

# 中性子測定

- 低速中性子の検出 → 原子核反応
  - 原子炉内部の中性子束の測定
- 高速中性子の検出 → 減速材で低速化
- 高速中性子のエネルギー測定 検出器の組合せ
- 放射化法 核反応により放出される放射線の測定

# 低速中性子検出法 1

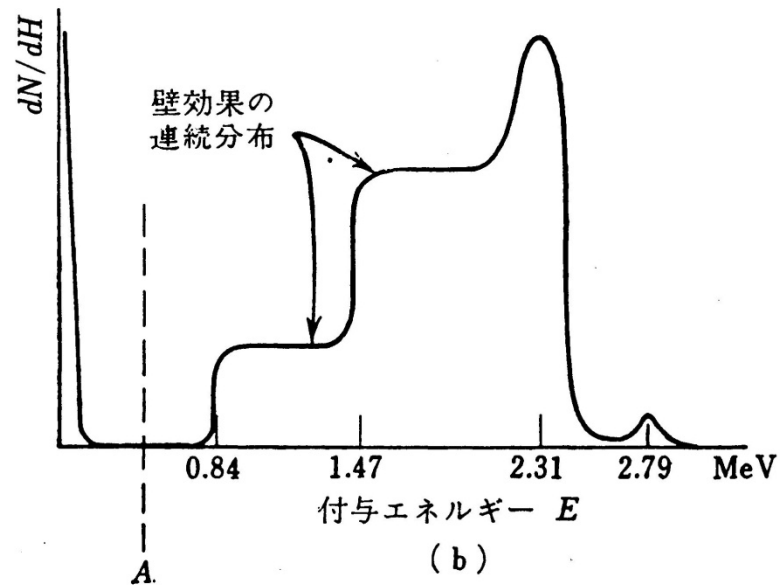
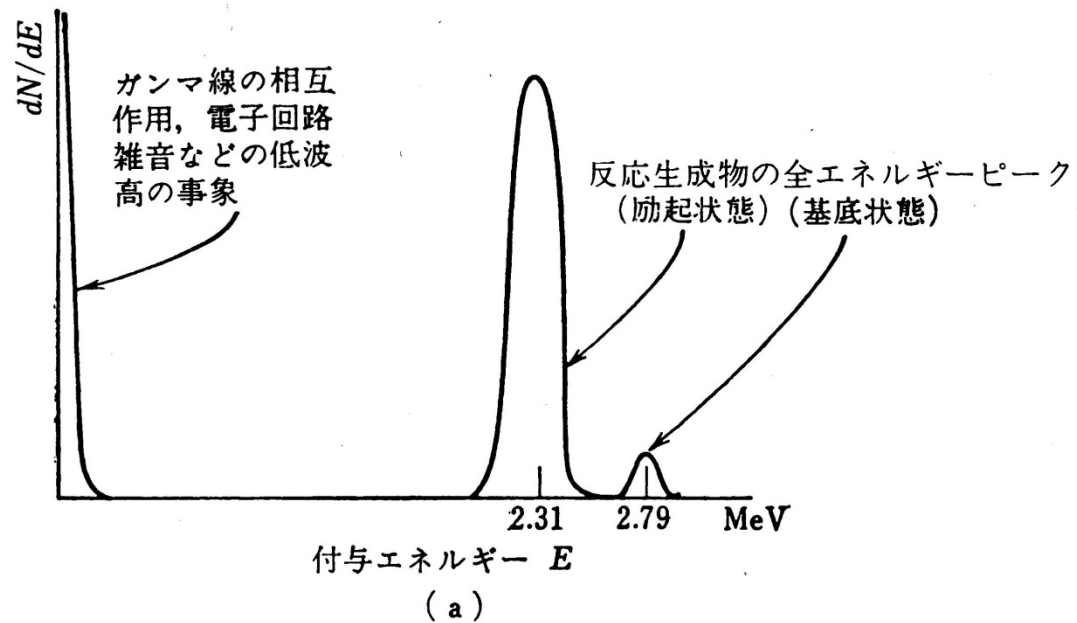
- 中性子 → 荷電粒子に変換
- ターゲット原子核 + 中性子 → 反跳核, 陽子,  $\alpha$ 粒子, 核分裂生成物
- $^{10}\text{B} + \text{n} \rightarrow ^7\text{Li} + \alpha \quad 2.792\text{MeV} (6\%)$   
 $^7\text{Li}^* + \alpha \quad 2.310\text{MeV} (94\%) \quad 3840\text{b}$
- Quiz 下の反応の場合にLiと $\alpha$ 粒子が持つ運動エネルギーを求めよ.

