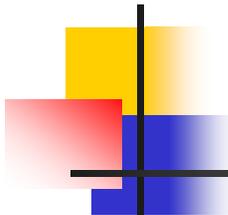


Neutrino helicity の測定

杉本 貴則

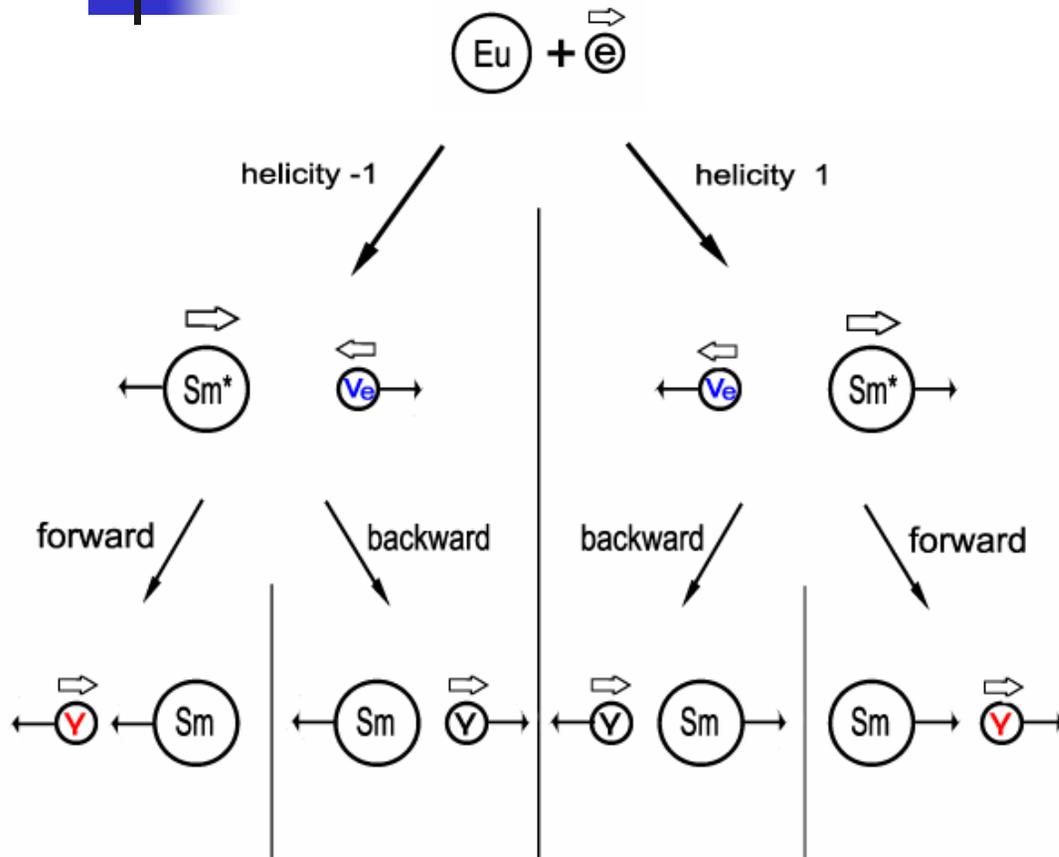
西岡 顯道



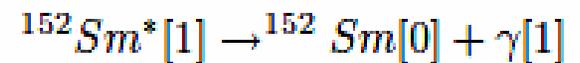
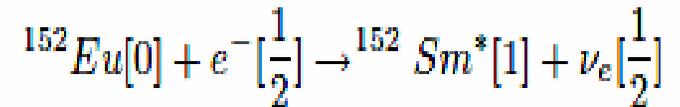
実験動機

- 本実験は、1958年Phys. rev.にて発表されたGoldhaberの実験の巧妙さに感銘を受けたという唯一の動機により、同実験を参考にして、ニュートリノのヘリシティの測定を行ったものである。
- 但し、本実験はGoldhaberの実験の完全な後追い実験とはせず、多少の工夫を入れた。

Goldhaber の実験 (1)



^{152}Eu は寿命9.274hで以下の崩壊を引き起こす。

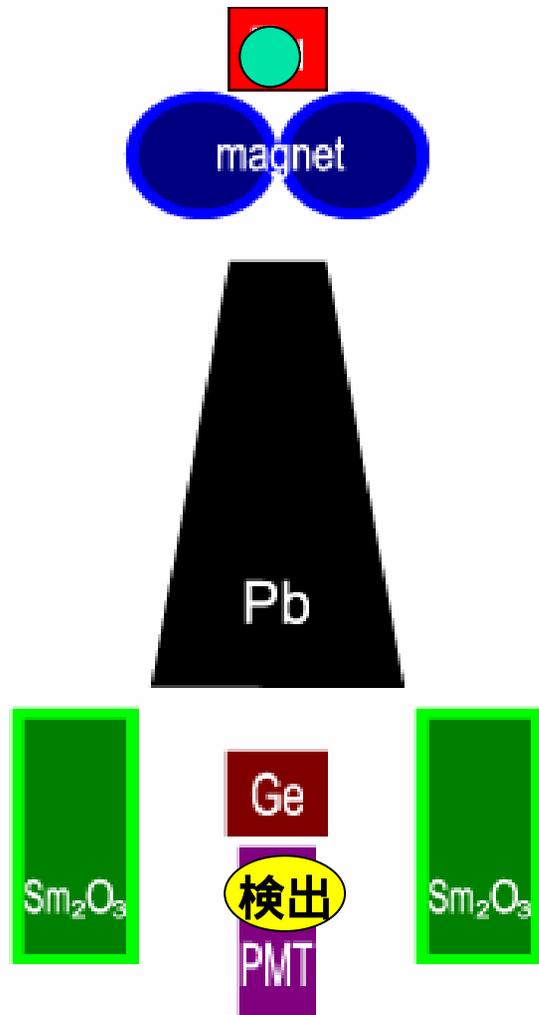


([]内の数字はspinの値を示す。)

