

中間発表アンチョコ

村山 芳幸*

平成 14 年 12 月 4 日

1 表紙

京都教育大学教育学部理系教育学科素粒子実験物理学研究室の村山芳幸です。KOPIO(BNL-E926) のための α 線源を用いた Nitrogen Scintillation について発表させていただきます。それではよろしくお願い致します。

2 Contents

では、発表の内容について話します。まず、KOPIO の概要について述べます。次に、本実験に用いた機材についての説明を致します。次に、LED、発光ダイオードを用いて、実験に使用した光電子増倍管の性能を検討するために、光量の較正について発表します。そして、 ^{241}Am を用いた Nitrogen Scintillation の可能性について検討します。ただし、今回では空気も窒素を 70% 程度含んでいるということで、空気を中心とした実験を行います。

3 KOPIO: $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Experiment(1)

KOPIO 実験とは、Brook haven National Laboratory の 926 番目の実験であり、CP の対象性に関する研究を行っています。

*京都教育大学教育学部

4 KOPIO: $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Experiment (2)

KOPIO 実験の目的とは、CP 非保存の鍵を握ると言われている小林、益川行列のパラメタの測定をすることです。このパラメタの測定のために、 K_L^0 中間子の稀崩壊モードである、 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の崩壊モードを測定することがあげられています。

この崩壊モードを検出するためには、崩壊時に生成される π^0 を発見し、この π^0 から崩壊するときに生成される 2γ を見付ければよいのですが、 K_L^0 の別の崩壊モードである $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$ が崩壊するときに生じる 4γ が大きな Background となっています。

この 4γ の内、2つを検出し損なうと、 2γ となるため、上の $\pi^0 \nu \bar{\nu}$ の崩壊モードと間違える可能性があります。

そこで、この崩壊領域を完全に veto で覆い積極的に veto を検出する必要があります。

5 KOPIO Detector

このような検出器は大きく、図のようになっています。本研究では、この beam catcher が研究に関係します。

6 Beam Catcher prototype

この Beam catcher の試作品を京都大学高エネルギー物理学グループが試作しました。この Beam catcher に対して、要求されることは、 γ に対しては、強い Efficiency を持つが、中性子に対しては Efficiency をできるだけ弱くすることが必要です。

このため、この試作品では、Aerogel Cherenkov タイプのカウンターを製作しました。Aerogel の特徴は、Aerogel 内での粒子の相対速度が光よりも速くなったときに光を発生することです。

つまり γ 線が鉛に衝突した時に、発生する電子が光の速度よりも速く走ったときに、光を放つために、間接的に γ が来たことがわかるわけです。

そしてその実験の結果として、想像してよりも、大きな発光量を検出したということです。この可能性として、窒素励起による Scintillation ではないかと考えられています。そこで、今回本実験で、この窒素を中心とした scintillation について研究します。

本実験の中心の目的としては、窒素で本当に光るのかを検証し、光るすれば、どれくらいの光量で光るのか。また、空気と窒素とで、どれくらいの違いがあるのか。最終的な目標としては、光らない気体を校正することです。

7 machinery and materials

それでは、本実験に用いた機材の紹介をします。まず、図の set up で、 α 線は、2mm で collimate されています。また、 α 線源と Quartz までの距離は可変であり、80mm から 130mm の範囲で自由に移動することができます。他に、スウェーヂロックから気体を注入したり、減圧したりすることが可能です。

LED は、外部ケーブルから pulse 出力することができます。ケーブルからの遮光や、空気洩れを防ぐために、樹脂で、覆っています。

また他の解析装置として、NIM および、CAMAC 規格があり、光電子増倍管からの信号を CAMAC 規格の ADC に出します。ここで、その解析装置の概観を発表します。

8 machinery and materials(2)

左の図が全体の概観であり、右の図が、解析に用いたツールの拡大図です。上が NIM Module で、下が CAMAC Module です。

9 machinery and materials(3)

次に、先程の図では、見えなかった部分について説明します。左の図が LED で、右の図がスウェーヂロックです。

10 machinery and materials(4)

本実験の目標として、 ^{241}Am を用いた光電子増倍管の光量の測定と、圧力の変化に対する光量の比較です。

11 Calibration of LED using PMT

ここで、 α 線源を用いて実験をする前に、光電子増倍管の性能、つまり増幅率を求める必要があります。そこで、今回は、LED を用いた光量校正をしました。

光量の校正には、ADC を用いますが、ここで ADC の説明を致します。

ADC は、Analogue 信号を Digital 信号に変換する装置です。今回用いた機材には、1ADC count が 0.25[pC] のものを選びました。また、impedance が 50Ω になるように設計されているので、右の図の場合では、単純なオームの法則から導き出すことができます。実際に計算すると $10\text{mV} \div 50\Omega \times 10\text{ns}$ で、2[pC]、ADC1 カウントが 0.25pC なので、大雑把に正方形でしているので、大体二分の一して、4ADC カウント相当となります。

