

第 1 章

中性子検出器

1.1 液体シンチレータ

$^{12}\text{C}(n, n')^{12}\text{C}(0_2^+)$ 反応の断面積の測定には MAIKo TPC に入射した中性子の数を測定する必要がある。中性子は電荷を持たず検出器中で電磁気相互作用によってエネルギーを落とさないため、直接検出することができない。そのため、中性子と散乱した検出器中の陽子を検出することによって間接的に中性子を検出する。より効率的に中性子と陽子が散乱するように、中性子検出器には水素が多く含まれる有機シンチレータが用いられる。OKTAVIAN での測定では NE213/BC501 液体シンチレータを用いる。図 1.1 に中性子検出器の模式図を示す。液体シンチレータの有感体積は、直径 200 mm、厚さ 50 mm の円柱である。容器はアルミニウム製で、シンチレーション光の収集効率を高めるために容器の内側を酸化マグネシウムでコーティングしている。シンチレーション光は光電子増倍管で電気信号に変換されて読み出される。

1.2 n- γ 弁別

液体シンチレータを用いた測定では中性子だけでなく背景 γ 線も検出される。そのため、中性子と γ 線の識別が必要となる。中性子と γ 線では液体シンチレータの発光の波形が異なることが知られている。図 1.2 に

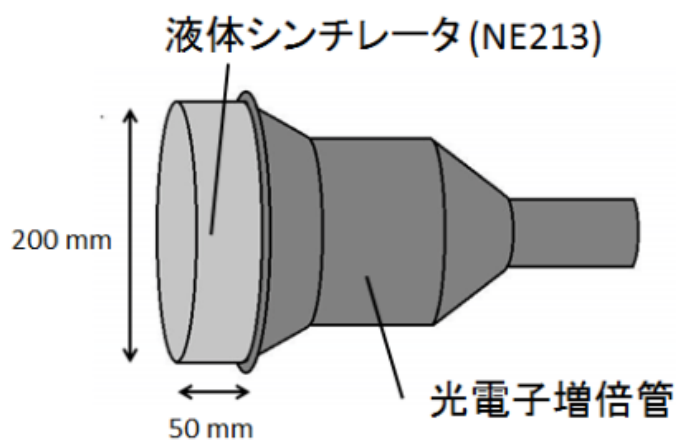


図 1.1: 中性子検出器の模式図.