崩壊によるニュートリノ(左図の青文字の粒子)のヘリシティを調べるためには、Smの進行方向にでたガンマ線(左図赤文字粒子)のヘリシティを調べればよい。

^{152}Eu の Electron-capture から γ -decay への過程

Goldhaber の 実験 (2)

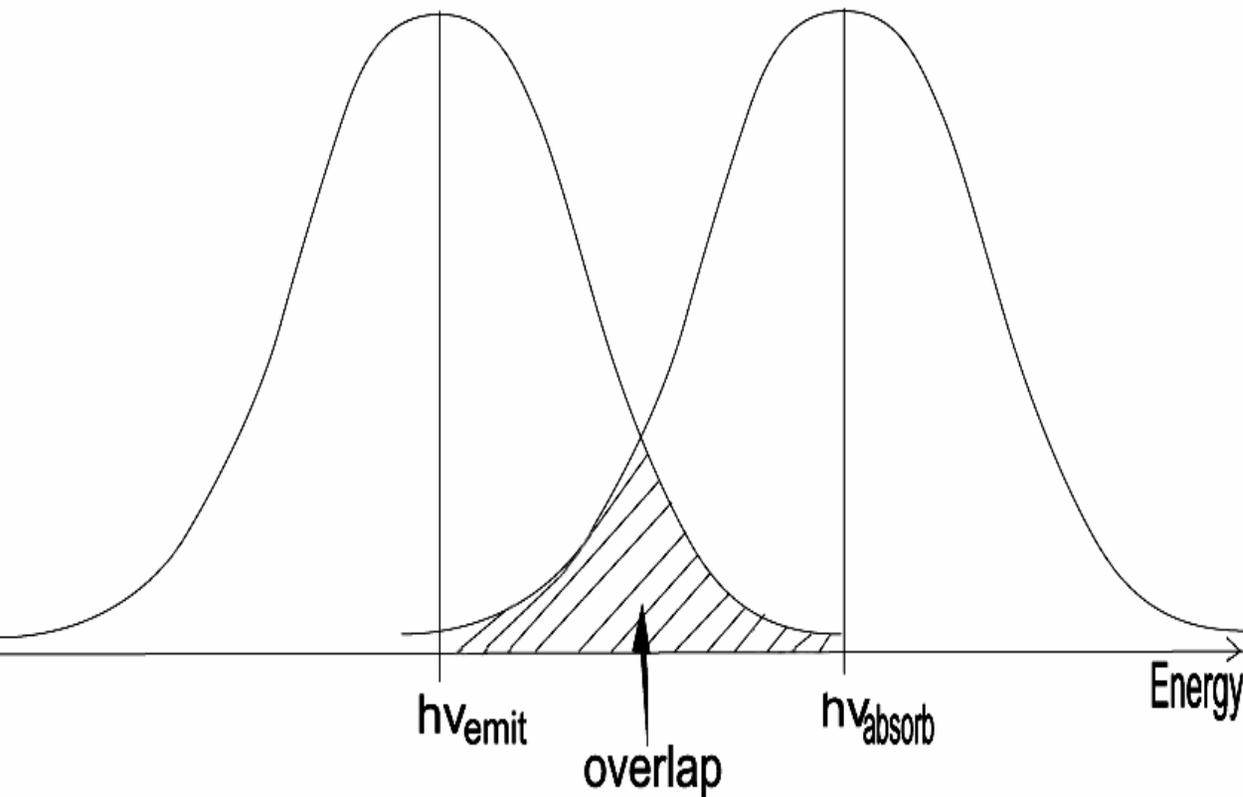


・Euにて発生したガンマ線はmagnetを素通りして、Sm₂O₃で散乱されることによって検出される。

・magnetにてガンマ線はcompton散乱を起こすが、magnet内の電子のspinがガンマ線のspinに対して平行か反平行かで散乱断面積が違うので、磁場の方向を変えた場合との差異を見ることによりガンマ線のヘリシティのアシメトリーを調べることができる。

・さらにSm₂O₃で共鳴散乱を起こしたもののみをとることで、ニュートリノと同じヘリシティを持つものだけを選別してカウントできる。

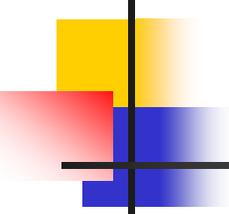
Mössbauer Effect



崩壊によって放出される線、共鳴散乱を起こす線のエネルギーは、崩壊する前の、或いは共鳴散乱を起こす原子核が実験室系に対して正確に静止系になっていないため統計的広がりを持つ。

