & fast time resolution
BrillanCe™ 380 LaBr ₃ (Ce)	63	130	0	26	380	~1.9	1.8	8	<100>		5.29	yes	General purpose; best energy & fast time resolution
PreLude™ 420 Lu _{1.8} Y _{0.2} SiO ₅ (Ce)	32	75	0.04	41	420	1.81	1.1	-	none		7.1	no	Bright; high Z, fast, dense; excellent time resolution
ZnS(Ag)	~50	130	-0.6	110	450	2.36	-	-	-	-	4.09	no	Multicrystal; 15μ stops 5.5 MeV (n detection with ⁶ Li)
YAP(Ce), YAlO ₃ (Ce)	18	40	-0.1	27	350	1.94	1.7	~80	none	8.5	5.55	no	Low Z; rate of change of light output w/temperature is small
YAG(Ce), Y ₃ Al ₅ O ₁₂ (Ce)	8	15	-	70	550	1.82	2	~80	none	8.5	4.55	no	β; X-ray counting; electron microscopy

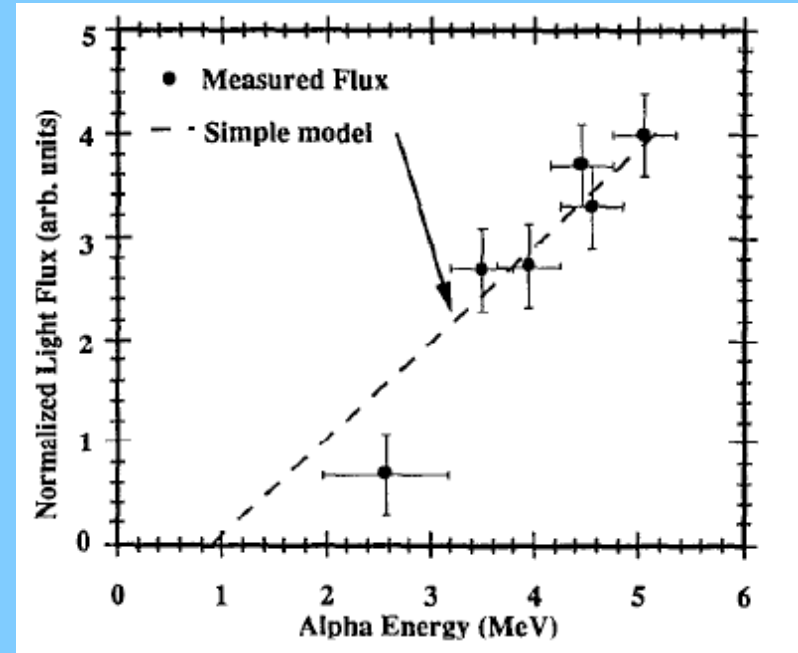
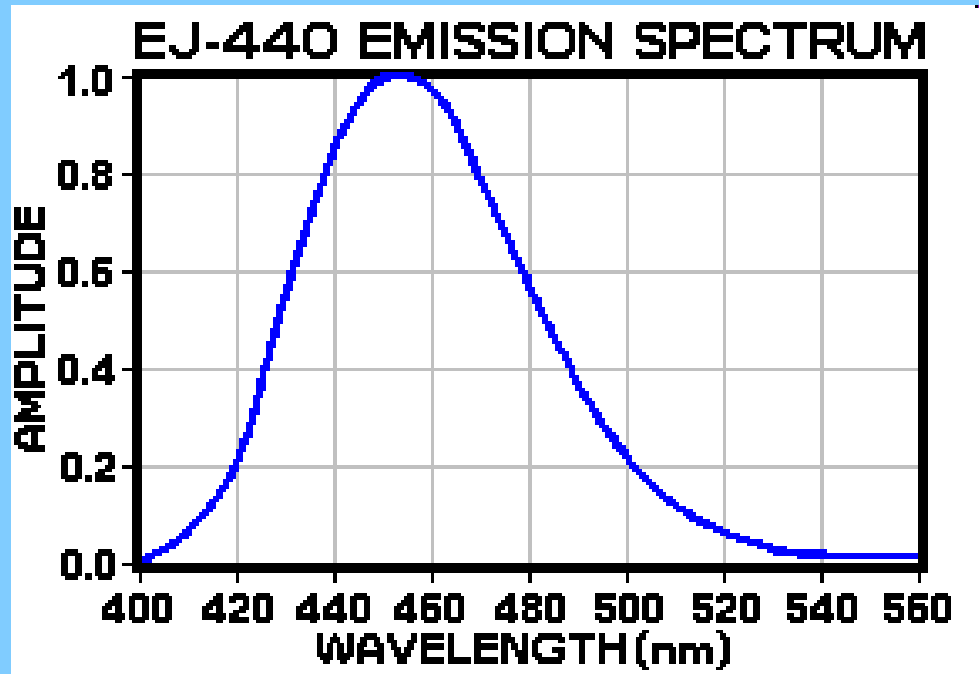
Properties –

