

Oddziaływanie i detekcja neutronów

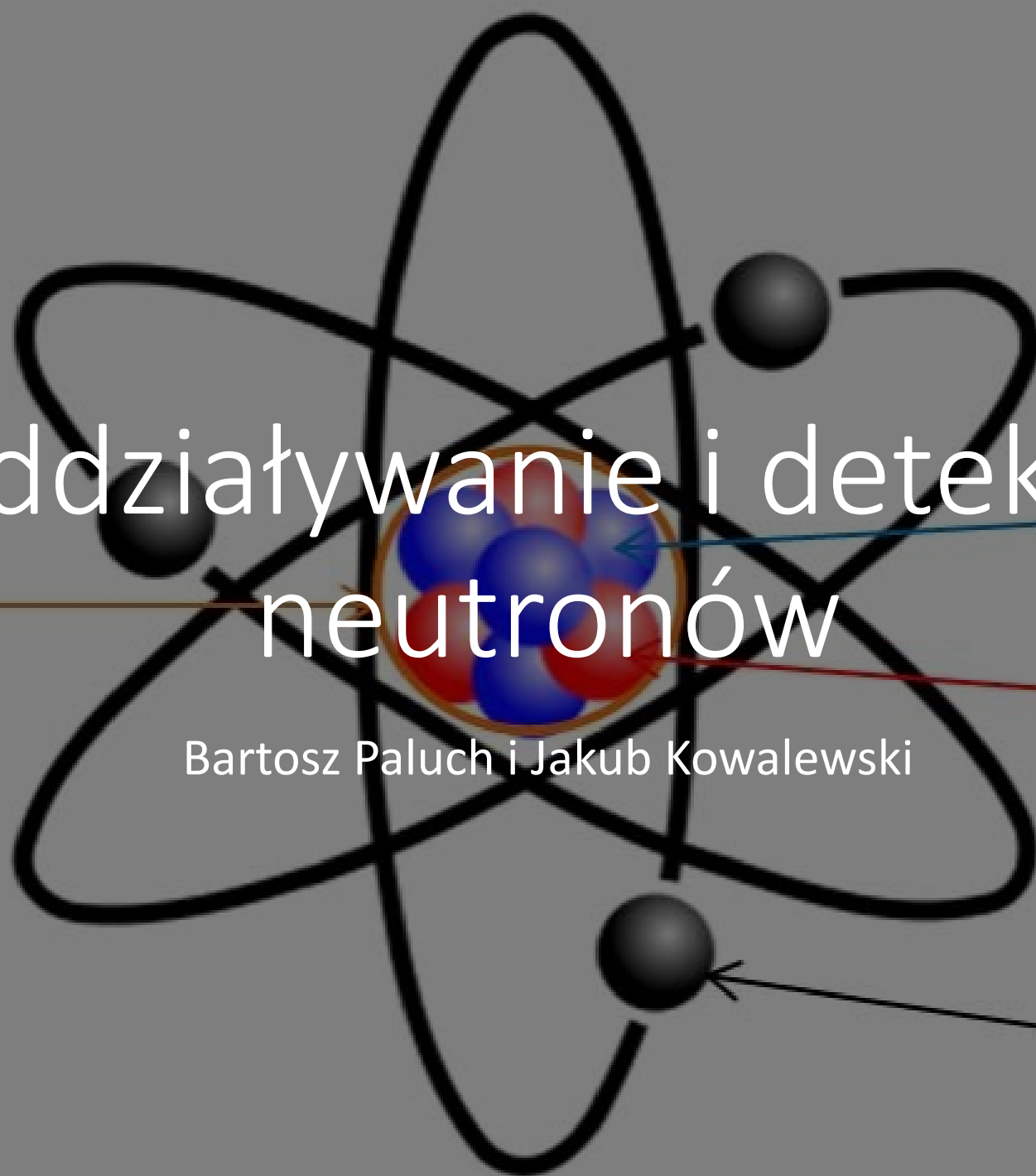
NUCLEUS

PROTON

NEUTRON

ELECTRON

Bartosz Paluch i Jakub Kowalewski



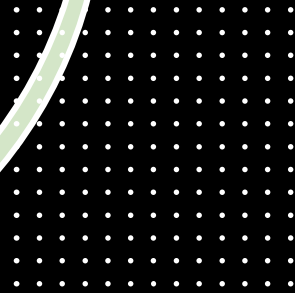
Spis treści

1. Charakteryzacja neutronów i historia ich odkrycia
2. Moderacja, rozproszenia oraz wychwyty neutronów
3. Detekcja neutronów
4. Oddziaływanie neutronów termicznych oraz prędkich z materią
5. Rola neutronów w kalorymetrach hadronowych
6. Zniszczenia radiacyjne
7. ?



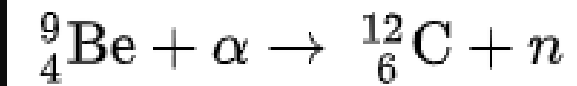
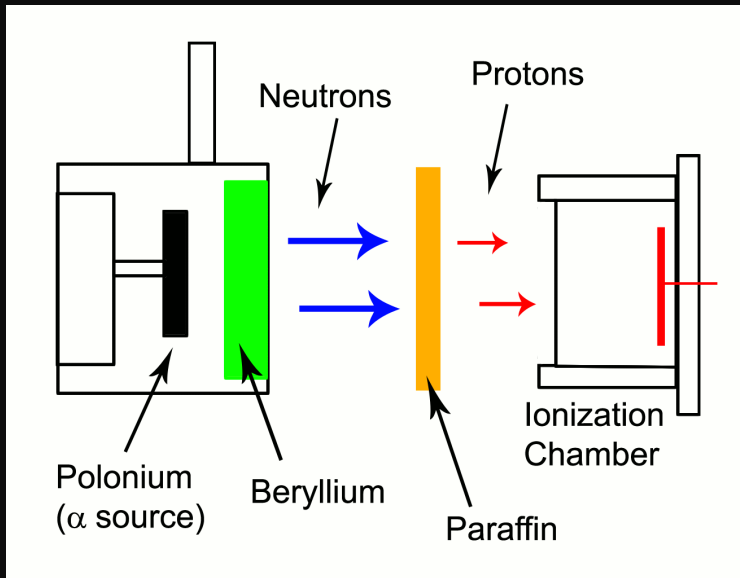
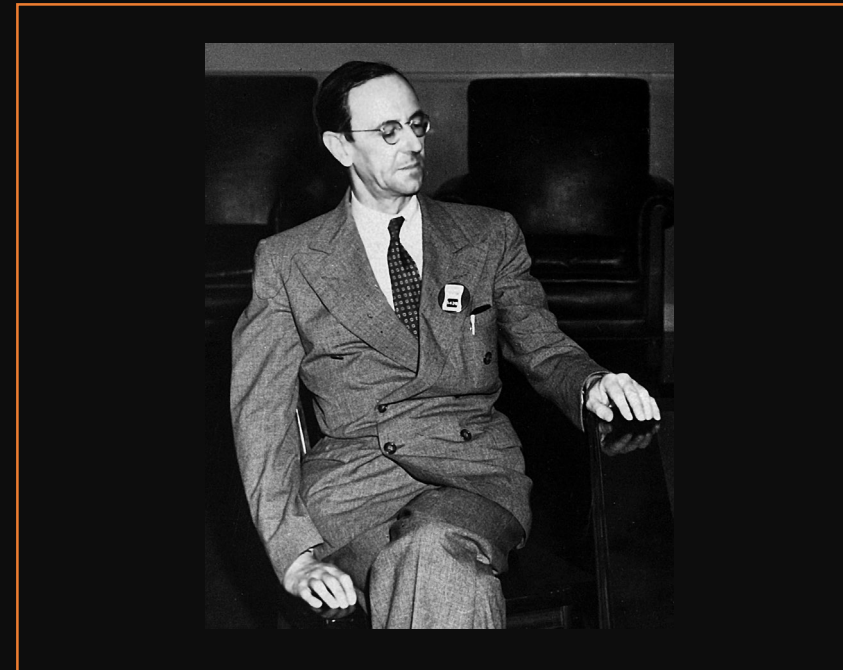
Czym jest?