その際、同原子核、同gap間に対して、崩壊共鳴散乱の反応は左図のoverlapしたエネルギーの線でない起こしえない。

崩壊、共鳴散乱を起こす線のエネルギーとその統計的割合

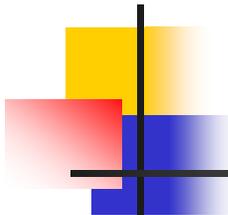


線の電磁石の透過率

線のヘリシティーに対して平行な電子と反平行な電子では散乱断面積が異なるため、ヘリシティー1の線(+)とヘリシティー1の線(-)とでは電磁石の透過率が異なる。Spinが平行なときの透過率を P_{max} 、反平行なときの透過率を P_{min} として、磁場の方向に対しての線のカウント数をそれぞれ N_+ 、 N_- とすると、以下の関係式が得られる。

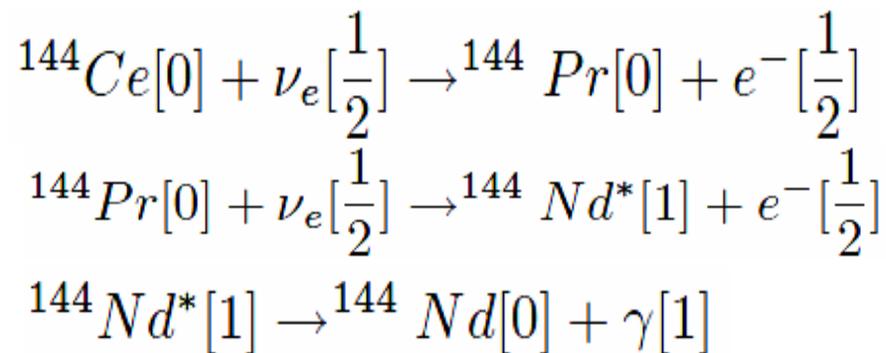
$$\begin{aligned}\frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} &= \frac{(P_{max}\gamma_+ + P_{min}\gamma_-) - (P_{min}\gamma_+ + P_{max}\gamma_-)}{(P_{max}\gamma_+ + P_{min}\gamma_-) + (P_{min}\gamma_+ + P_{max}\gamma_-)} \\ &= \left(\frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max} + P_{min}} \right) \left(\frac{\gamma_+ - \gamma_-}{\gamma_+ + \gamma_-} \right)\end{aligned}$$

N、PのAsymmetryは前者は測定から、後者は鉄(Fe-Coil)が飽和磁化に達したとして計算することで得られるので、線のAsymmetryを求めることができる。