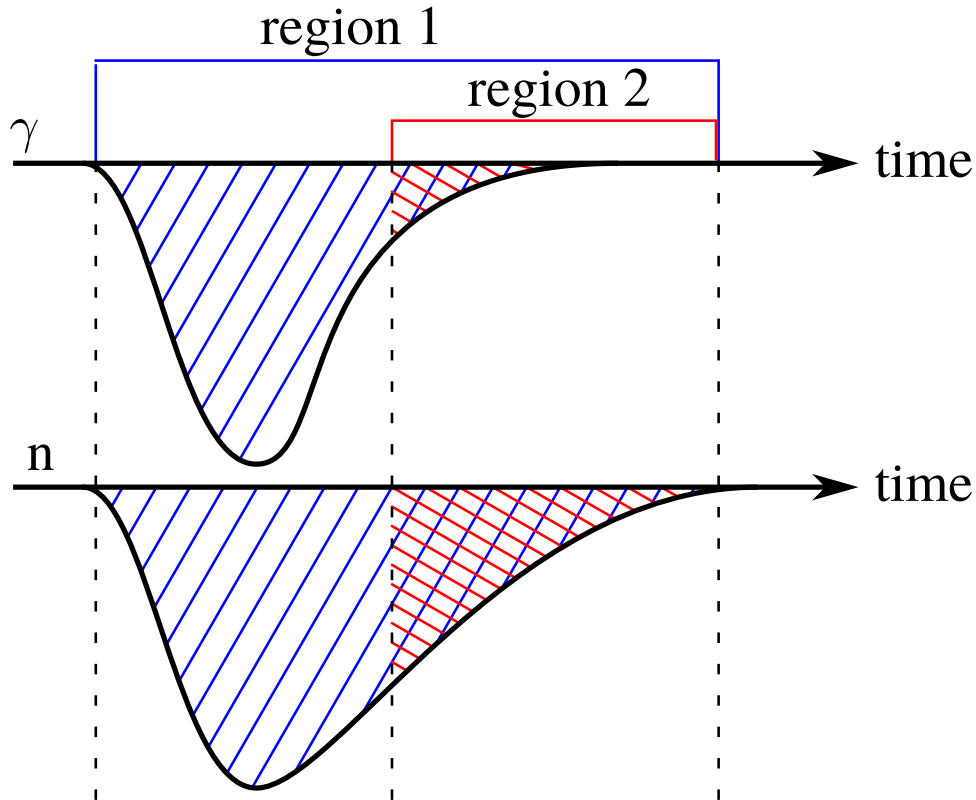


図 1.2: 液体シンチレータから得られる中性子および γ 線の波形の違いと 2 つの積分区間。全体を覆う区間 (region 1) とテール部分を覆う区間 (region 2) の 2 つの区間で積分することで波形を識別する。

中性子と γ 線の波形の違いを模式的に示す。中性子の方がテールを長く引いた波形となる。図 1.2 に示すように、波形全体を覆う区間 (region 1) とテール部分を覆う区間 (region 2) の 2 つの積分区間を用いて波形を積分することで、中性子と γ 線とを区別する。

中性子検出器から得られる信号は CAEN V1742 を用いて取得した。CAEN V1742 は入力信号の波形をそのまま取得することができるモジュールである。信号の取得周波数は 5 GHz から 750 MHz である。CAEN V1742 で取得した波形の 1 例を図 1.3 に示す。図 1.3 は $^{241}\text{Am-}^9\text{Be}$ 中性子線源を用いて測定をしたときのものである。取得周波数は 5 GHz である。

V1742 によって取得した波形のピーク位置に対して $-15\text{ ns to }45\text{ ns}$ (region 1) と $10\text{ ns to }45\text{ ns}$ (region 2) の 2 つの区間で波形を積分した。 $^{241}\text{Am-}^9\text{Be}$ 中性子線源で取得した region 1 と region 2 の相関を図 1.4 に示す。図 1.4 中の 2 つの島のうち、上が中性子、下が γ 線である。中性子の中心となる位置を直線近似し (図 1.4 中の赤線), region 2 との差分を取ったものが図 1.5 である。図 1.5 において、中性子側のピーク (0 付近のピーク) をガウス分布でフィットすることで中性子の検出数を決定する。