- Hadron należący do barionów
- Obojętny elektrycznie
- Spin równy $\frac{1}{2}$
- R.I.P 885,6 s
- $M=1,67 \cdot 10^{-27}$ kg



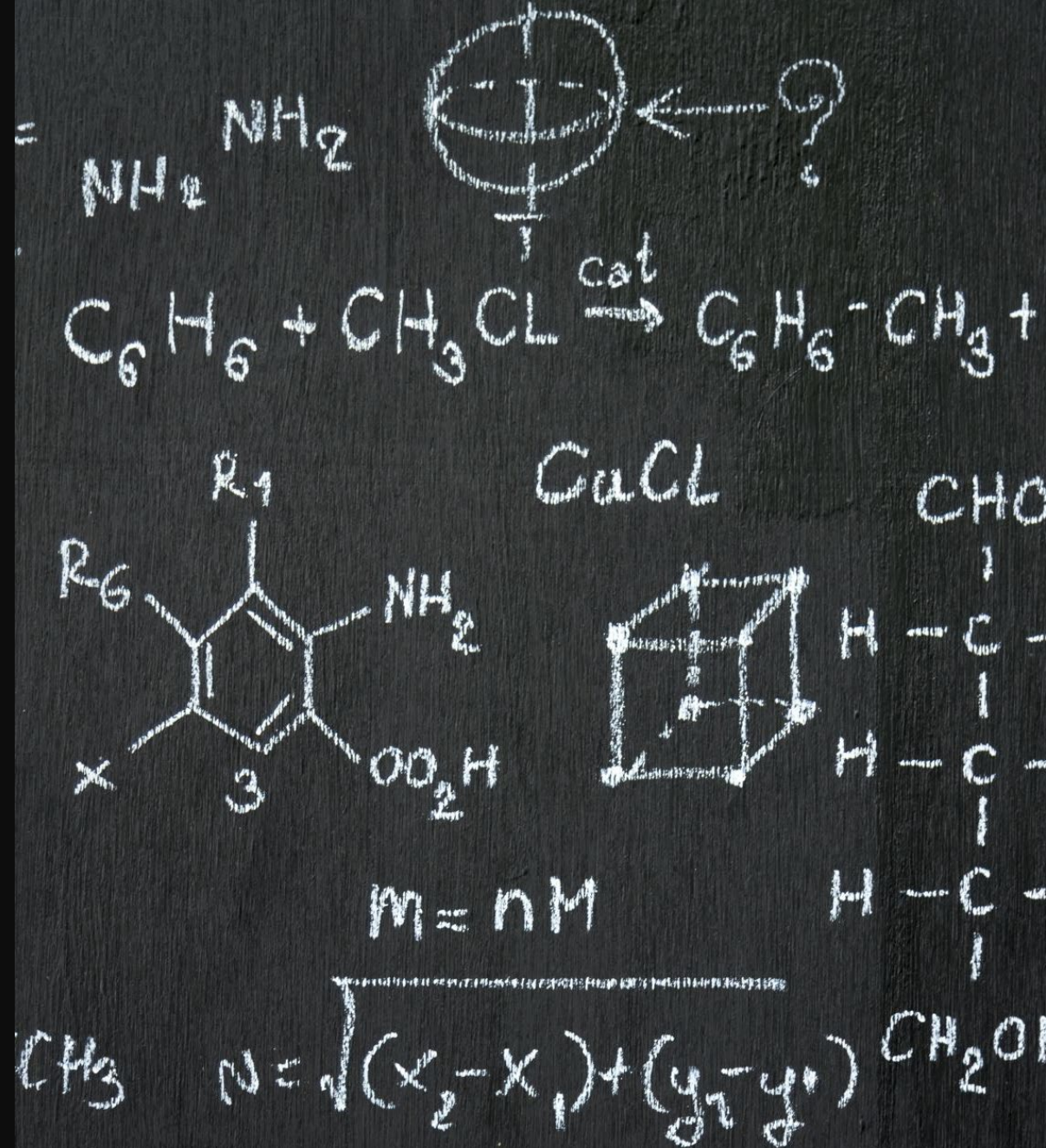
Historia odkrycia

- 1930 r Walther Bothe i Herbert Becker bombardowali beryl cząstkami α
- Odkrycie nieznanego promieniowania
- 1932 r James Chadwick kontynuował badania nad tym promieniowaniem



Zależność od Energii

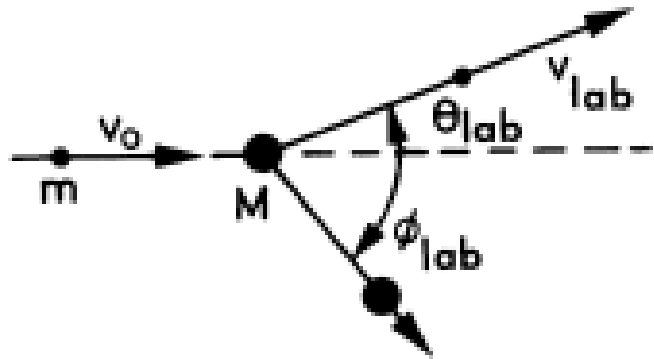
- Wysoko energetyczne: $E \leq 100\text{MeV}$
- Neutrony szybkie: od kilku keV do kilku MeV
- Neutrony Epitermiczne: $0.1\text{eV} - 100\text{keV}$
- Wolne/ termiczne: $E = kT_{\text{pokojoowa}} = 1/40\text{eV}$
- Neutrony zimne lub ultra zimne: mili- mikro eV



Moderacja



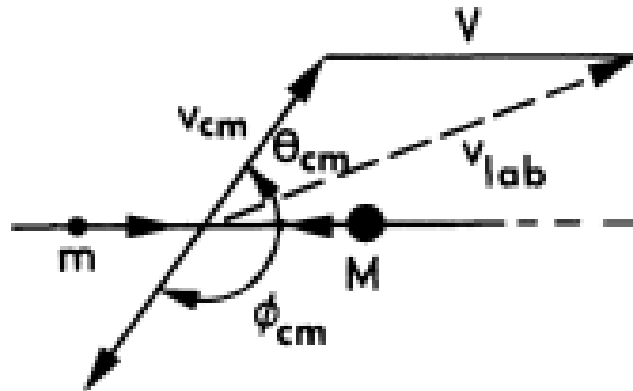
LAB SYSTEM



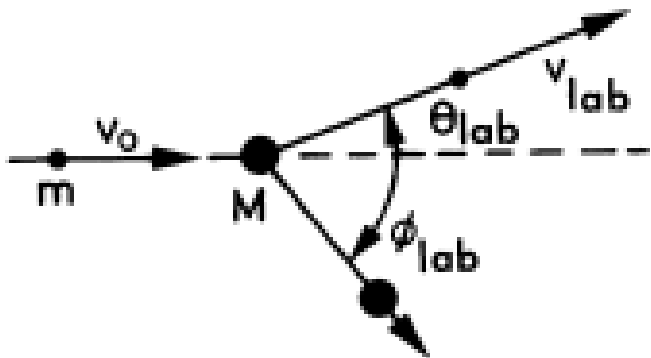
Rozproszenia

- $D=10^{-13}$ cm, gdzie D to odległość neutronu od jądra

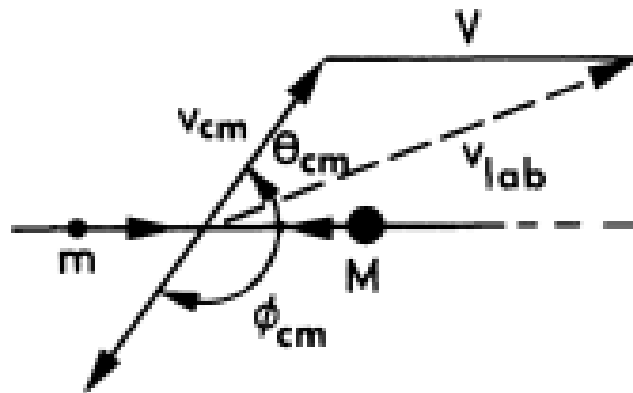
CM SYSTEM



LAB SYSTEM



CM SYSTEM



Rozproszenia Elastyczne $A(n, n)A$

- $D=10^{-13}$ cm, gdzie D to odległość neutronu od jądra
- Założenia
- $M_n=1$
- $Ma=A$

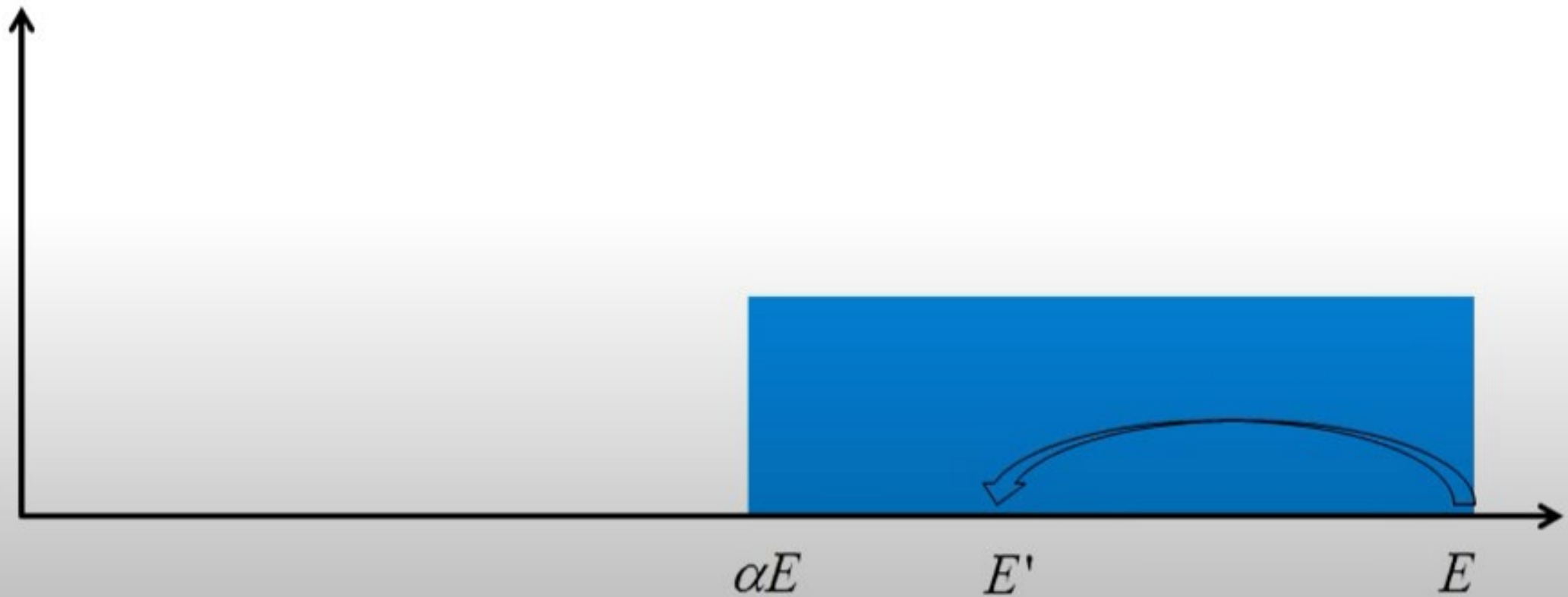
„Half way through”