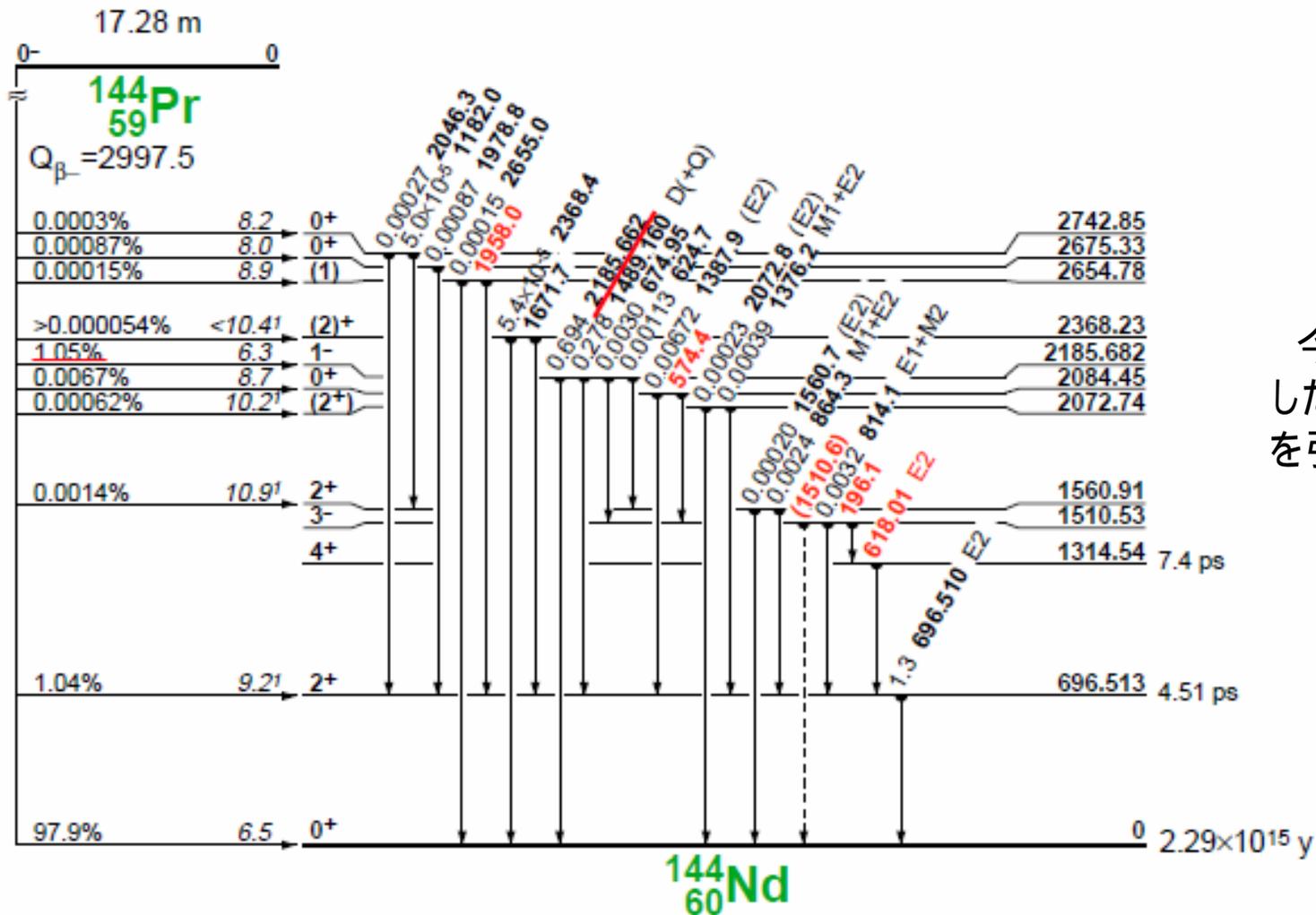
今実験

今実験ではGoldhaberが行った実験とは異なり、以下の反応を利用した。



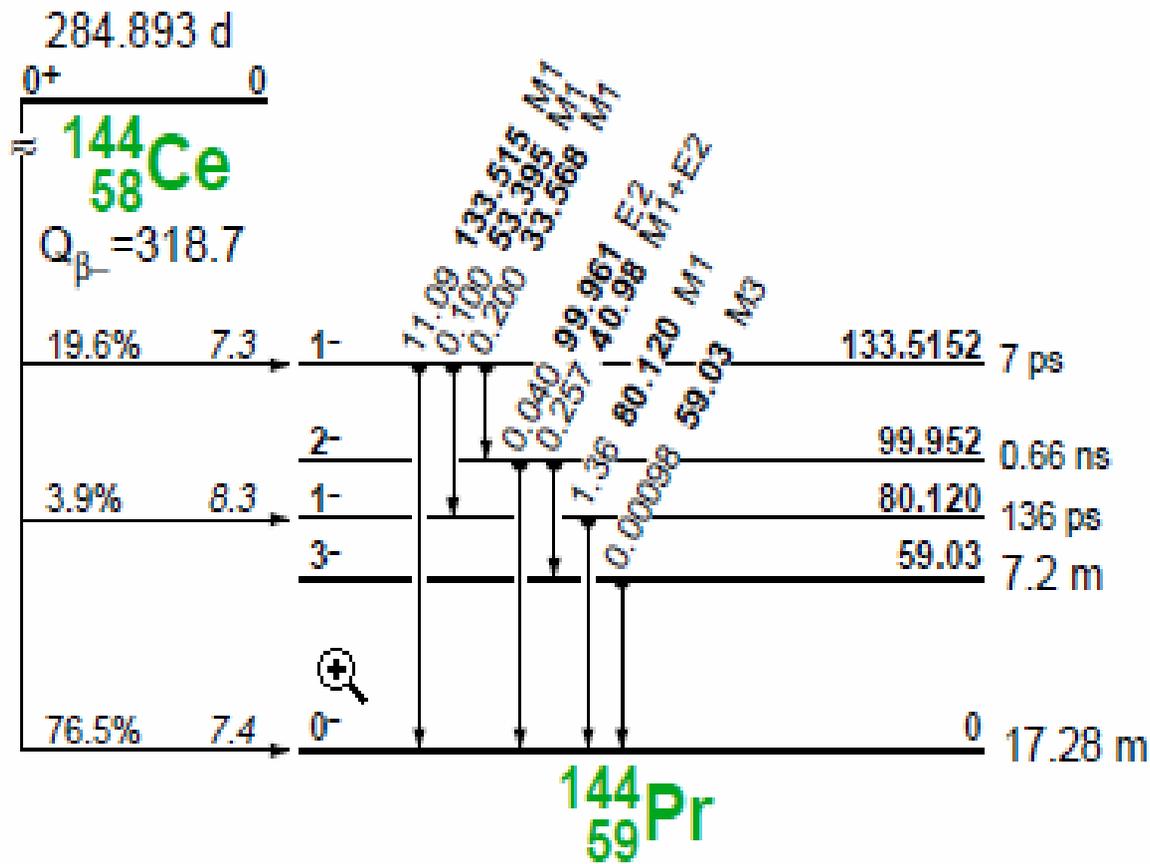
Goldhaberの実験では逆崩壊を利用していたが、今実験ではベータ崩壊を利用したので、ガンマ線のヘリシティとニュートリノのヘリシティの関係は逆になる。