Density [g/cm ³]	4.09
Cleavage plane	polycrystalline
Wavelength of emission max. [nm]	450
Lower wavelength cutoff [nm]	330
Refractive index @ emission max	2.36
Photoelectron yield [% of NaI(Tl)] (for γ -rays)	130
Decay constant [ns]	110



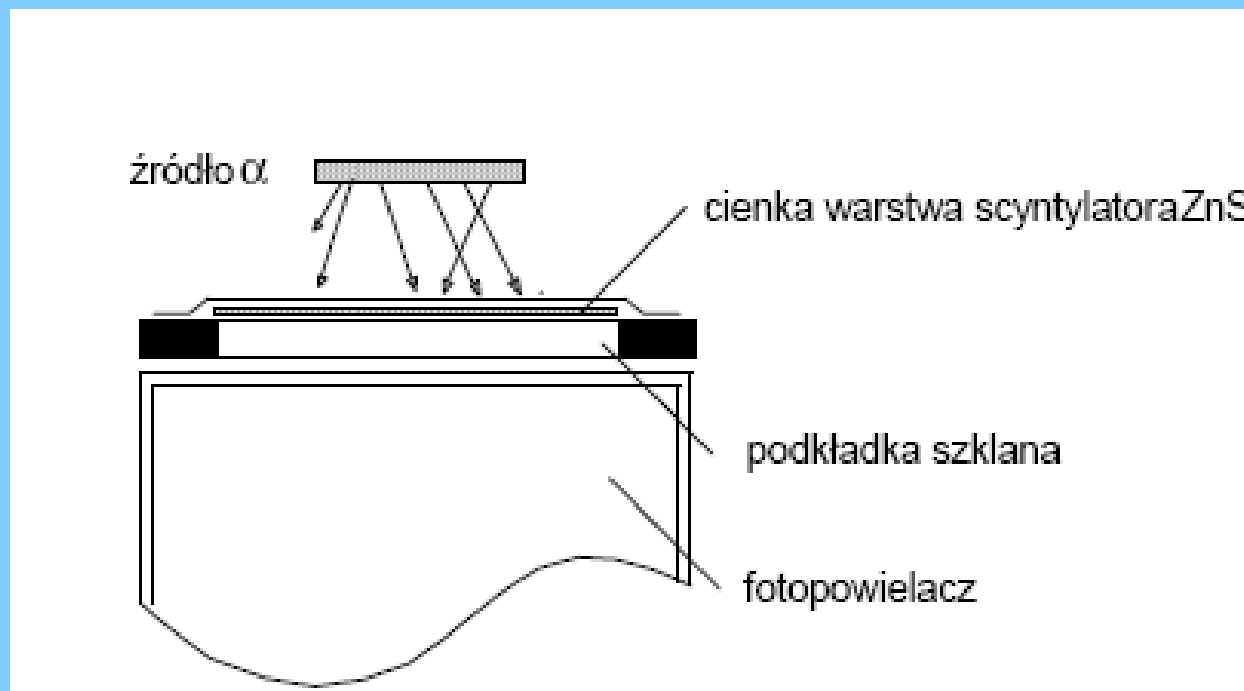


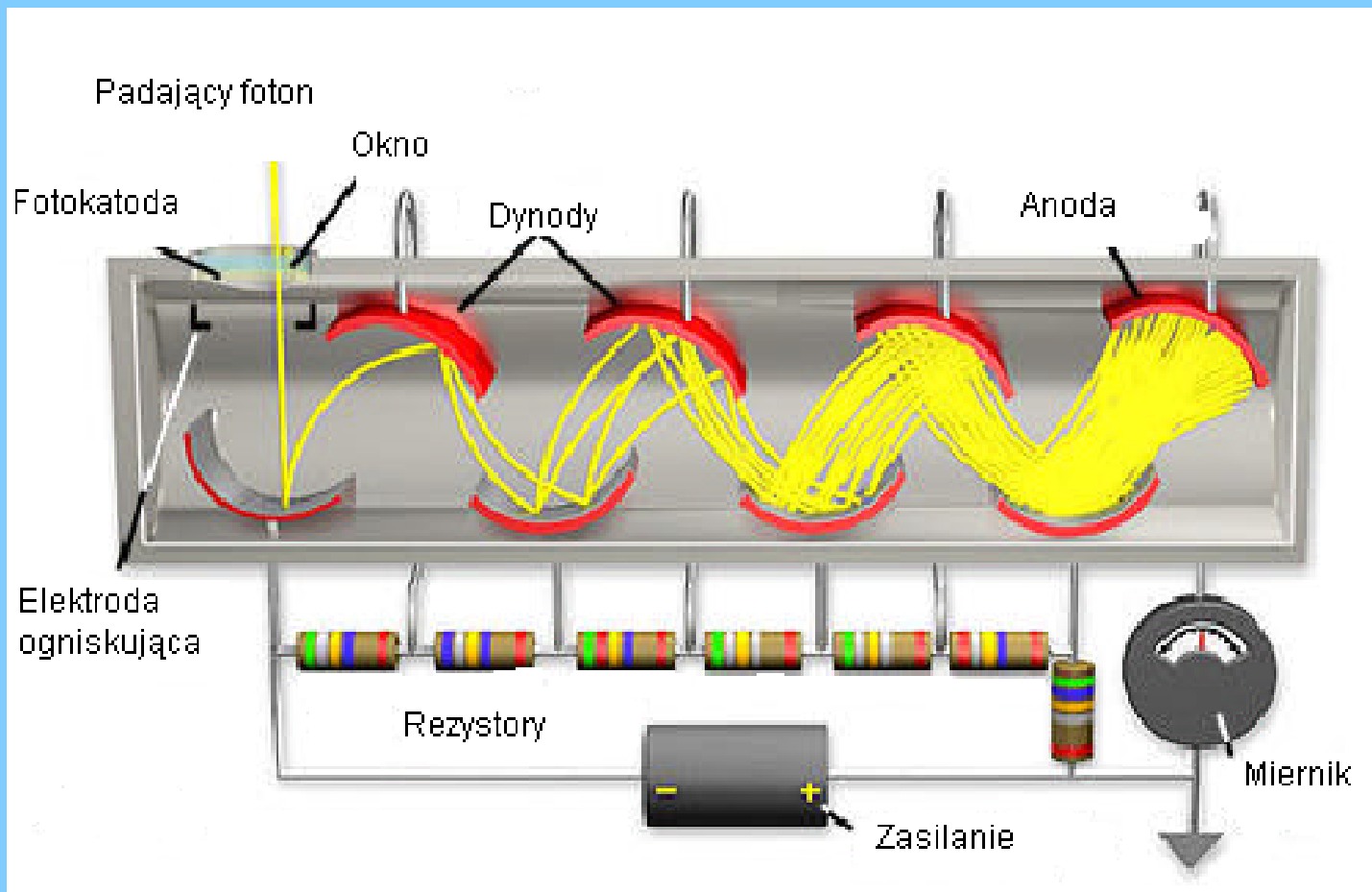
W praktyce scyntylatory są dosyć cienkie (0.25 mm).