- Energia rozproszonego neutronu

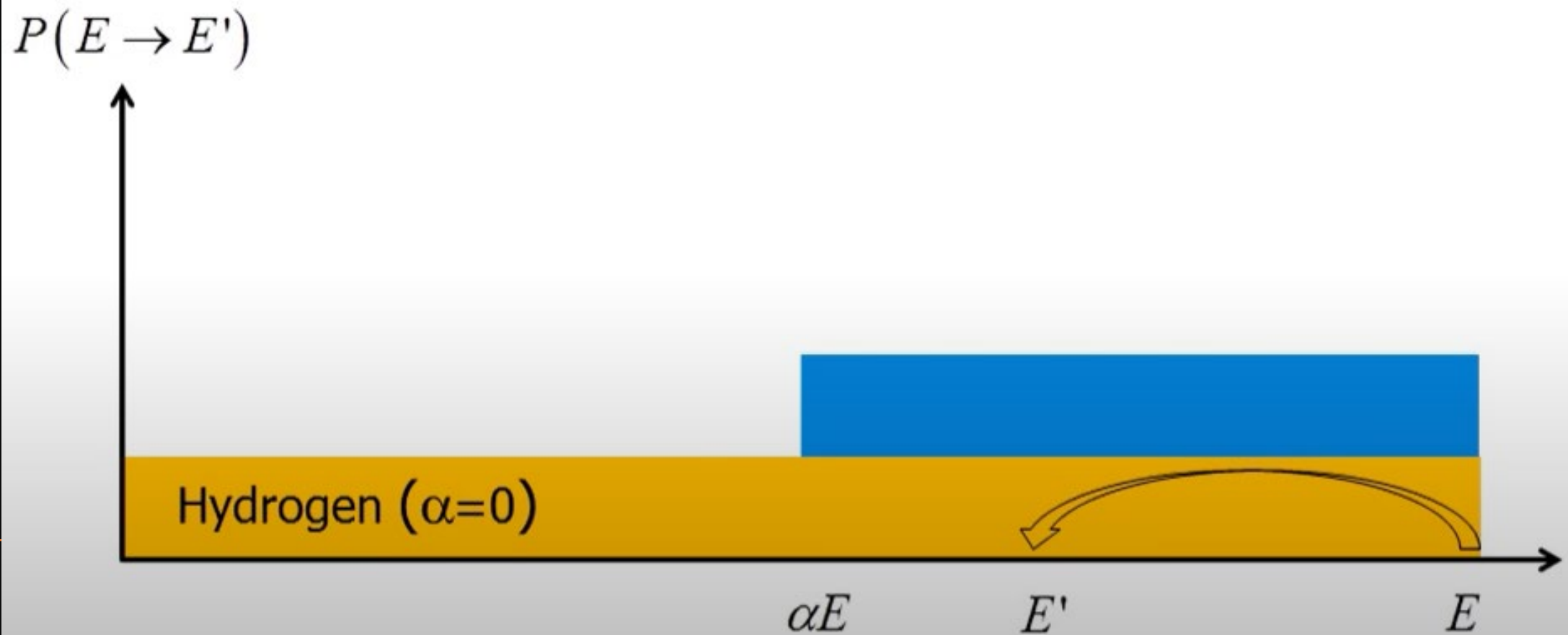
$$\alpha E < E' < E \quad \text{with} \quad \alpha = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2$$

$$P(E \rightarrow E') = \begin{cases} \frac{1}{(1-\alpha)E} & \text{for } \alpha E < E' < E \text{ with } \alpha = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$P(E \rightarrow E')$

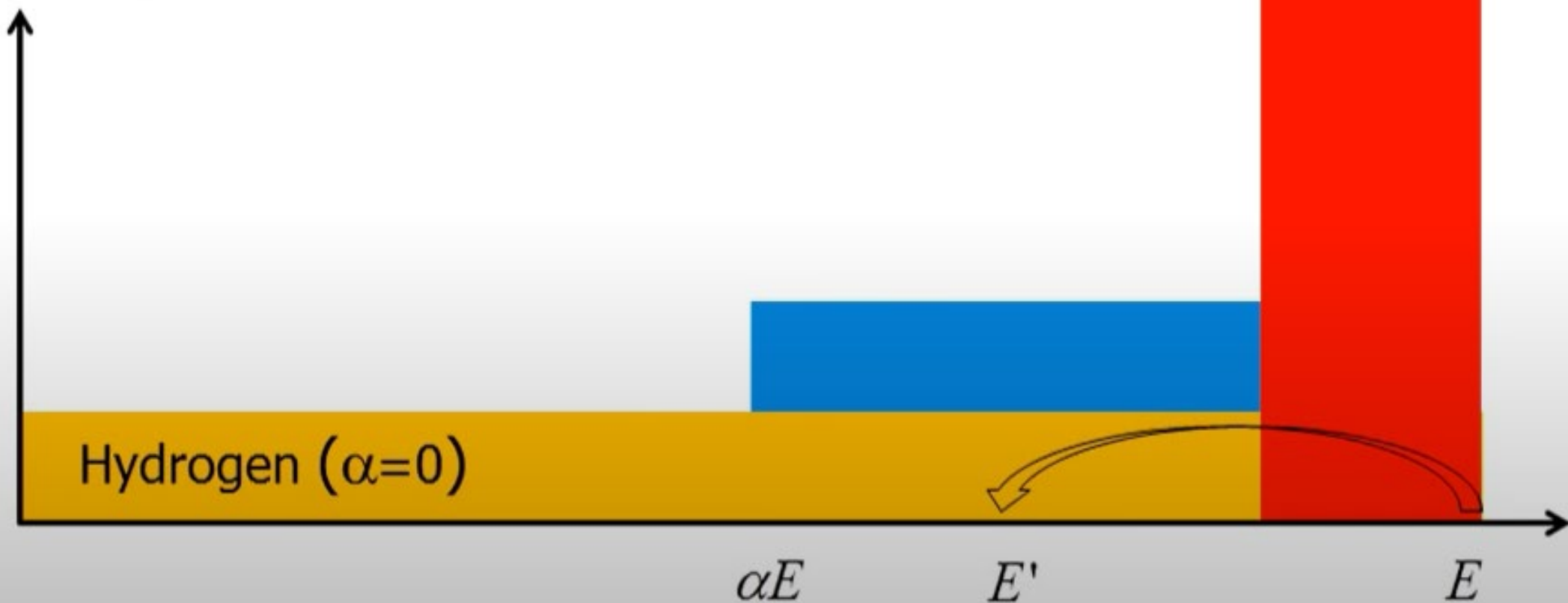


$$P(E \rightarrow E') = \begin{cases} \frac{1}{(1-\alpha)E} & \text{for } \alpha E < E' < E \text{ with } \alpha = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$



$$P(E \rightarrow E') = \begin{cases} \frac{1}{(1-\alpha)E} & \text{for } \alpha E < E' < E \text{ with } \alpha = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$P(E \rightarrow E')$



Wnioski

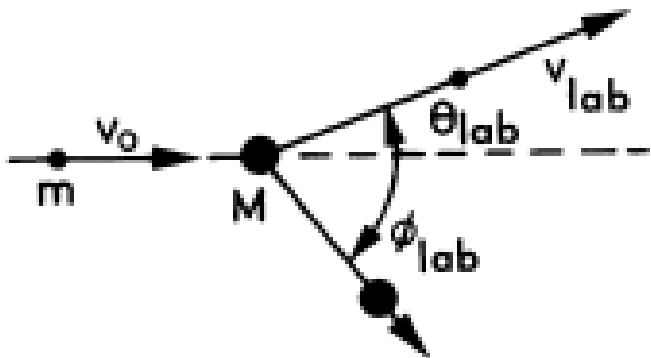
- Energia rozproszonego neutronu

$$\alpha E < E' < E \quad \text{with} \quad \alpha = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2$$