144Prの崩壊



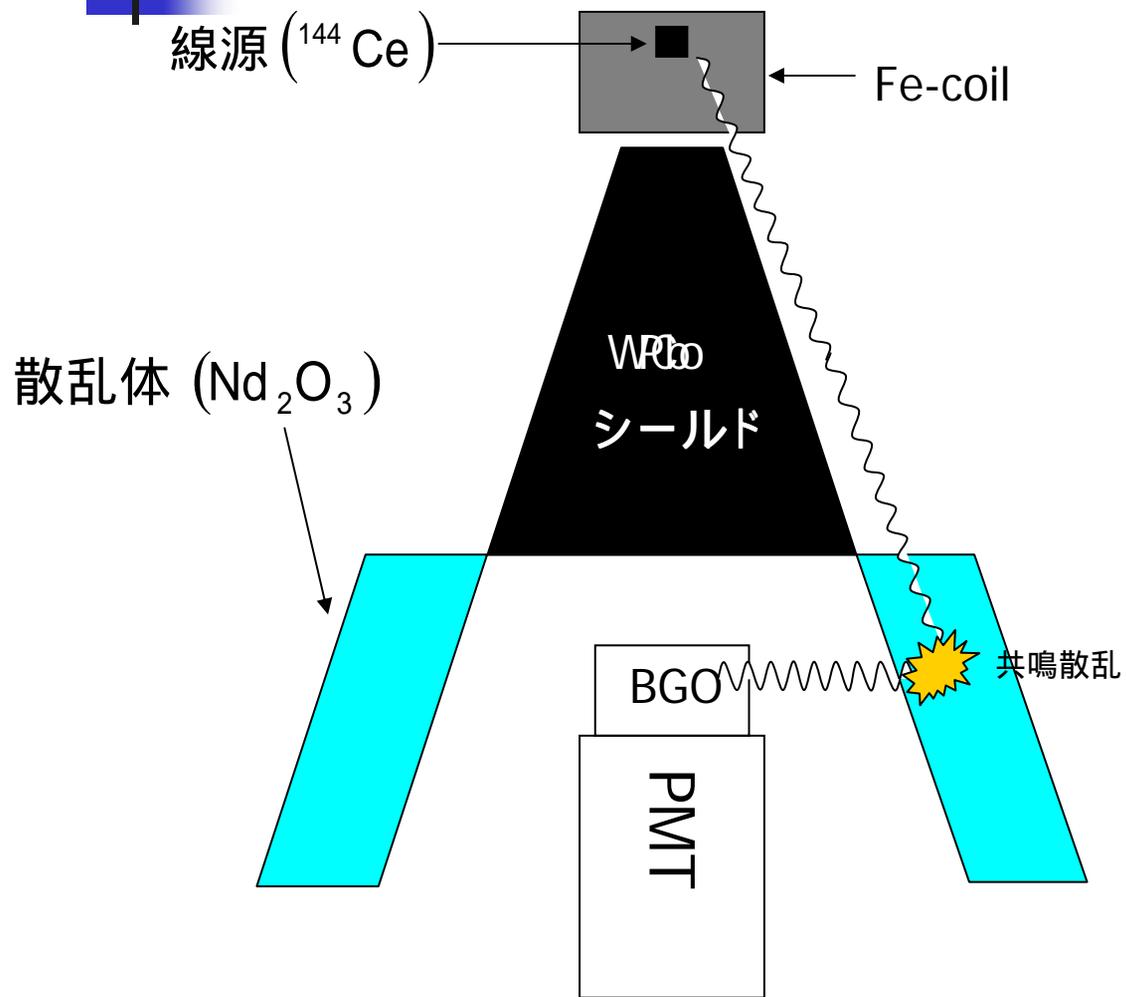
今実験で注目したのは赤下線を引いた反応。

^{144}Ce の崩壊

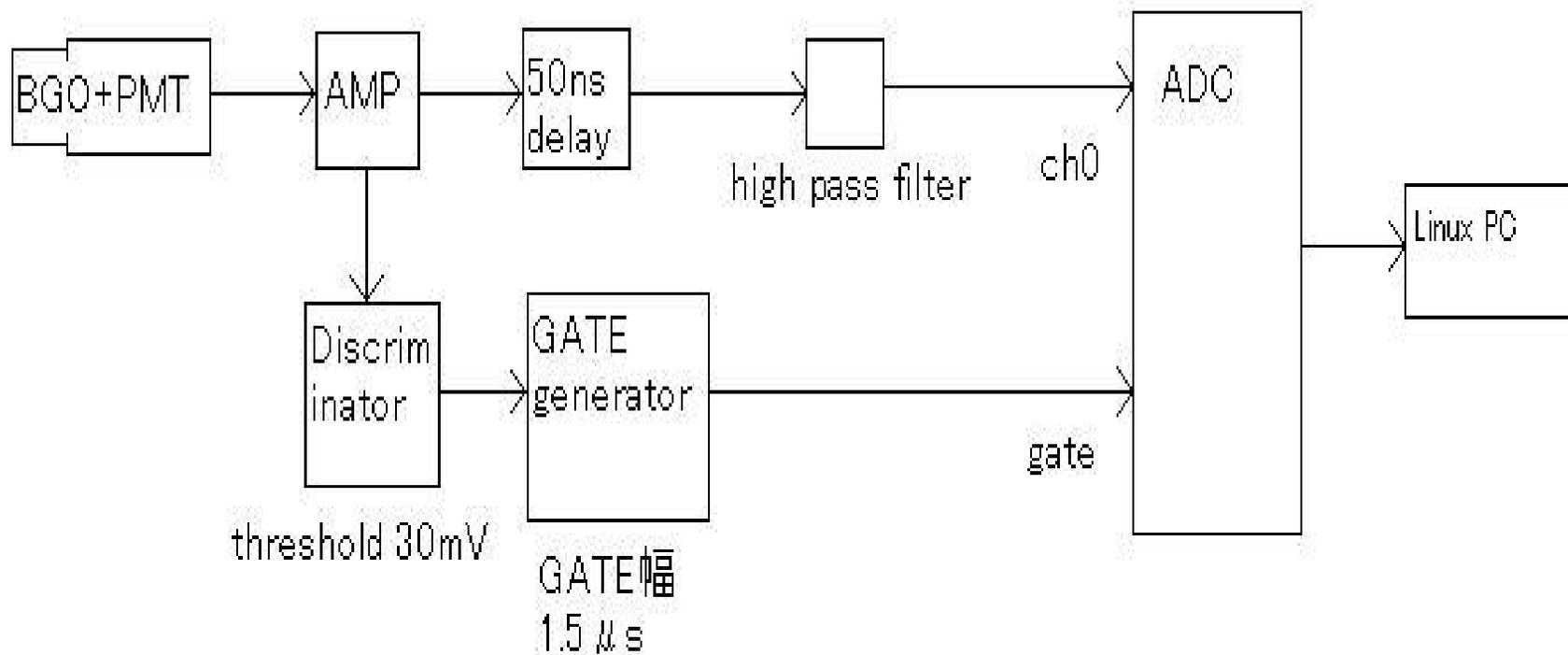


^{144}Pr を直接入手することはできなかったため、今実験では ^{144}Ce が ^{144}Pr に崩壊すること、 ^{144}Ce の寿命が比較的長いことに着目し、また ^{144}Ce が入手可能だったため線源としてこれを用いた。

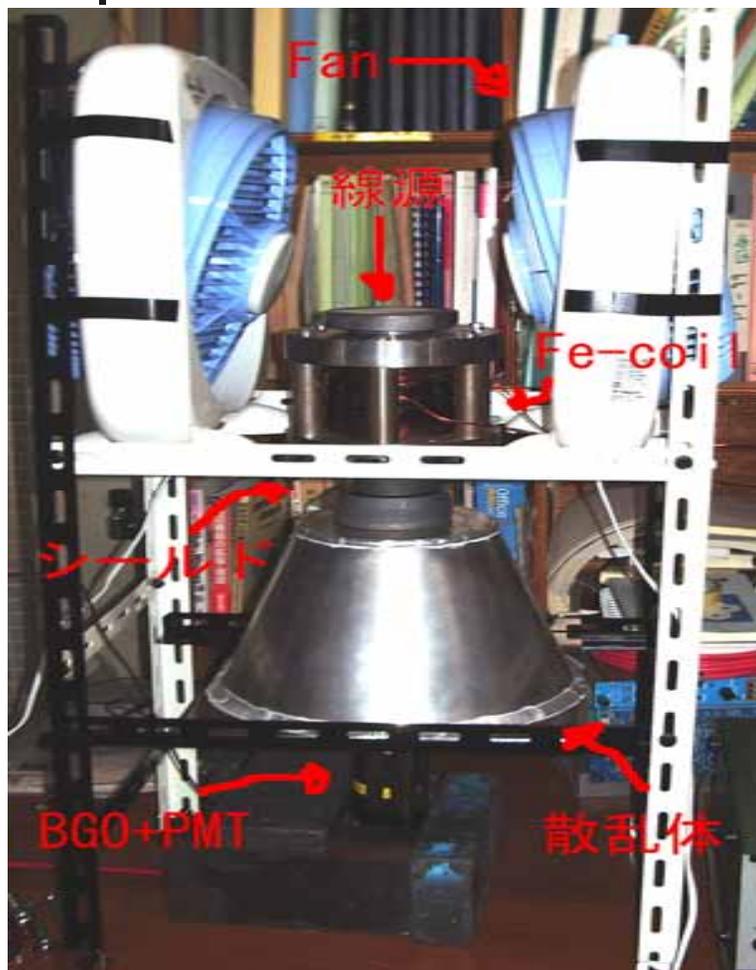
装置概略 (断面図)