# 低速中性子検出法 2

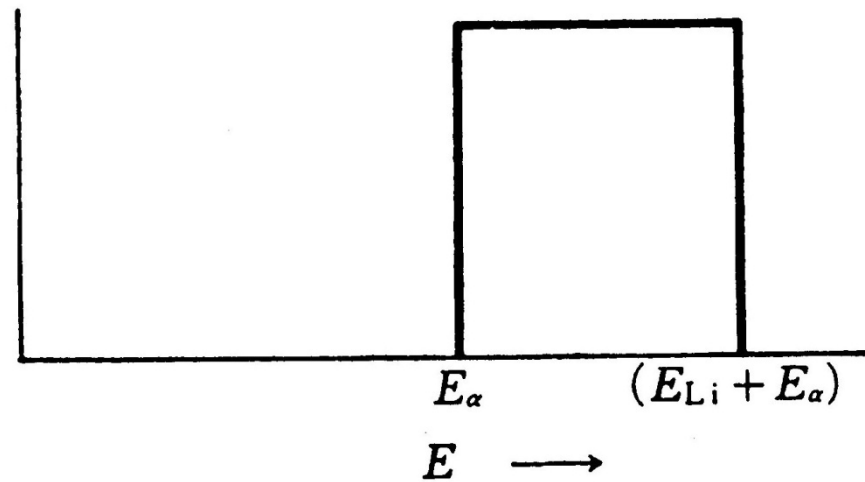
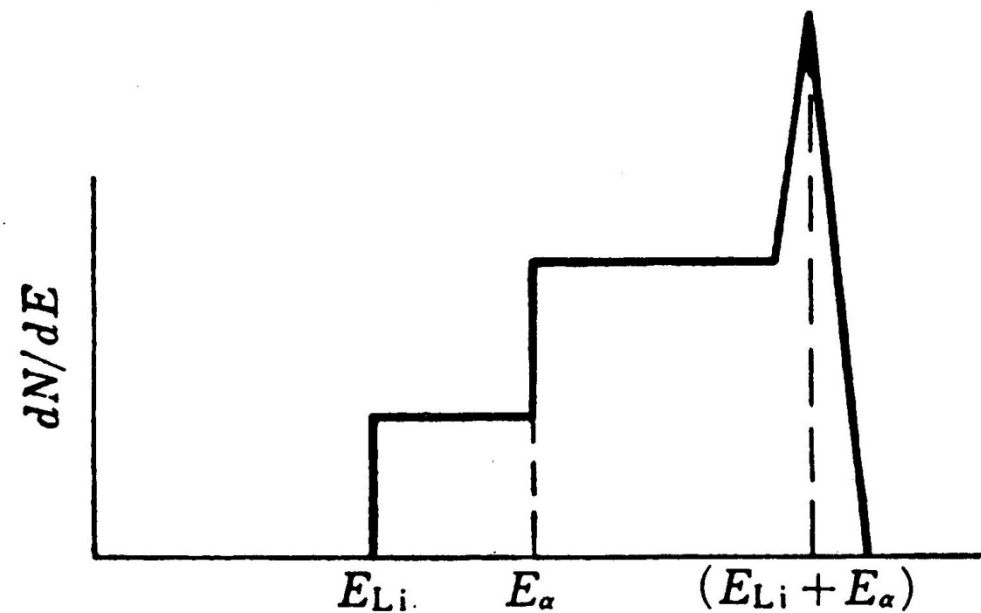
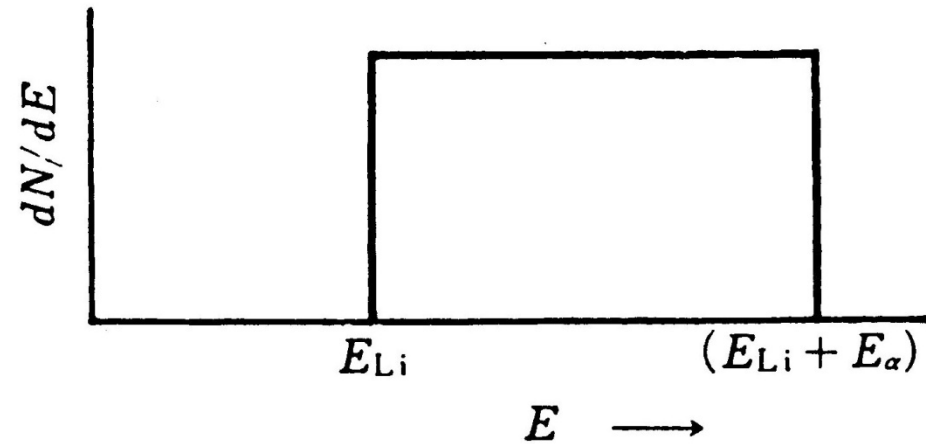
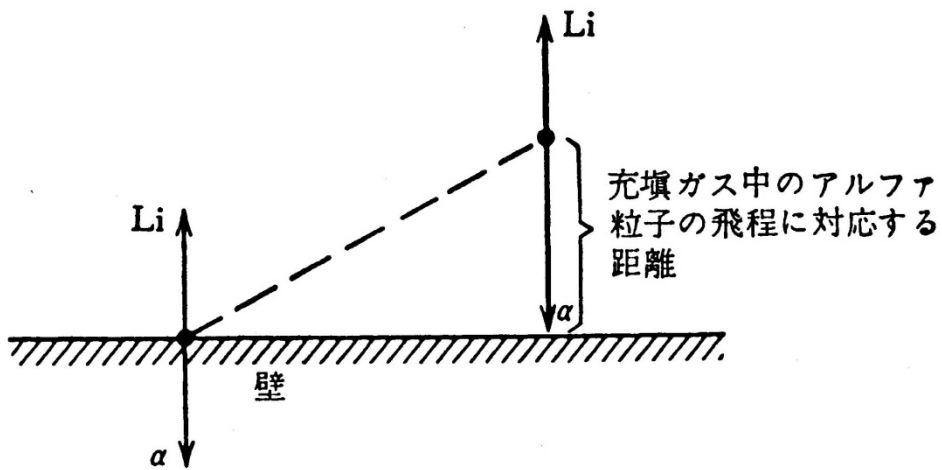
- ${}^6\text{Li} + \text{n} \rightarrow {}^3\text{H} + \alpha$       4.78MeV      940b
- ${}^3\text{He} + \text{n} \rightarrow {}^3\text{H} + \text{p}$       0.765MeV      5330b
- ${}^{157}\text{Gd} + \text{n} \rightarrow \gamma + \text{e}^-$  (72keV)      255000b
- ${}^{233}\text{U}, {}^{235}\text{U}, {}^{239}\text{Pu} + \text{n} \rightarrow$  核分裂片 (200MeV)