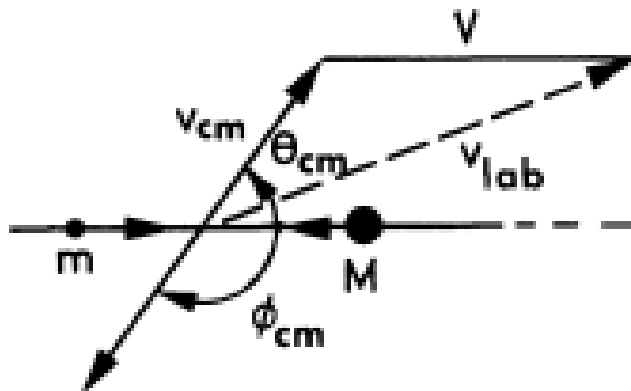
- Energia rozproszenia na protonach

$$0 < E' < E$$

LAB SYSTEM



CM SYSTEM



Rozproszenia nieelastyczne

- Przykłady:
 - $A(n, n)A^*$
 - $A(n, 2n')B$
- Założenia
- Większa energia od elastycznych rzędu 1MeV

Oddziaływanie neutronów z materią

Wychwyty radiacyjny neutronu

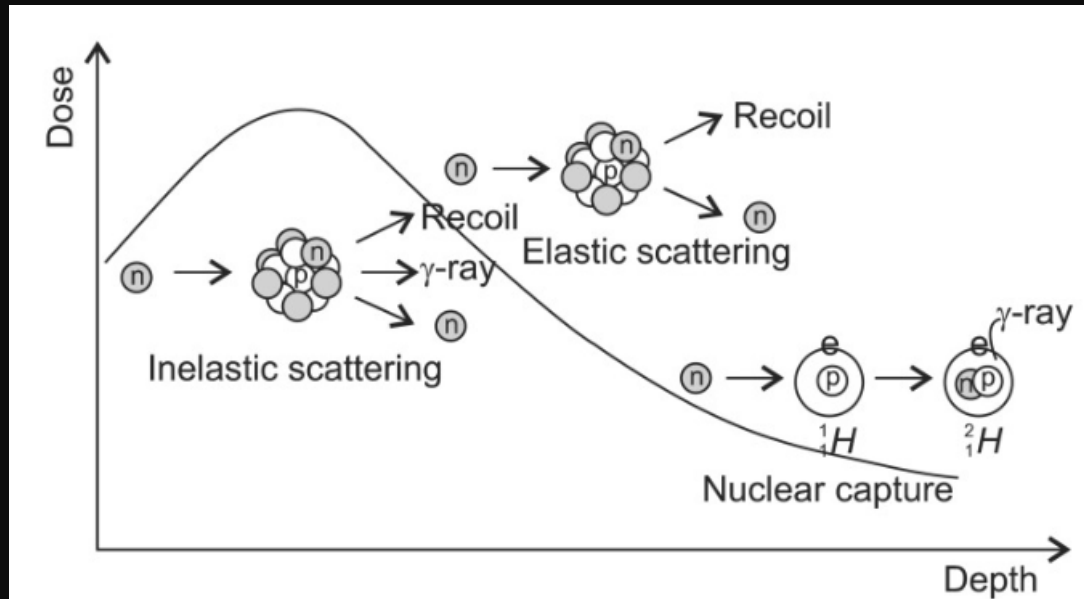
Wychwyty neutronu – reakcja jądrowa, w której jądro atomowe przyłącza neutron lub neutrony i formuje się nowe cięższe jądro.

Najprostszym detektorem neutronów termicznych, wykorzystującym wychwyty neutronów może być licznik G-M osłonięty blachą kadmową. Zachodzi wtedy reakcja:



Prawdopodobieństwo oddziaływania z Materią

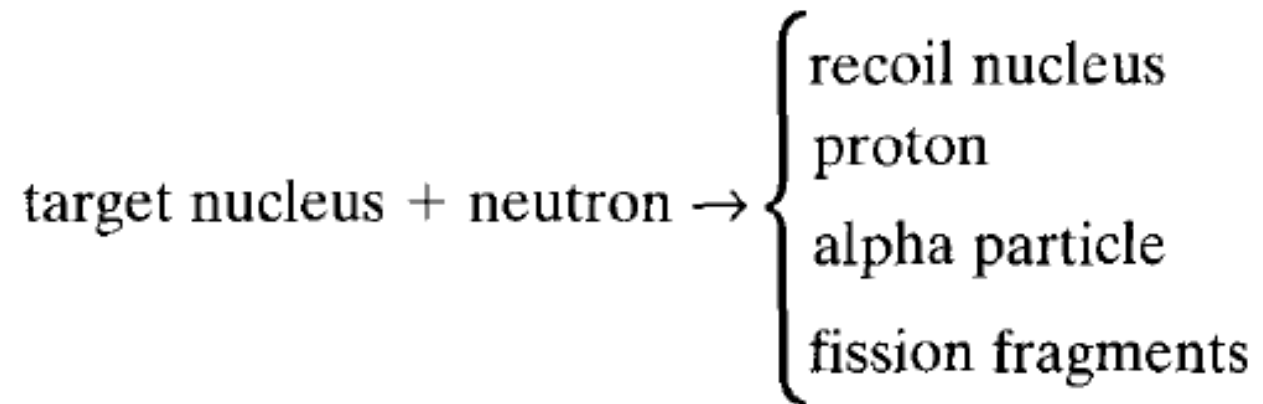
$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{elastic}} + \sigma_{\text{inelastic}} + \sigma_{\text{capture}} + \dots$$



Detekcja neutronów termicznych

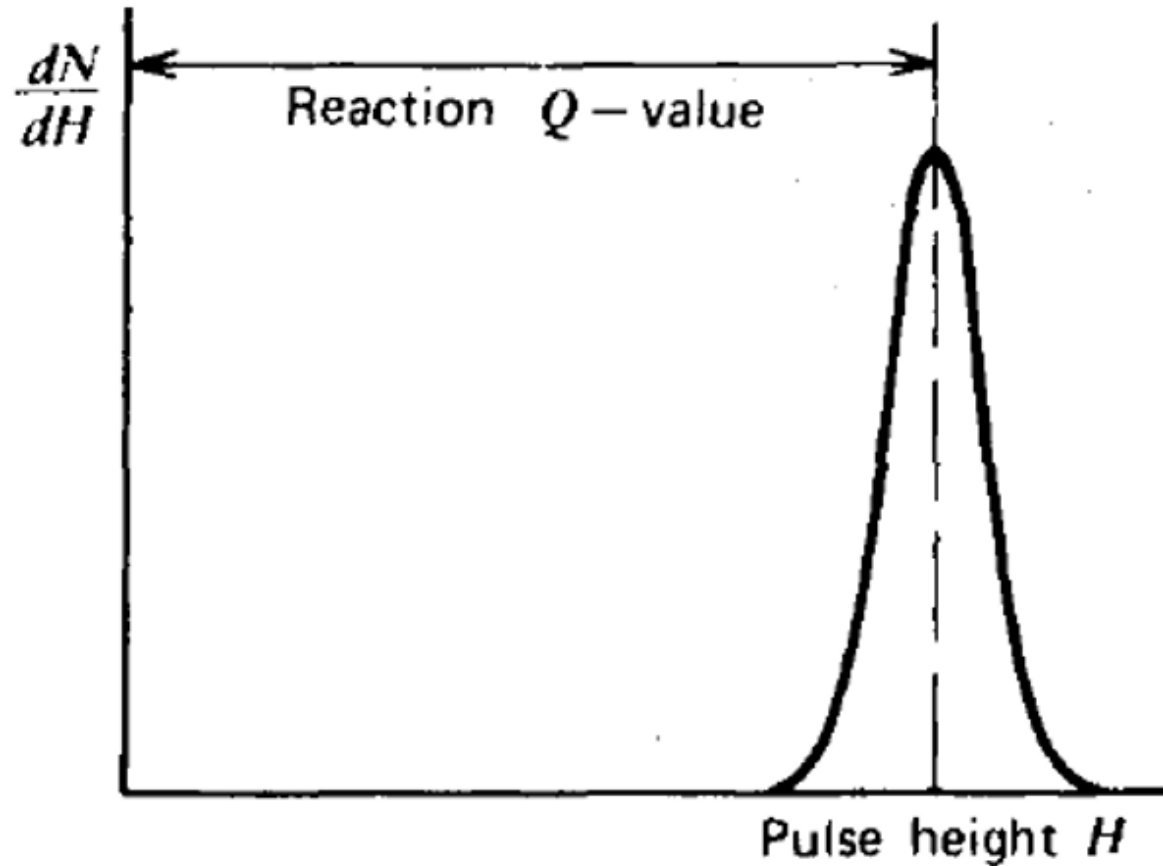
Ogólna idea detekcji

Projektując dobry detektor neutronów należy wziąć pod uwagę wiele czynników, np. przekrój czynny na oddziaływanie oraz filtrację fotonów.