回路図

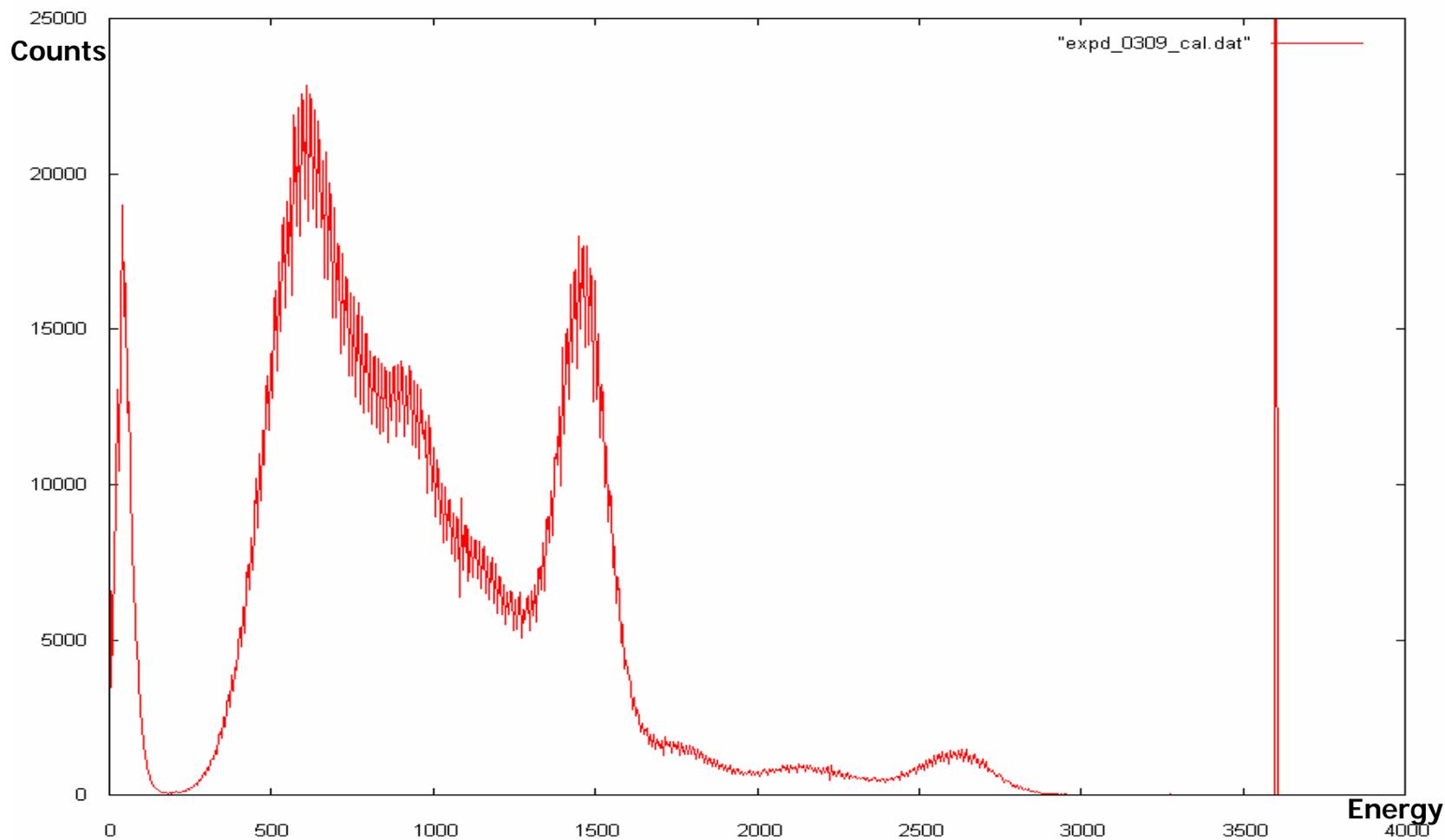


実際に用いた装置

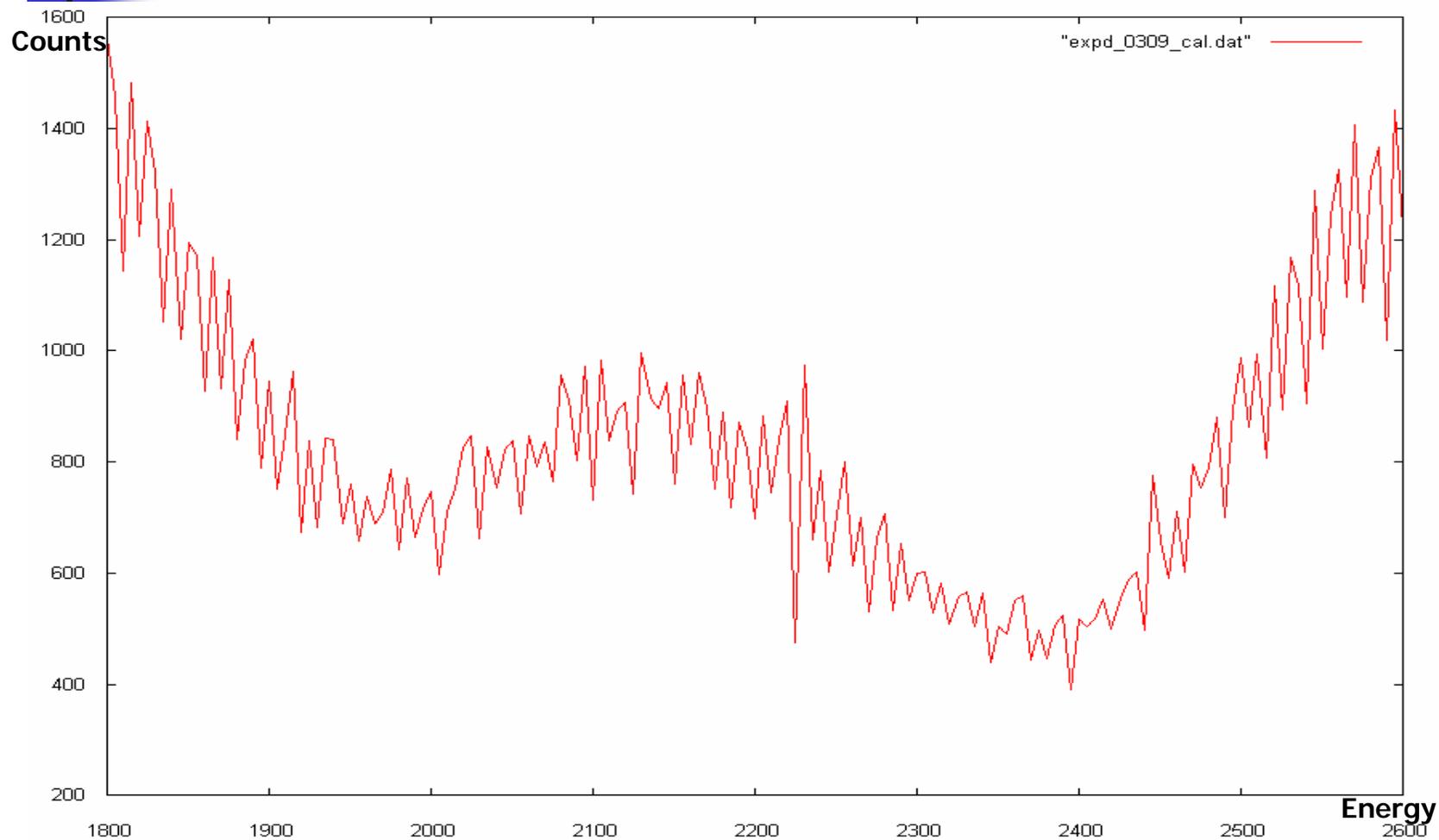


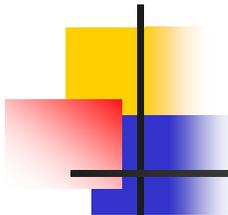
- 左図の装置を用いて実験を行った。
- 磁場の向きを24時間毎に切り替え、
合計12日分(磁場上向きと下向きに対して
各々6日分)のデータを得た。

測定データ(1)



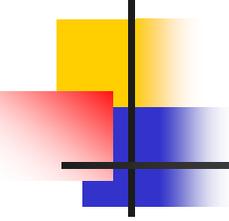
測定データ(2)





解析

- 予め測っておいたbackgroundを除去
- 1995 ~ 2395keVの範囲を目的の線としてカウント



解析データ

- (磁場下向きのカウント数) - (磁場上向きのカウント数)

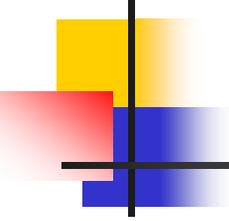
$$N_d - N_u = 354 \pm 840$$

- (磁場下向きのカウント数) + (磁場上向きのカウント数)

$$N_{tot} = N_d + N_u = 11330 \pm 1183$$

- 以上より

$$N_{asym} = \frac{(N_d - N_u)}{N_{tot}} = 0.0312 \pm 0.0709$$



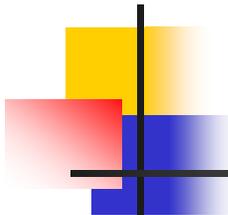
結論

- シミュレーションによる透過率のアシンメトリー

$$P_{asym} = 0.0090 \pm 0.0001$$

- よって、helicityは

$$h = 3.47 \pm 7.88$$



おまけデータ

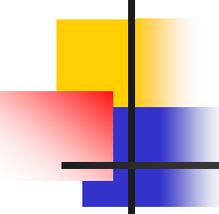
- 1985 ~ 2385keVの範囲を目的の線としてカウントしてみました。

$$N_d - N_u = 1341 \pm 843$$

$$N_d + N_u = 10663 \pm 1188$$