# 壁効果 1

- $\text{BF}_3$ ガス中での  
 $\alpha$ 粒子の飛程  
約1cm



# 壁効果 2

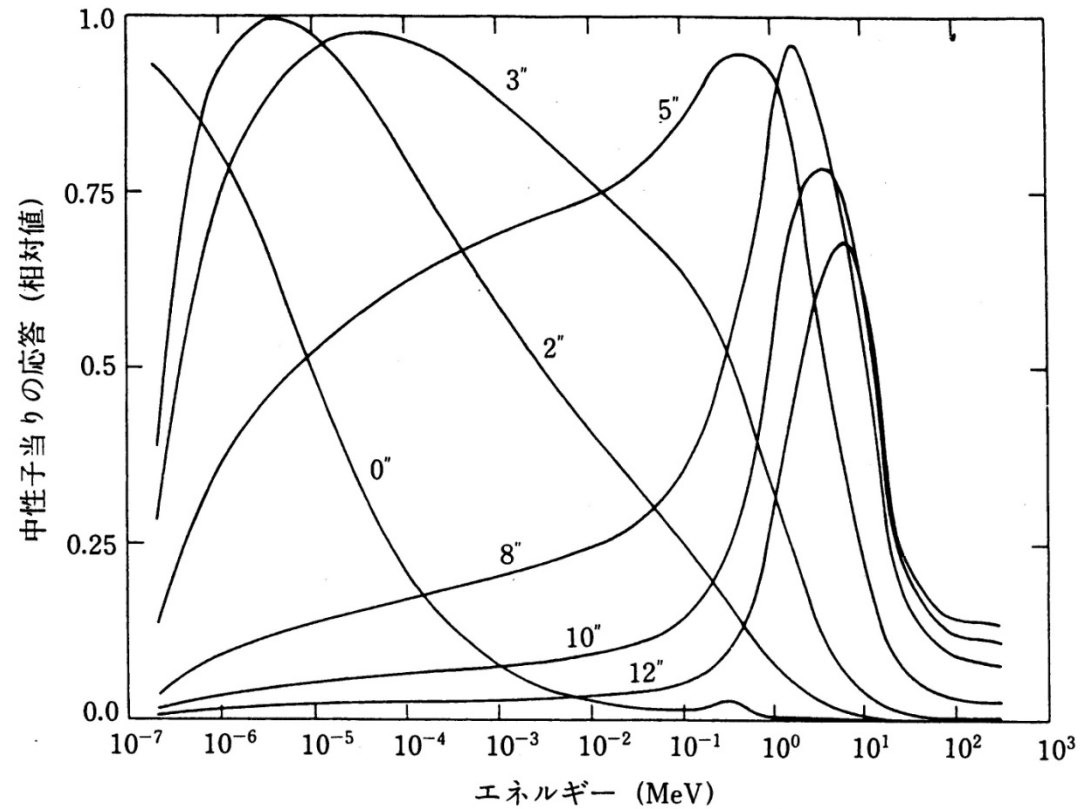
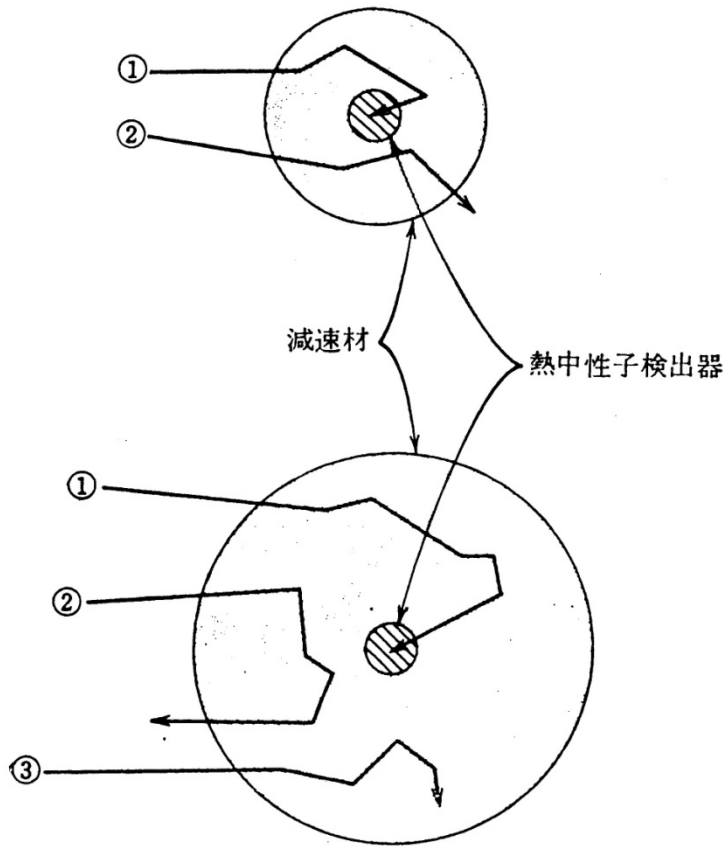