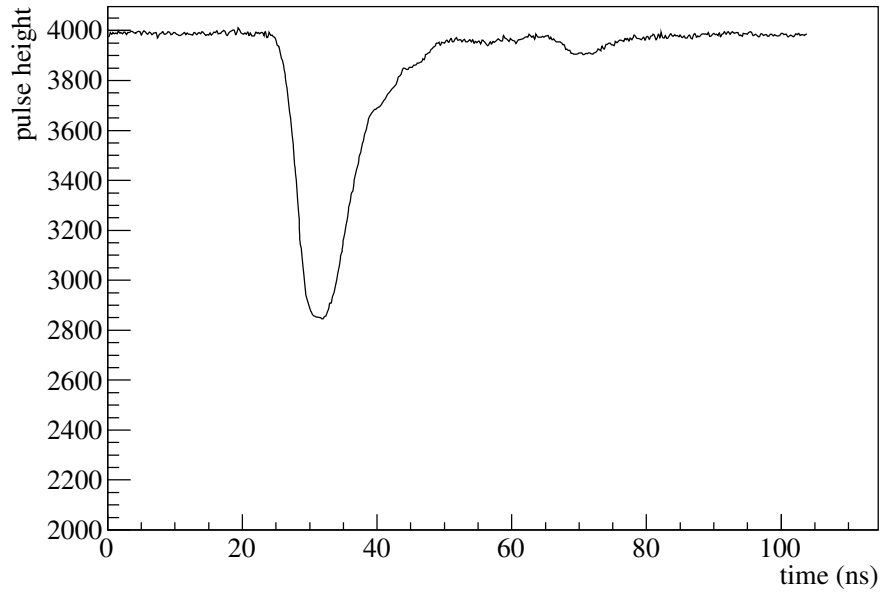
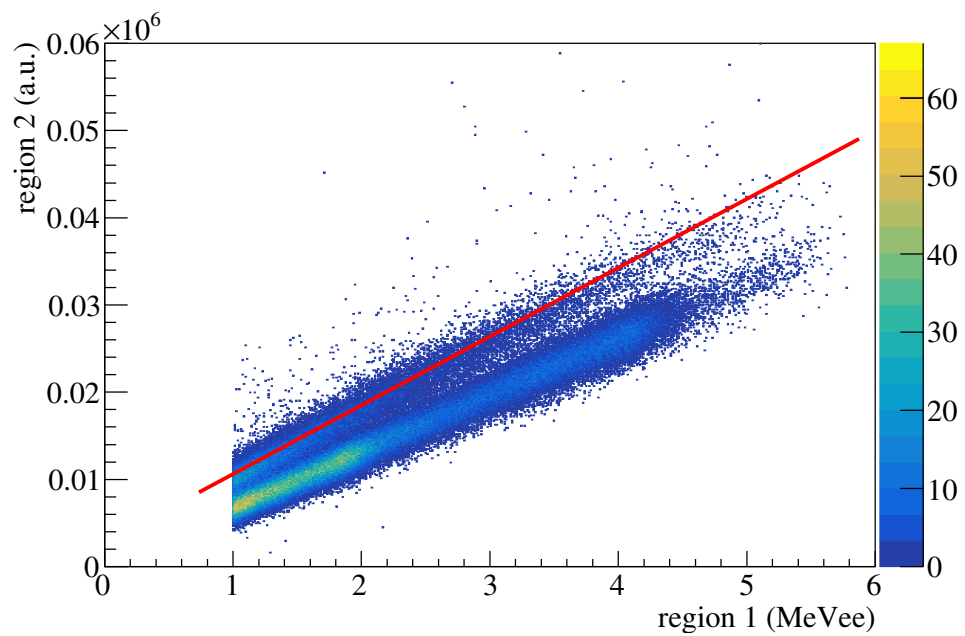


図 1.3: V1742 で取得した波形の 1 例.

図 1.4: region 1 と region 2 と 2 つの区間での積分値の相関. ^{241}Am - ^9Be 中性子線源を用いて測定した. 1 MeVee 以下は解析から除外した.

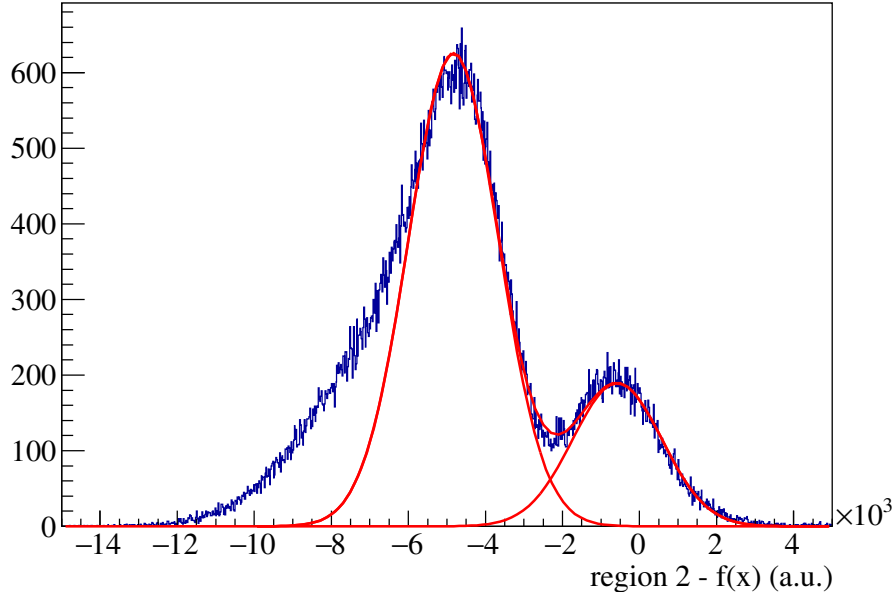


図 1.5: region 2 と中性子の近似直線との差分.