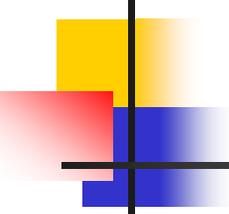
$$N_{asym} = 0.1258 \pm 0.0651$$

$$h = 13.97 \pm 7.23$$



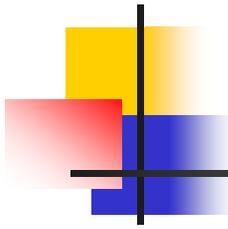
考察

- 本実験においてヘリシティーの値の精度が非常に悪かったのは線源内に含まれる ^{144}Ce の濃度が想定していたものより低かった、且つ散乱体におけるNdの量が足りなかったために必要とするイベント数が得られなかったためであると思われる。
- また、今回結論に示したヘリシティーはNdが崩壊を起こした線のものであって、ニュートリノのそれとは厳密には一致しない。



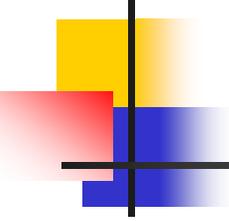
展望(1)

- Ndの崩壊において放出されるガンマ線が、ヘリシティー、エネルギーとともに進行方向に対する角度依存性を持っているため、ガンマ線のヘリシティー(の期待値)をニュートリノのヘリシティー(の期待値)と関連付ける式を導出する必要がある。
- Goldhaberの実験においてはこれは、
$$h = h / 0.85$$
であった。本実験においては0.85に替わる係数を計算する必要がある。



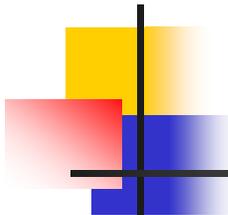
展望(2)

- より正確な 線のヘリシティーを得るためには、
 - ・線源強度をあげる。
 - ・散乱体ケースの設計を見直す。
 - ・分解能の高い検出器を用いる。などが有効であると思われる。



感想

- イベント数があまり稼げない事は予め覚悟していましたが、予想以上にイベント数が少なく改めて実験の厳しさを思い知らされました。



謝辞

- 一年間ゼミを担当していただいた川合先生、中家先生、横山先生、またTAの松岡さん、西村さん、質問に対して親切に対応していただいた高エネ研の院生の皆さん、本当にありがとうございました。