今回の実験では、1photoelectron が、ADC チャンネルで、何カウント相当になるのかを検証します。その方法として Mean Sigma 法と Single Photon 法があげられています。次に、Mean Sigama 法と Single Photon 法のどちらもが必要とする Pedestal について話します。

12 Preparation -Pedestal-

Pedestal とは、offset 値のことであり、Gate が開いている状態で、signal が来ていない状態のことを指します。本来ならば、積分値は、0 であるはずですが、大体 75 程度に設定されています。したがって、検出した ADC カウントから、この Pedestal を引いた値が、真の値ということができます。次に、Mean Sigma 法の説明を致します。

13 LED Calibration Mean Sigma Method

Mean Sigma 法では、用いている光電子増倍管の増幅率を求める方法の一つです。これは、平均光電子数が 10 程度以上にのみ求めることができる方法です。

方法としては、pedestal ではない別のピークを fitting して、fitting 内での平均値を求めます。そして、先程に述べた pedestal のピークを引いたものを $\langle a \rangle$ とします。同じように、 σ も求めます。すると、gain は、この式を解くことで平均光電子数が求められるので、そこから求めることができます。次に、実行結果について述べます。

14 LED CAlibration Mean Sigma Method-(2)

得られたデータから、大体平均して、7程度の gain を得ることができました。右図が下の表から、平均光電子数が、10 程度のところのみ、最小自乗法で、fitting した結果です。ただし、ここは、C 言語で大雑把にプログラミングしたので、有効桁数が小数点以下 4 桁程度の信頼性しかありません。

15 LED Calibration -Single Photon Method-

次に、Single Photon 法の説明をします。

Single Photon 法は、Mean Sigma 法のような繁雑な式変形をすることなく、Direct に gain を求めることができます。ただし、この場合は、平均光電子数が、非常に少ない場合、一つくるかこないか位の場合に有効な手法なので、測定が困難です。

この場合は、Single Photon と、Pedestal のピークの差がそのまま Gain になります。この図の場合では、1photoelectron は 9ADC カウント相当となります。これまでで、Single Photon の gain が知ることができたので、ADC カウントから、逆算して、何 Photon きたのかを算出することができます。

16 Nitrogen Scintillation -Estimation-

次に、 α 線がどれくらい光電子増倍管に来るのかを estimation します。²⁴¹Am は、文献から、窒素中で、800Photon 程度の光量があることがわかります。今回は空気を用いましたが、空気の中にも 70% 程度の窒素が含まれているので、光る可能性があると考えました。

図のように、簡単に見積もると、立体角および、quantum efficiency を考慮に入れると、3photon 程度、すなわち、30-50ADC カウント相当程度、これに pedestal を加えると 110ADC カウント程度以降にピークが立つと考えました。

17 Nitrogen Scintillation -logics-

次に、 α 線の場合での回路について説明します。光電子増倍管からのシグナルは、 32Ω Divider で分割されます。一方は、Discriminator を通り、threshold 以上の signal が来れば、Scaller でカウントし、同時に、GATE をつくります。またそれを、ADC に入力します。もう一方のシグナルは、self trigger のために、Gate との同期をとるために、Delay をオシロスコープで確認しながら、調節し、ADC に入力します。

また、GATE が開いている状態で、さらに、シグナルが来て、二重のゲートを作らないために、Event LAM Resister で、ゲートを開いている時に veto を返し、ゲートを作らないようにします。ADC で積分した Digital Data は、CRATE Controller で、計算機に出力することができます。

18 Nitrogen Scintillation -in the Air-

そして、結果をしめします。¹

右の図は、一列目が、空気中での、二列目がほぼ真空中でのデータです。また一行目が、 α 線をいれた状態、二行目が、 α 線を抜いた状態です。一行目と二行目の差をとることで、 α 線のためのデータがとることができます。

図を拡大します。

図より、90ADC カウント前後にピークがあることがわかりますが、これは α 線だということができるかは、あまりにノイズのすそのにあるため断定はできません。ただし、scaller の hit 数から、 α 線をいれた時の状態が、大きくなっているので、なんらかの影響はあったと考えられます。ただ、真空中でのヒットは、 α 線がエネルギーを失わずに、そのまま Quartz 板を叩いた時に、Scintillation したのかと考えていますが、これも今後の課題です。

19 Summary

まとめとして、光電子増倍管の特性について、調べることができた。光電子増倍管の安定性を検証、および再現できた。 α 線の真空中での比較ができた。ことがあげられます。

¹強烈に眠い.. 今 AM6:52 だっつーの!

20 FuterPlan

今後の課題として、実際に窒素をいれること、他に O_2 の Quenching の理論について、学ぶこと、 γ 線の影響を無視できるか、光電子増倍管の Saturation はないか。について検討する必要があります。

また、解析面では、エネルギー損失を示す Bethe-Bloch 方程式を演算する Software を C++ で開発することがあげられます。それに関連して、立体角演算対話型言語を既に開発したのですが、これを BetheBloch 方程式との linking についても行いたいと考えます。

最終的には、Geant4 に適用したいと考えています。

これで、発表を終わります。ありがとうございました。