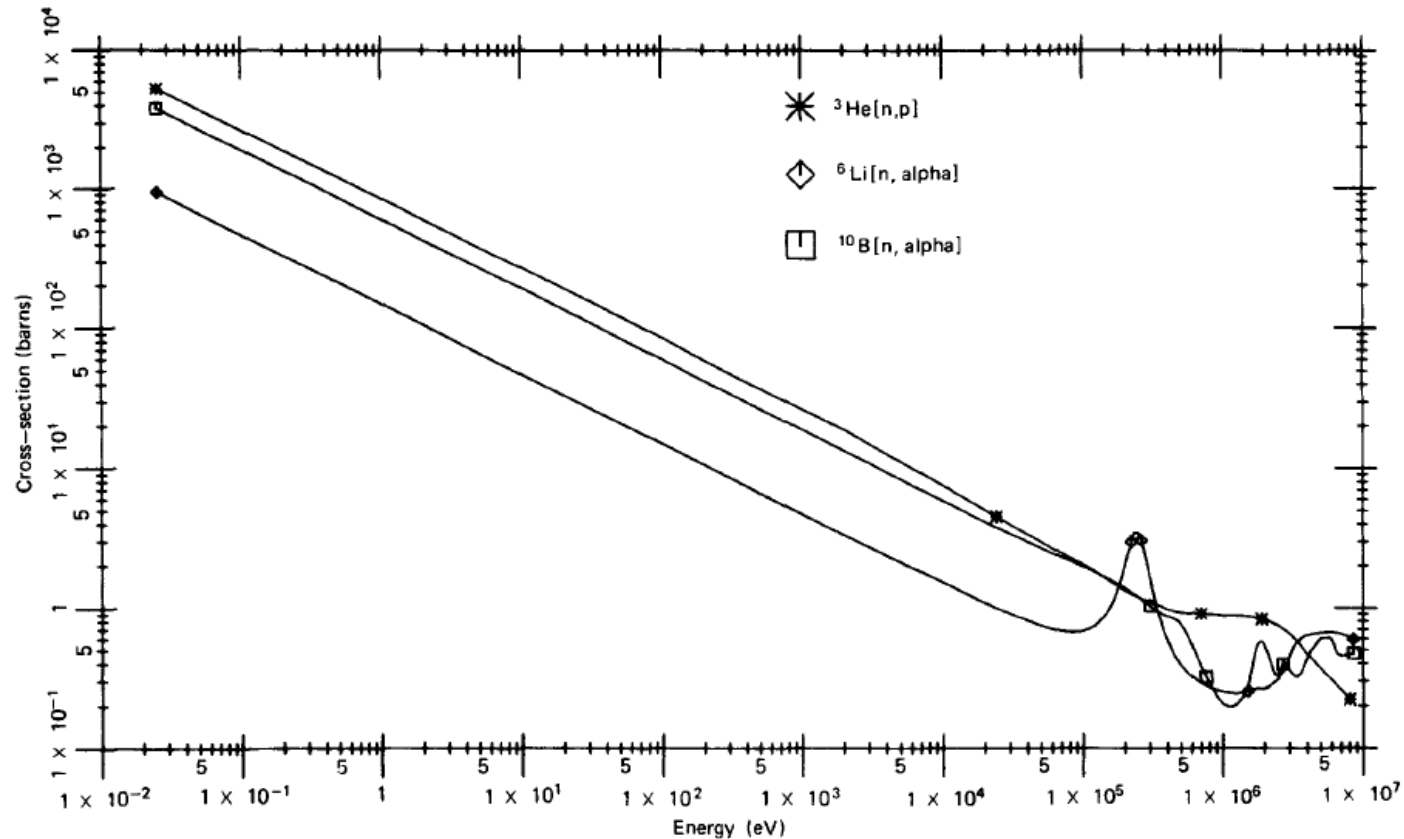
Detekcja neutronów termicznych

Reakcje neutronów z materią



Detekcja neutronów termicznych

Reakcje neutronów z materią

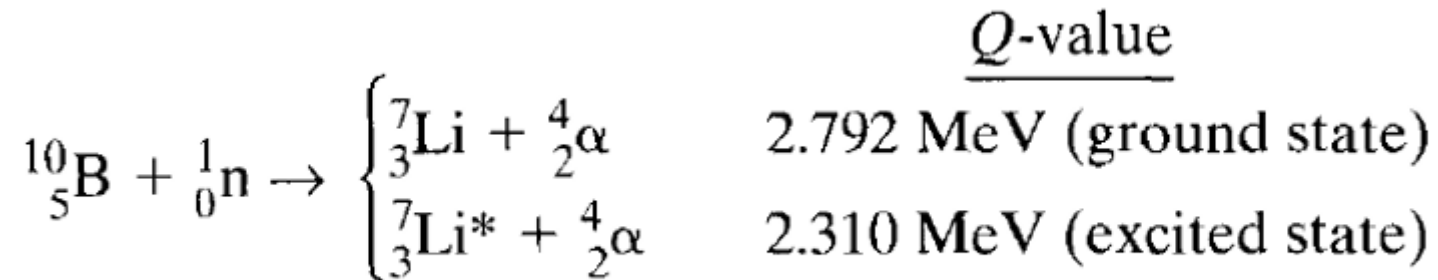


Przekrój czynny na oddziaływanie neutronów termicznych w wybranych reakcjach

Reakcje fizyczne neutronów termicznych

Reakcja z B-10

Jedną z popularniejszych reakcji konwersji neutronów termicznych w bezpośrednio mierzalne cząstki jest reakcja $^{10}\text{B}(n,\alpha)$:

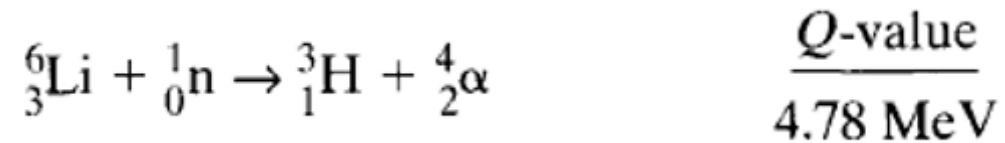


$$\begin{aligned} E_{\text{Li}} + E_{\alpha} &= Q = 2.31 \text{ MeV} \\ m_{\text{Li}} v_{\text{Li}} &= m_{\alpha} v_{\alpha} \\ \sqrt{2m_{\text{Li}}E_{\text{Li}}} &= \sqrt{2m_{\alpha}E_{\alpha}} \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \begin{aligned} E_{\text{Li}} &= 0.84 \text{ MeV} \\ E_{\alpha} &= 1.47 \text{ MeV} \end{aligned}$$

Reakcje fizyczne neutronów termicznych

Reakcja z Li-6

Inną popularną reakcją dającą cząstki nadające się do bezpośredniej detekcji jest reakcja ${}^6\text{Li}(n,\alpha)$:

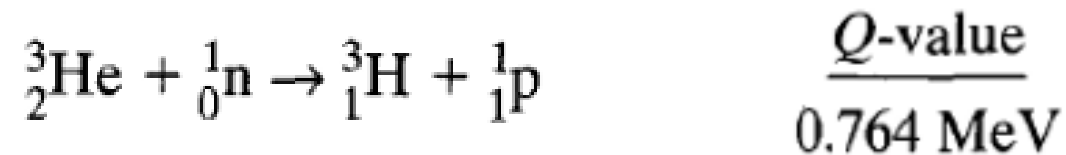


$$E_{{}^3_1\text{H}} = 2.73 \text{ MeV} \quad E_{\alpha} = 2.05 \text{ MeV}$$

Reakcje fizyczne neutronów termicznych

Reakcja z He-3

Gazowy He-3 jest jednym z częściej występujących czynników do detekcji neutronów termicznych. Przekrój czynny tej reakcji wynosi standardowo 5330 barnów.



