

宿題残り分の進展状況

(1) Total Energy Detector (TED)

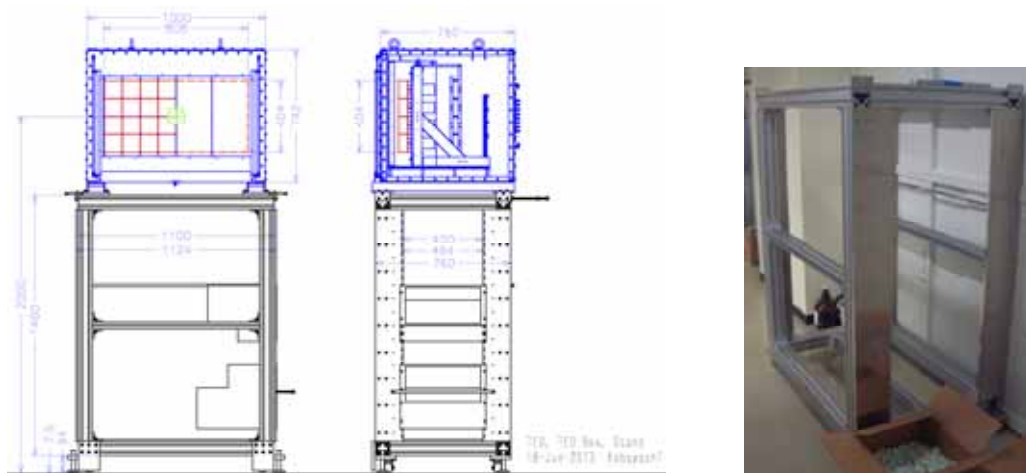
TED は、CsI pure (100x100x50mm³)結晶に 3" φPMT をつけた 3 2 個の検出器要素からなる全エネルギー検出器で、有効領域は 800mm(H)x400mm(V)である。

TED 本体は、磁気シールドと遮光を兼ねた鉄製（鉄+ミューメタル）の遮蔽箱(TED box)に納め、架台上に載せる。架台に微調整機構はついていますが、基本的には検出器位置の変更は架台下部のデルリン板を実験室床に固定したアングルにそって移動させることで行う。

(1-1) 架台組立 (千賀)

架台の組み立てを行った。

大学には TED Box をつり上げられるクレーンがないので、架台に TED/TED Box を載せる確認作業は、理研に運んでから行う。



左：TED 検出器（本体、遮蔽箱、架台） 右：架台組立後

(1-2) TED 本体組立

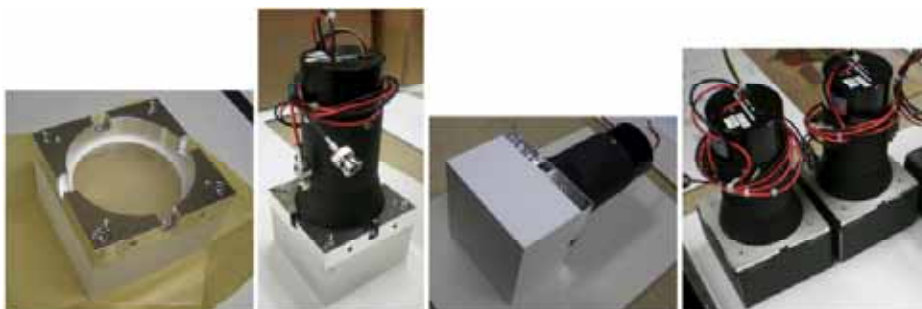
* 結晶への反射膜とフランジの固定。

* optical coupling+optical grease+PMT Assy 組立： バネにより押しつけ圧力を一定にする。

(Breeder からは dynode 3 段分の booster 線が出ているが、コネクターはつけてない。)

* テフロン膜 (0.1mm 厚 3 重) + 黒ラシャ紙で wrapping。

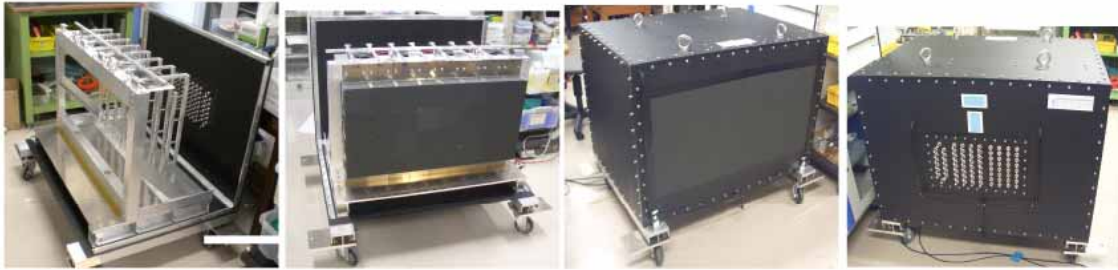
テフロン膜と黒ラシャ紙の合計の厚さは、平均すると片側約 0.5mm で、wrapping 後の結晶外側の大きさは 101x101mm² (平均) となる。