# 高速中性子の検出

- エネルギー情報が必要か，不必要か。
  - 不要      高速中性子を減速    → 低速中性子検出器
  - 必要      中性子散乱による散乱陽子測定
  - 飛行時間法(Time of Flight)
  - 閾値反応を用いた放射化法

# 減速による高速中性子測定 1

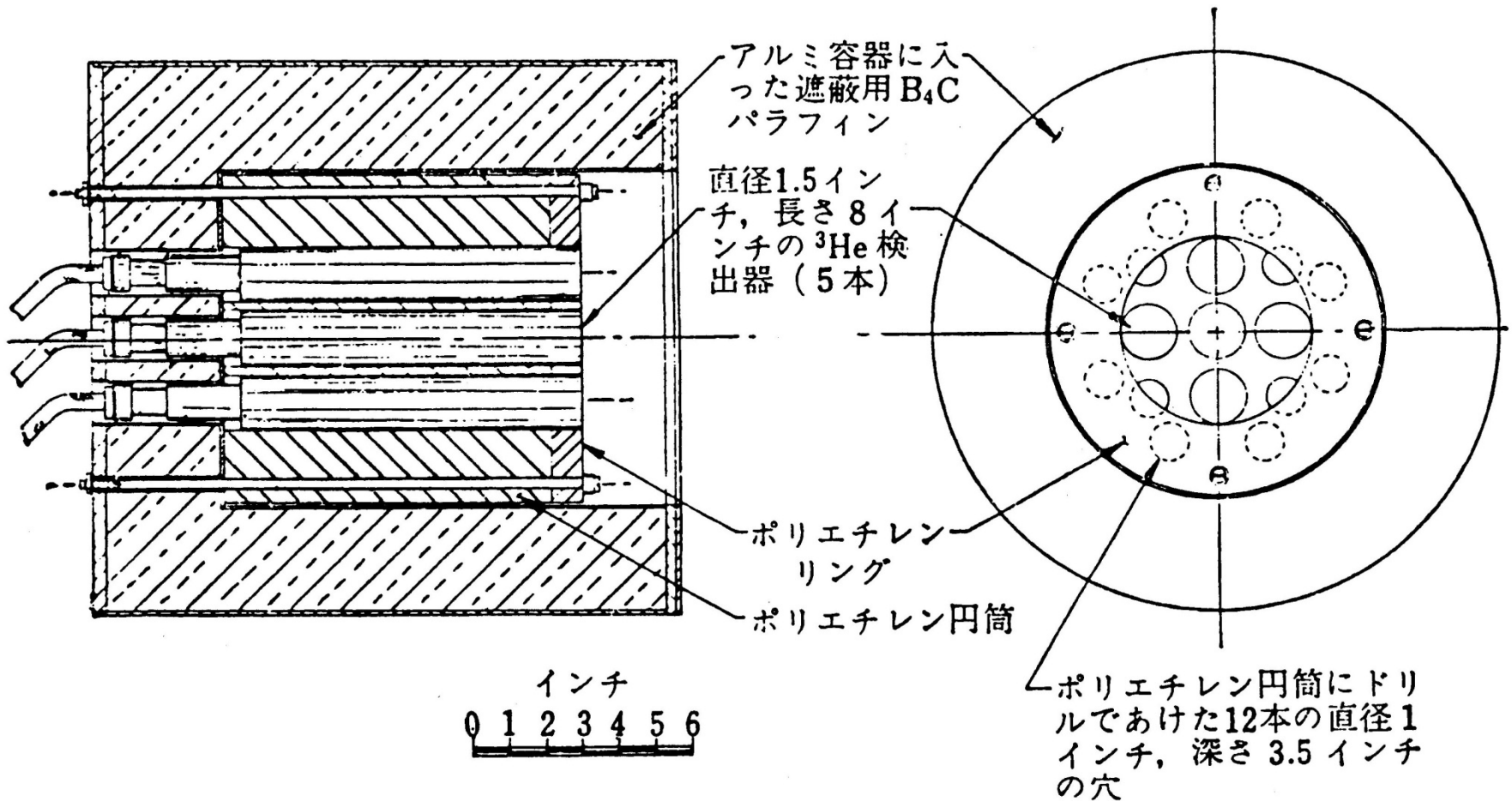