$$E_p = 0.573 \text{ MeV} \quad E_{3\text{H}} = 0.191 \text{ MeV}$$

Reakcje fizyczne neutronów termicznych

Inne reakcje z borem

A. BF_3 Tube Pulse Height Spectra—The Wall Effect

B. BF_3 Tube Construction

C. Gamma-Ray Discrimination

D. Detection Efficiency of a BF_3 Tube

E. Boron-Lined Proportional Counters

F. Boron-Loaded Scintillators

Reakcje fizyczne neutronów termicznych

Detektory bazujące na innych metodach konwersji

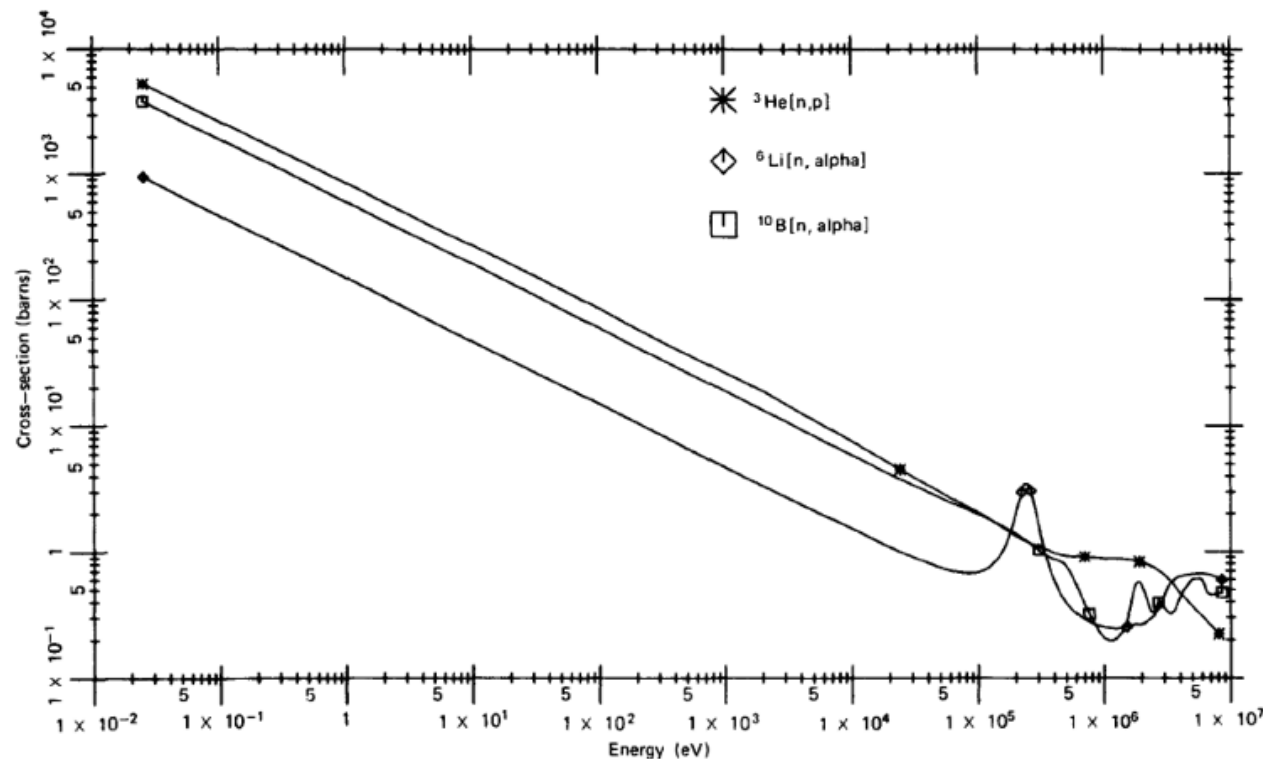
A. Lithium-Containing Slow Neutron Detectors

B. The ^3He Proportional Counter

C. Fission Counters

Detekcja neutronów prędkich

Do tej pory dyskutowaliśmy szereg reakcji tworzenia cząstek bezpośrednio mierzalnych w detektorach przy użyciu neutronów termicznych. Co do zasady te same reakcje zachodzą dla neutronów termicznych, jednak są znacznie mniej prawdopodobne. To implikuje stosowanie pewnych modyfikacji w metodach detekcji.



Przekrój czynny na oddziaływanie neutronów termicznych w wybranych reakcjach

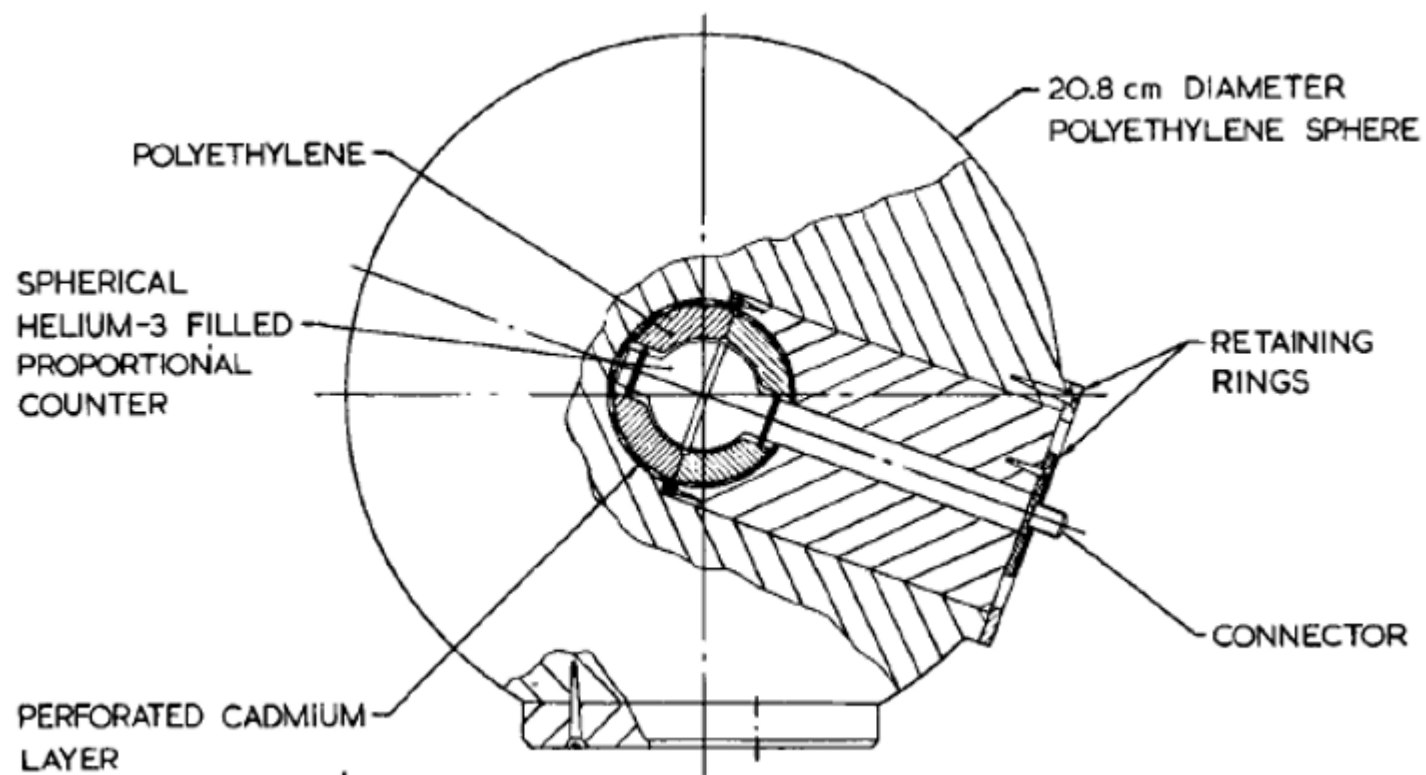
Detekcja neutronów prędkich

Moderowanie neutronów

Ogólna idea – spowalnianie przez zderzenia. Maksimum wydajności detektora monoenergetycznych neutronów szybkich występuje zazwyczaj dla ściśle określonej grubości moderatora.