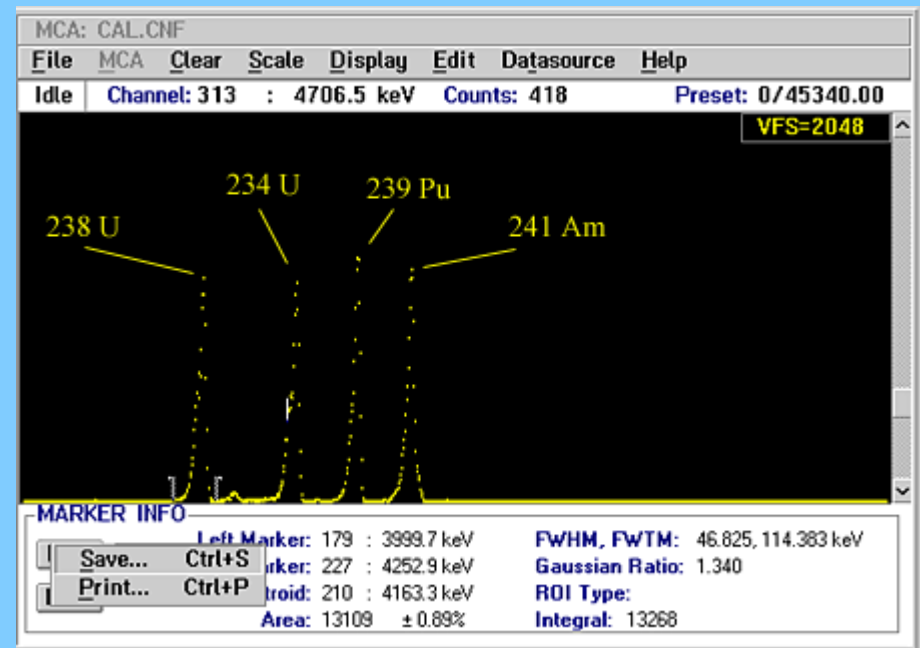
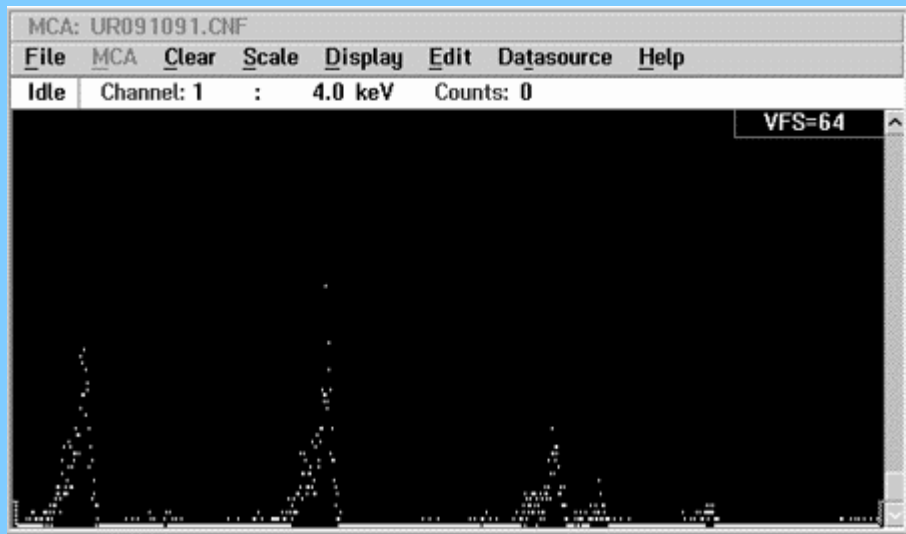
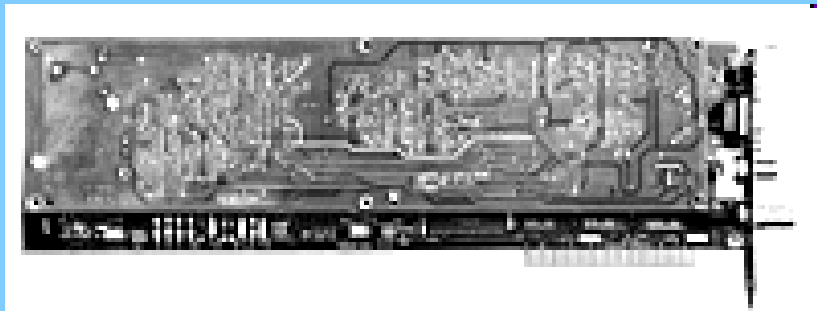