- ボナーボール



# 減速による高速中性子測定 2

## • ロングカウンター

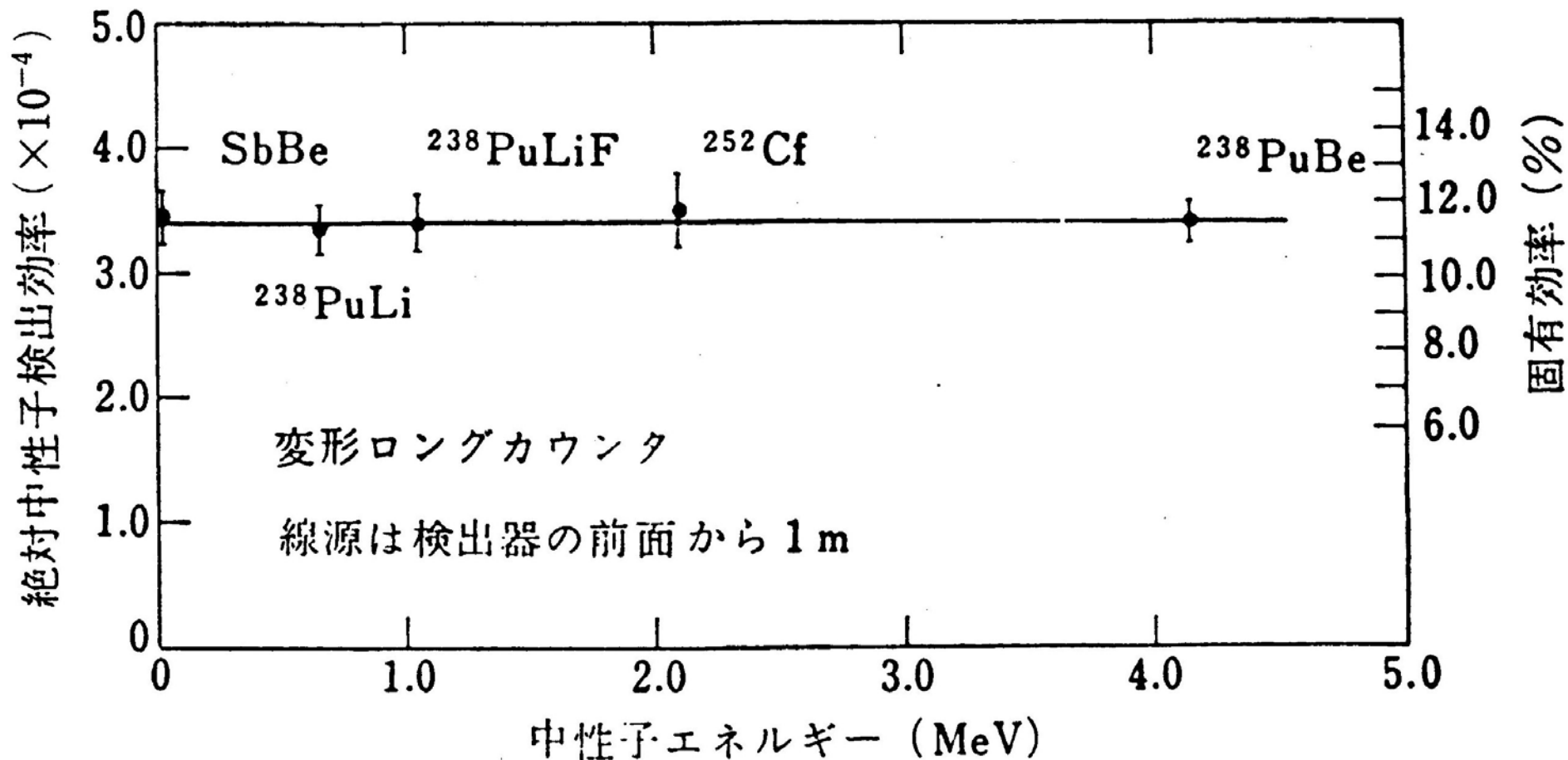
– 計数効率が中性子エネルギーに依存しない





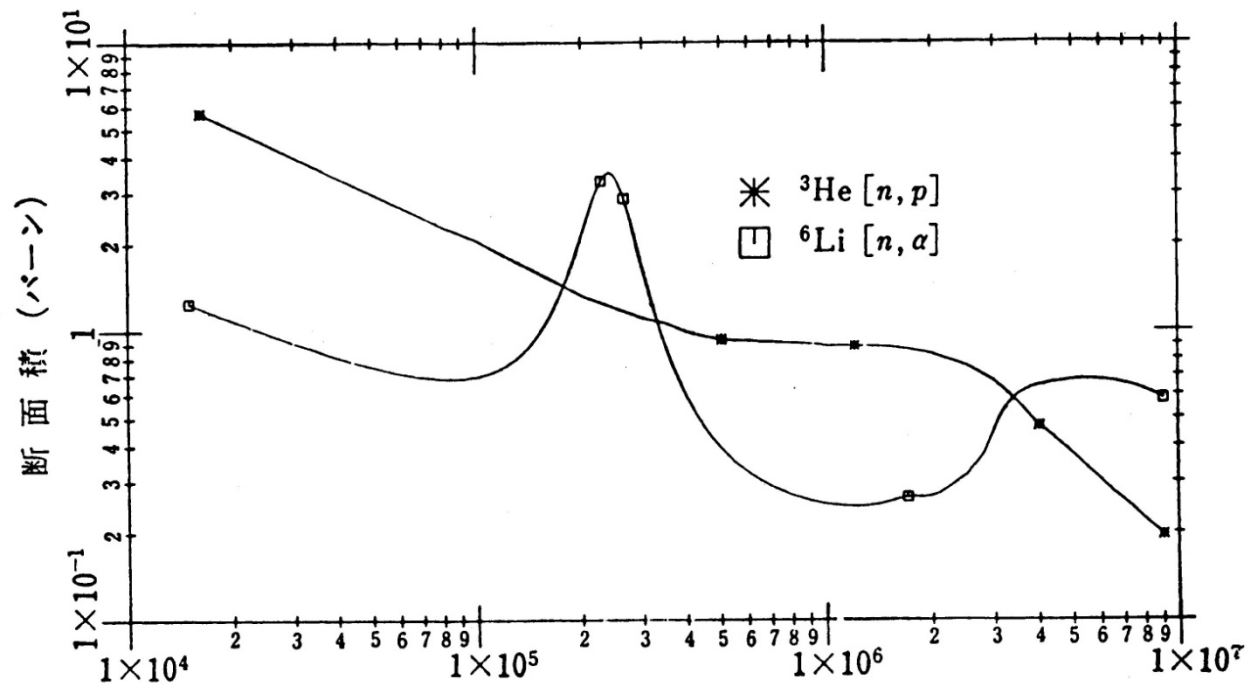
# 減速による高速中性子測定 2-2

- ロングカウンタの応答



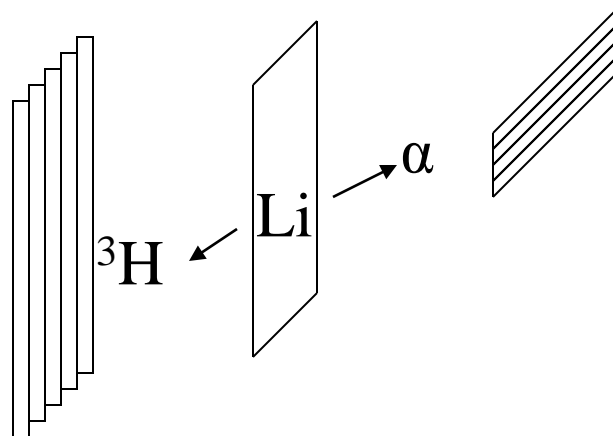
# 高速中性子反応を用いた測定 1

- ${}^6\text{Li}(n,\alpha)$  Q値4.78MeV
  - E測定には, 数100keV以上
  - 入射中性子E+4.78MeV
  - 熱中性子E+4.78MeV