Detekcja neutronów prędkich

Dozymetr sferyczny



Detekcja neutronów prędkich

Z wykorzystaniem ich reakcji

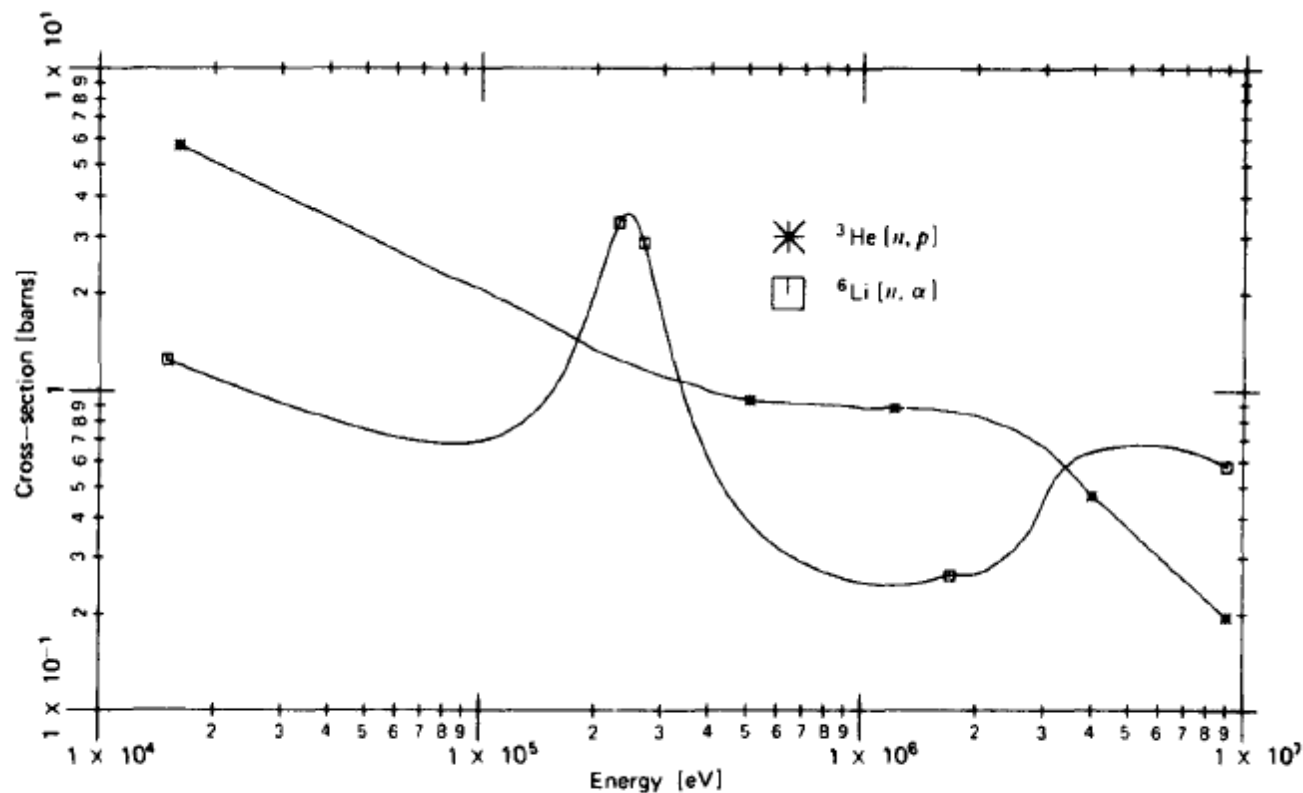


Figure 15.9 The ${}^3\text{He}(n,p)$ and ${}^6\text{Li}(n,\alpha)$ cross sections for the fast neutron region.

Detekcja neutronów prędkich

Detekcja z wykorzystaniem reakcji neutronów prędkich

Scyntylatory jodku litu, aktywowane europem

Scyntylatory ze szkła z dodatkiem litu

Scyntylatory z włókien szklanych z dodatkiem litu

Liczniki proporcjonalne He-3

Komory jonizacyjne He-3

Przekładane detektory półprzewodnikowe z opartymi na He-3

Kalorymetry hadronowe

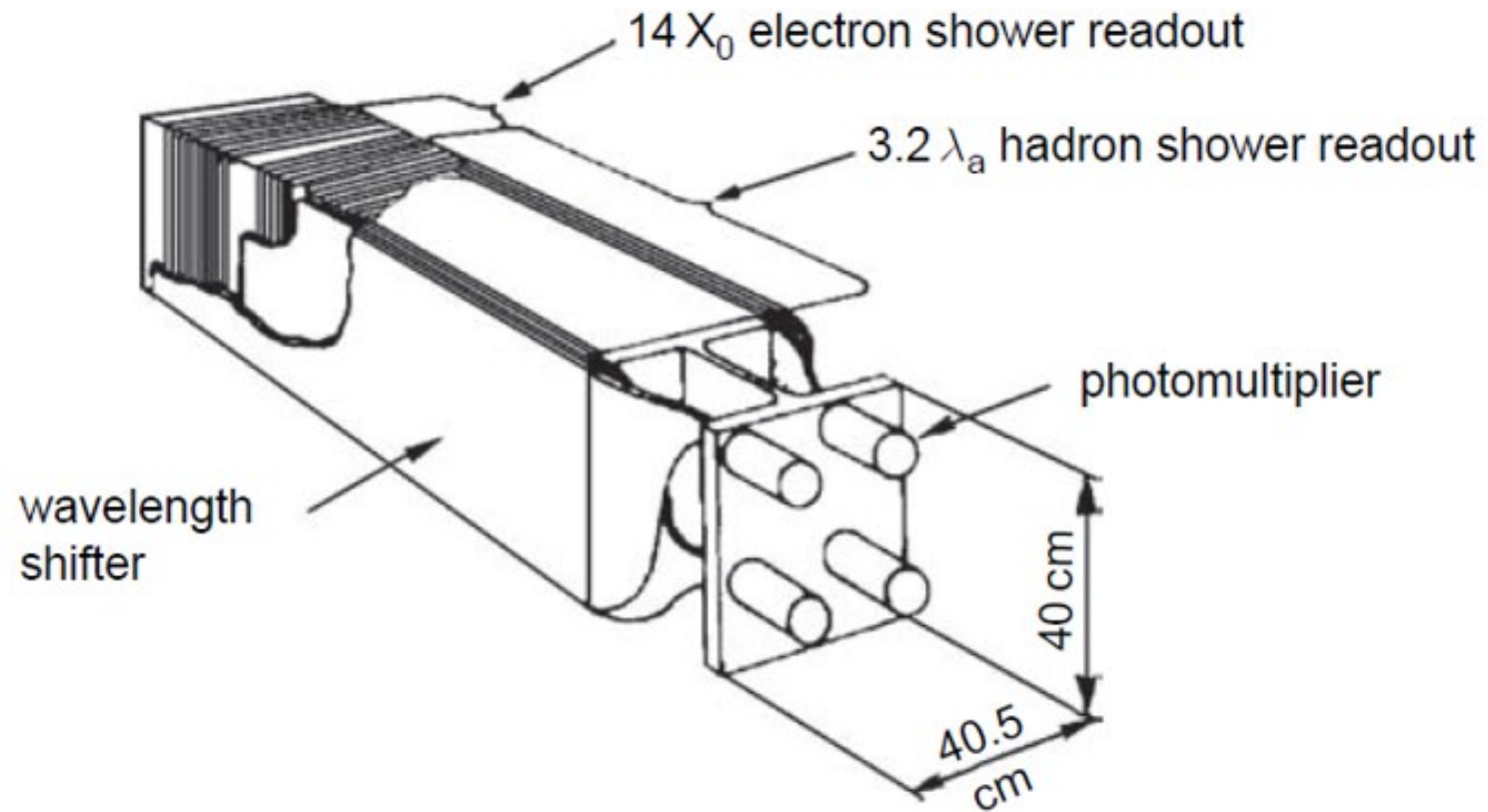
I rola, jaką odgrywają w nich neutrony

Co do zasady detektory hadronowe nie różnią się znacznie od detektorów elektronowych. Największa różnica polega jednak na dłuższej drodze swobodnej cząstek takich jak np. miony. Może ona być oszacowana jako:

$$\lambda_I \approx 35 \text{ g/cm}^2 A^{1/3} .$$

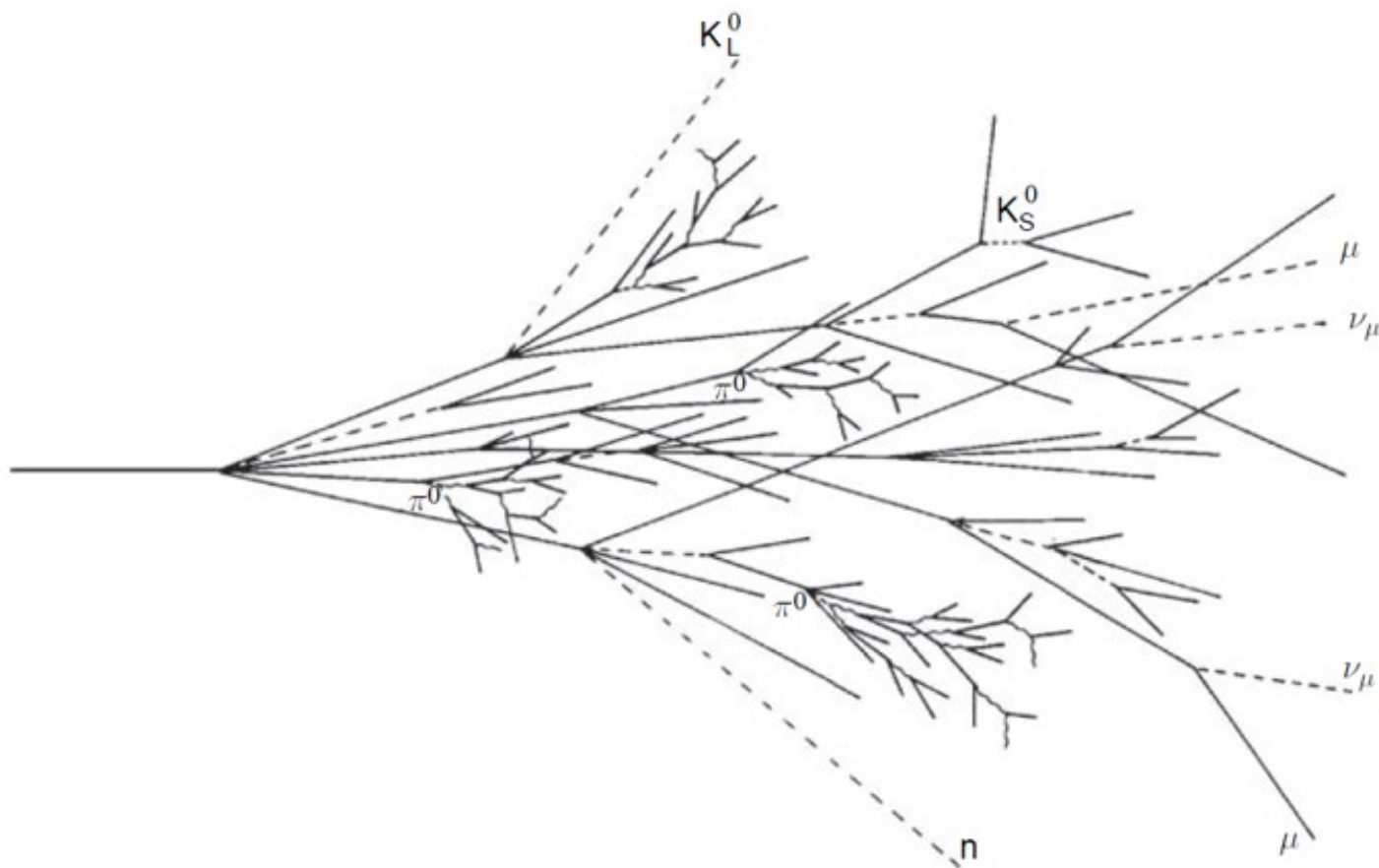
Kalorymetry hadronowe

Implementacja sprzętowa



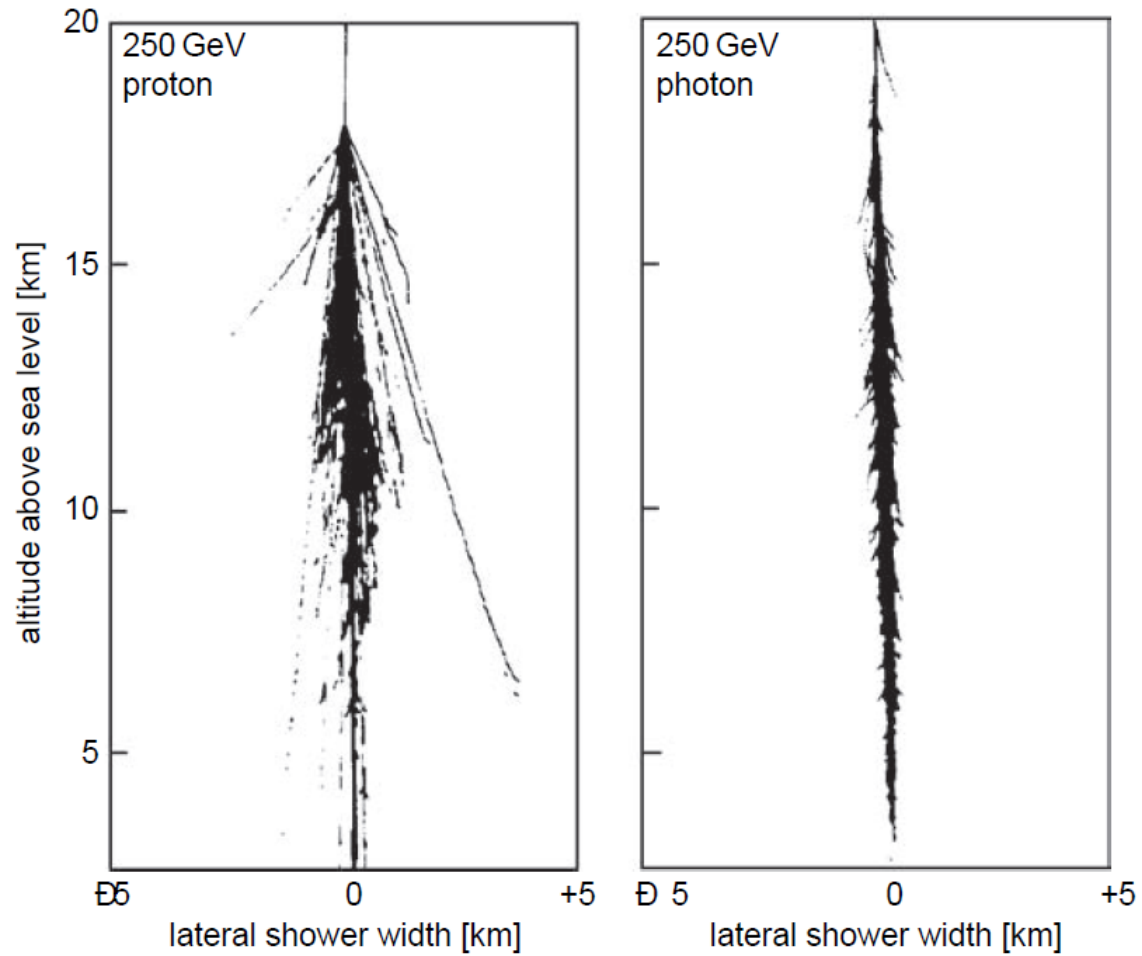
Kalorymetry hadronowe

Kaskady hadronów



Kalorymetry hadronowe

Kaskady hadronów



Kalorymetry hadronowe

Fracja elektromagnetyczne w kaskadach hadronowych

$$f_{\text{em}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{3}\right)^n$$

$$f_{\text{em}} = 1 - \left(\frac{E}{E_0}\right)^{k-1}$$

Kalorymetry hadronowe

Wzbogacanie uranem

Kalorymetry wzbogacone o uran mają szansę odzyskać część niewidocznej energii na zasadzie reakcji powielających kaskady. Aby uczynić ten proces jeszcze wydajniejszym stosuje się połączenia uran/płyn argon lub uran/miedź/scyntylator.

Kalorymetry hadronowe

Rozdzielczość energetyczna

Rozdzielczość energetyczna kalorymetrów zwyczajowo kształtuje się na poziomie:

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{35\%}{\sqrt{E \text{ [GeV]}}}$$

jednak najnowsze detektory, w które wyposażony był ATLAS osiągają zdolność rozdzielczą:

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{42\%}{\sqrt{E \text{ [GeV]}}}$$



Zniszczenia Radiacyjne

Przejście neutronów przez materię

- Rozpraszanie elastyczne
- Rozpraszanie nieelastyczne
- Absorpcja neutronów
- Tworzenie defektów krystalicznych
- Indukowanie promieniowania wtórnego
- Efekty biologiczne
- Wydzielanie ciepła





Jeszcze jak!

1. Pytanie

Opisz przebieg eksperymentu odkrycia neutronu (krótko)?

1. Pytanie

Opisz przebieg eksperymentu odkrycia neutronu (krótko)?

Przebieg eksperymentu: Źródło alfa wysyłała cząstki alfa na tarcze berylową, te w wyniku reakcji wyrzucają neutron, który oddziałując z blokiem parafiny wyrzuca protony

2. Pytanie

Jaki może być najprostszy detektor wykorzystujący wychwyty radiacyjny neutronu?

2. Pytanie

Jaki może być najprostszy detektor wykorzystujący wychwyty radiacyjny neutronu?

Najprostszym detektorem neutronów termicznych, wykorzystującym wychwyty neutronów może być licznik G-M osłonięty blachą kadmową.

3. Pytanie

W rozproszeniach elastycznych prawdopodobieństwo zawarte w przedziale $E \in (\alpha E, E)$ wyrażone jest?

3. Pytanie

W rozproszeniach elastycznych prawdopodobieństwo zawarte w przedziale $E \in (\alpha E, E)$ wyrażone jest?

$$P(E) = \frac{1}{(1-\alpha)E}$$

4. Pytanie

Jakie wartości zazwyczaj przyjmuje droga radiacyjna w odniesieniu do drogi swobodnej hadronów?

Droga swobodna hadronów jest znacznie większa od drogi radiacyjnej.

4. Pytanie

Jakie wartości zazwyczaj przyjmuje droga radiacyjna w odniesieniu do drogi swobodnej hadronów?

5. Pytanie

Wymień bez opisu 3 rodzaje zniszczeń radiacyjnych

5. Pytanie

Wymień bez opisu 3 rodzaje zniszczeń radiacyjnych

- Rozpraszanie elastyczne
- Rozpraszanie nieelastyczne
- Absorpcja neutronów
- Tworzenie defektów krystalicznych
- Indukowanie promieniowania wtórnego
- Efekty biologiczne
- Wydzielanie ciepła

6. Pytanie

Wytłumacz czym jest energia niewidzialna (ciemna) w kalorymetrach hadronowych oraz skąd pochodzi.

6. Pytanie

Wytłumacz czym jest energia niewidzialna (ciemna) w kalorymetrach hadronowych oraz skąd pochodzi.

Energia padających hadronów jest tracona na procesy zachodzące wewnątrz detektorów, których nie jesteśmy w stanie bezpośrednio zmierzyć. Jednym z głównych źródeł występowania energii niewidzialnej jest energia wiązania atomów detektora.

*The
End*