<http://ojps.aip.org/rsio/rsicr.jsp> „Calibration of the TFTR lost alpha diagnostic”

<http://www.apace-science.com/eljen/ej-440.htm>







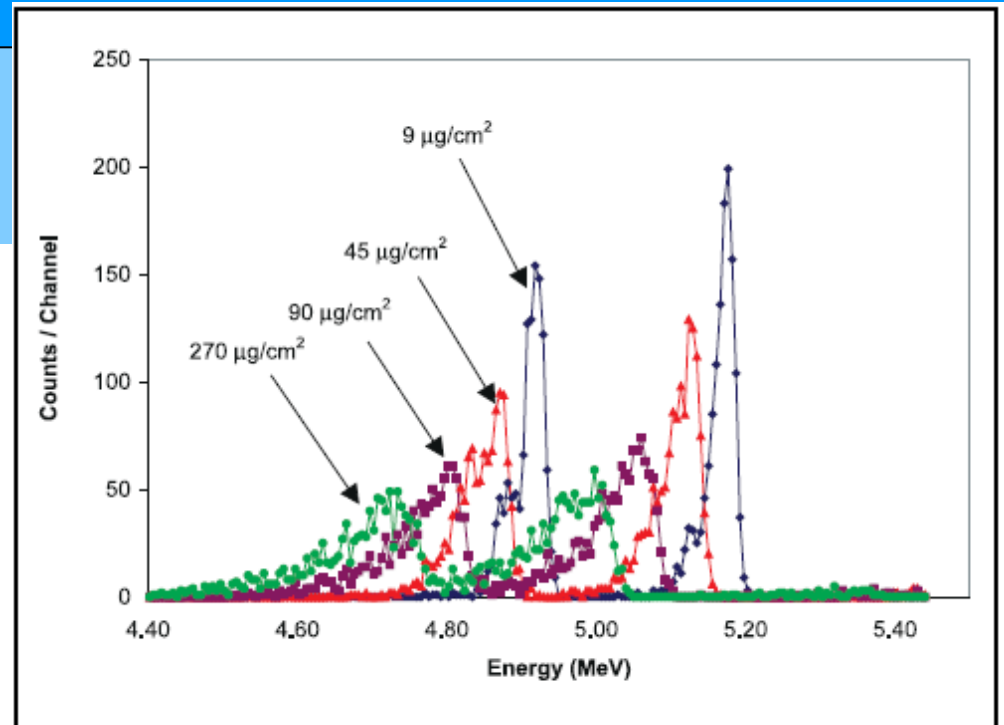
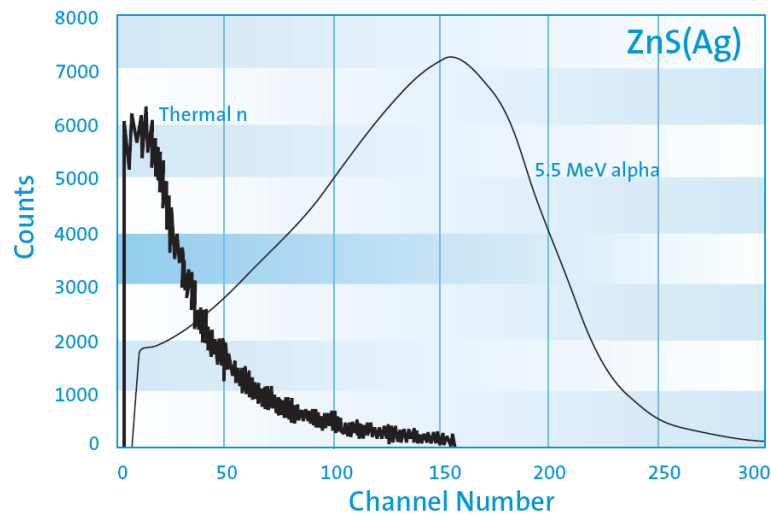


Figure 1

Illustration of the effect of the air thickness on the position and resolution of the peaks. Four spectra are displayed in this diagram with the arrows pointing to the ^{242}Pu (4.9 MeV) peak of each. The energy scale is based on the energy calibration of the spectrum with an air thickness of 9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.