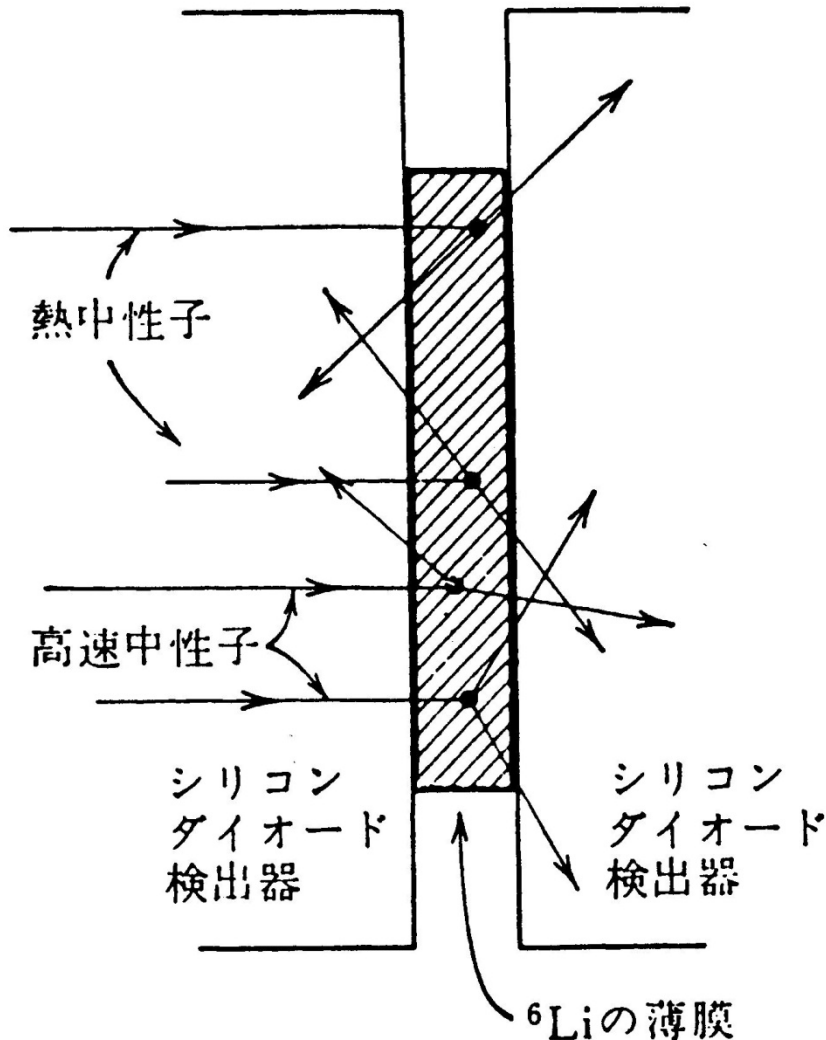
# リチウムガラス

- リチウムガラスシンチレータ
  - 飛行時間測定
- リチウムガラスファイバシンチレータ
- リチウムコンバータ+シンチレータファイバ
  - 位置分解能



# 高速中性子反応を用いた測定 2

- リチウムサンドイッチスペクトロメータ

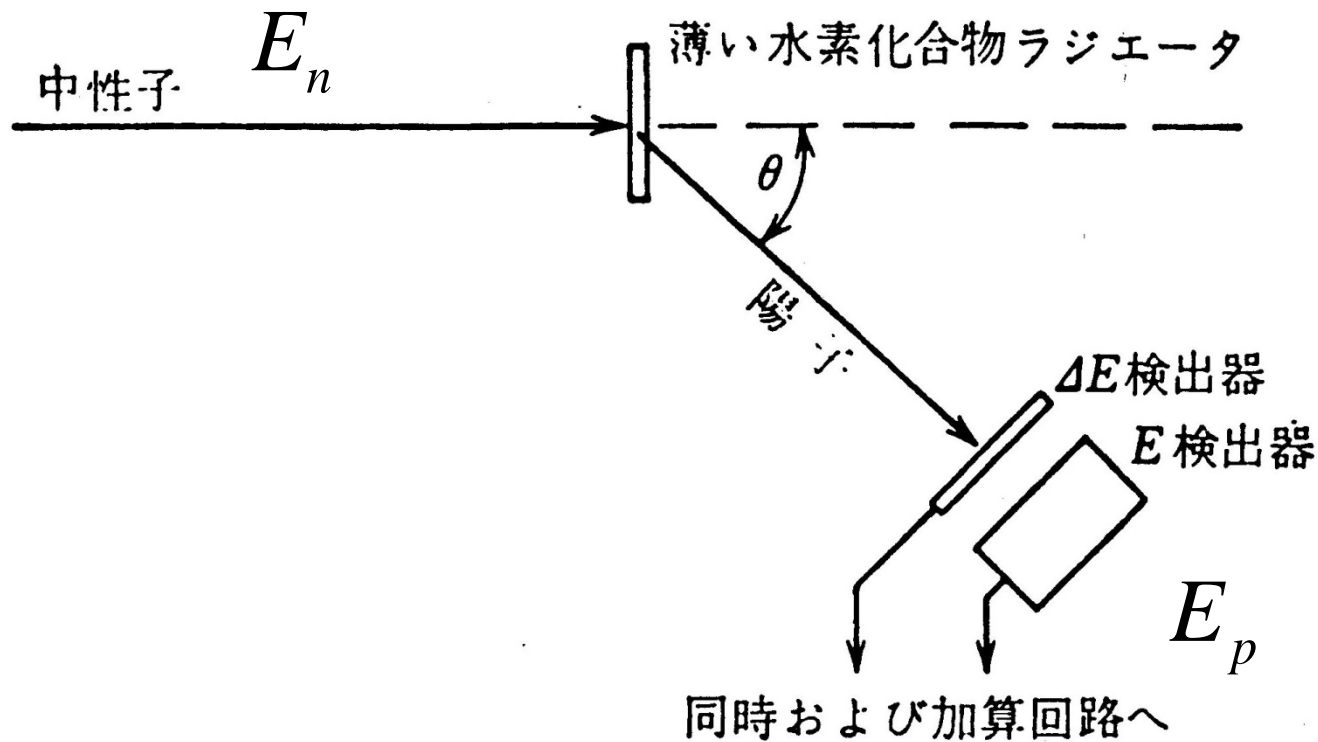


- 二つの検出器間の同時測定  $E_1, E_2$
- 入射中性子のエネルギー  $E_1 + E_2 - Q$

# 高速中性子散乱を用いた測定例

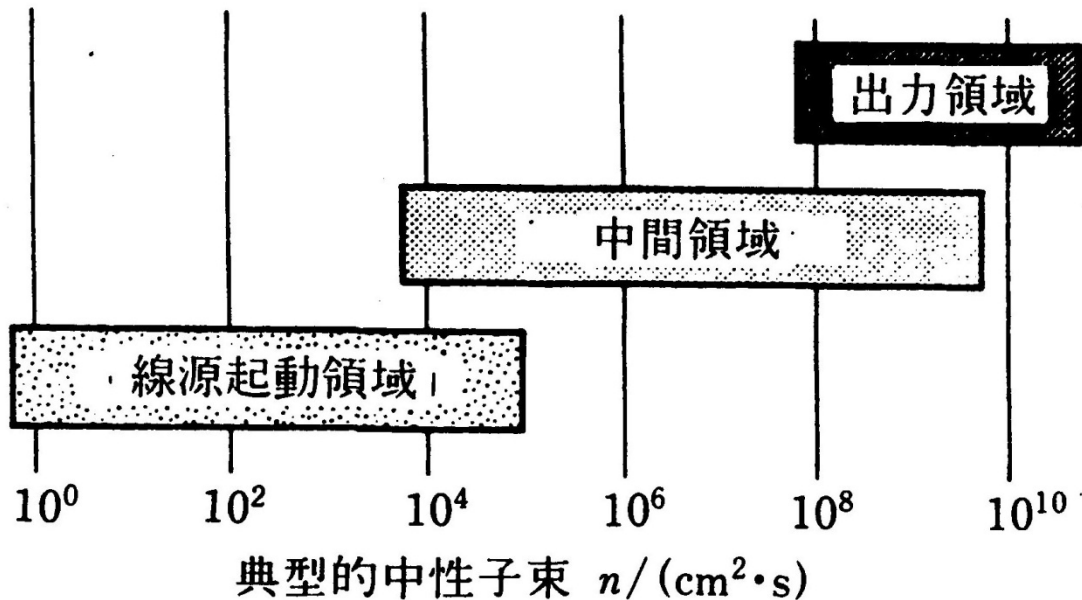
- 陽子反跳テレスコープ

$$E_p = E_n \cos^2 \theta$$