1.3 SCINFUL-CG による中性子の検出効率

検出器中に入射した中性子が陽子と反応しない場合は検出されない．また，検出器中で中性子が失うエネルギーは散乱角度によって連続的に分布する．そのため、検出器に入射した中性子の絶対数を求めるためには検出効率をけったいする必要がある．液体シンチレータの検出効率は SCINFUL-CG [?] を用いて計算する．SCINFUL-CG は任意形状のシンチレータの中性子に対する応答関数を計算するコードである．中性子の検出効率は発光量の閾値により変化する．図 1.6 に発光量の閾値が 0.5 MeVee, 1.0 MeVee and 1.5 MeVee のときの検出効率を示す．ここでは単色中性子が入射しているとして計算した．図 1.6 から分かるように発光量の閾値を高くすると検出効率が低下する．また，高エネルギーの中性子ほど検出効率が低下する．

中性子検出器で測定した中性子数 (N_{detect}) を SCINFUL-CG で求めた検出効率 (ε) で式 (1.1) のように補正することで，実際に入射した中性子数 (N_{in}) を求めることができる．

$$N_{\text{in}} = \frac{N_{\text{detect}}}{\varepsilon} \quad (1.1)$$

実際の測定で用いる 14 MeV の単色中性子に対する検出効率は表 1.1 の通りとなる．

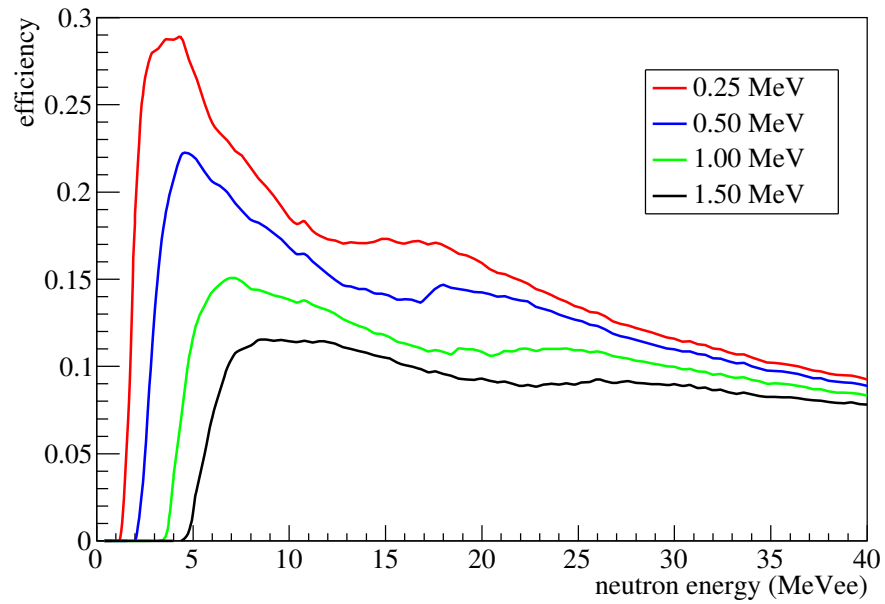


図 1.6: SCINFUL-CG で求めた中性子の検出効率. 発光量の閾値が高いほど, 中性子のエネルギーが大きいくほど検出効率は小さくなる.

表 1.1: 14 MeV の単色中性子に対する検出効率.

閾値 (MeVee)	検出効率 (%)
0.25	17.1
0.50	14.4
1.00	12.2
1.50	10.8