# 原子炉計装 1

- 広い出力領域をモニタする。



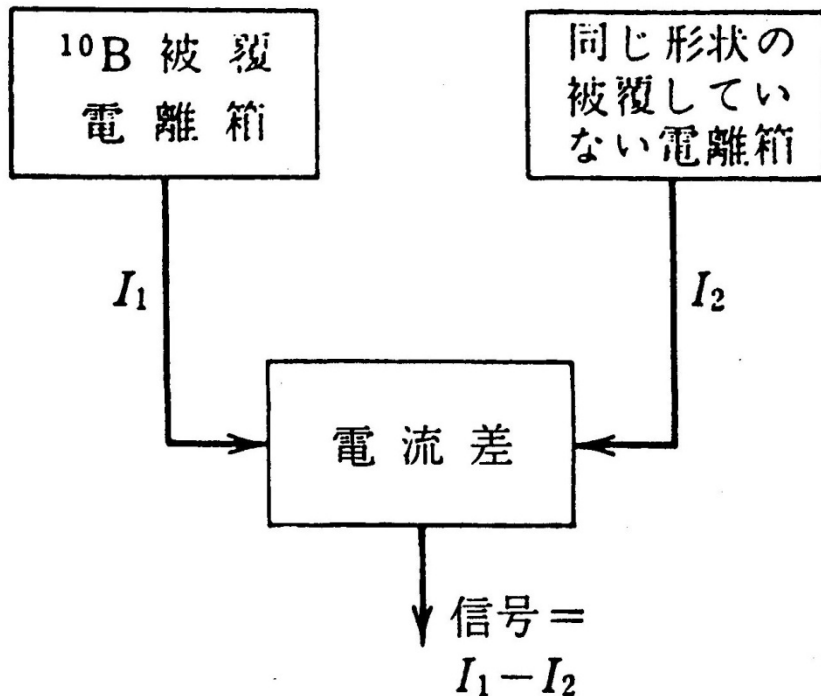
- PWRでの例。  
BWRでもほぼ  
同様。

- PWR:主に炉外中性子検出器。
- BWR:主に炉内中性子検出器。

# 原子炉計装 2

- 中性子束の測定

- 主にガス検出器： $\gamma$ 線弁別性，耐放射線損傷など
- 低出力：パルスモード可． $\gamma$ 線との識別，容易．
- 高出力：電流モード．補償型電離箱



# 原子炉計装 3

## 自己出力型検出器

- 大きな中性子捕獲断面積 +  $\beta$  または  $\gamma$  崩壊
- $\beta$  線または  $\gamma$  線の相互作用による電子の電流測定