組立経過： (1)結晶+フランジ、(2)PMT 固定後、(3)テフロン巻後、(4)黒ラシャ紙巻後

(1-3) TED 遮蔽箱への組込

TED 本体 32 個を、4 行 8 列の配置でジグに組み込んだ。



(1)組込用ジグ、(2)32 個組込後、(3)遮蔽箱前面、(4)遮蔽箱後面

(1-4) γ 線試験用 PreAmp の製作

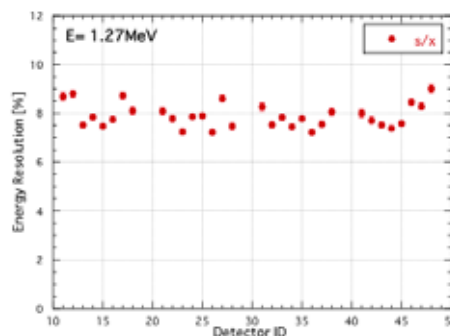
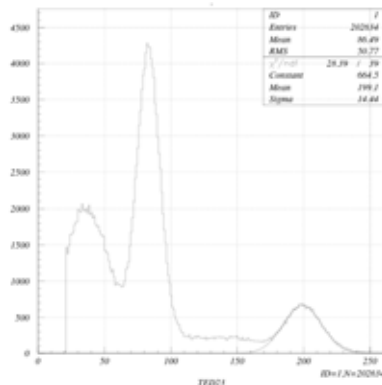
TED 用 PMT の breeder は、重イオンに対して高電圧約 500V で使用する時に breeder 電流 $\sim 1.5\text{mA}$ を流すように抵抗を選んである。 γ 線で試験する際に、なるべく低い HV で分解能などを簡単に試験できるように、電荷積分型 PreAmp+整形増幅器+PHA+PC の組み合わせを採用した。アノード信号を長く引いた後に通常の PreAmp は使えない為、anode 信号を impedance matching をとった後に積分する PreAmp 回路を 8 ch 分製作した： $C_f=100\text{pF}$ 、 $\tau=10\mu\text{s}$ 。既成の Hybrid PreAmp は 50Ω が drive できなかったり、前段で impedance matching をとると AC couple にする必要があったりしたので、BaF₂ に使用する事も考慮し 1 個約 200 円の安い OpeAmp を使い、8 ch 分を自作した。PreAmp 出力は 100Ω balance 信号で、STM16 などの作動入力型整形増幅 amp に接続する（現在 PreAmp 無しの DALI にも使用可能）。Shaper 出力は USB 接続の PHA に接続して波高分布を見る（USB 接続の小型 PHA を使ったが非常に便利で、理研予算でも 1 台購入してもらえると、理研で試験を行う時に助かる：1 個約 15 万円）。



16ch 電荷積分型 PreAmp module を自作（8ch 分のみ配線）

(1-5) γ 線を用いたゲイン調整と分解能チェック

Na22 からの 1.27MeV γ 線を用いて、HV / Gain 調整とエネルギー分解能チェックを行った。エネルギー分解能は、 1.27MeV で約 8% (rms)。



(1) ²²Na のエネルギー分布、(2) 1.27MeV でのエネルギー分解能（横軸は detector ID）

なお、組込の段階で、中央部分にエネルギー分解能の良いものを配置した。

温度変化などによる長期安定性の試験を行う予定であるが、高電圧が 32ch 分必要なので、理研から借用したい。読出し回路の方式については案を作成中。8 ch 分自作した PreAmp を 32ch 分製作するのが最も簡単と思っている。

(1-6) まとめと TED の今後の予定

* 検出器本体 + 遮蔽箱 + 架台は一応完成。

* 全チャンネルに高電圧をかけた状態で、ゲイン変化などの長期安定性の試験を行う予定。この為には、色々な回路の準備と手配が必要。

* 遮蔽箱中の温度モニターなどは方法を考慮中。

* HIMAC で、1 月上旬に 3 晩、2 月下旬に 3 晩、Kr からの 2 次ビームを用いて試験を行う。全結晶に 2 次ビームを当てて分解能などを調べるが、効率良く短時間で行うには、水平方向に約 700mm、上下方向に約 300mm、遠隔で遮蔽箱を移動させる機構が必要で、方式等を考慮中。

(2) Proton Drift Chamber (PDC)

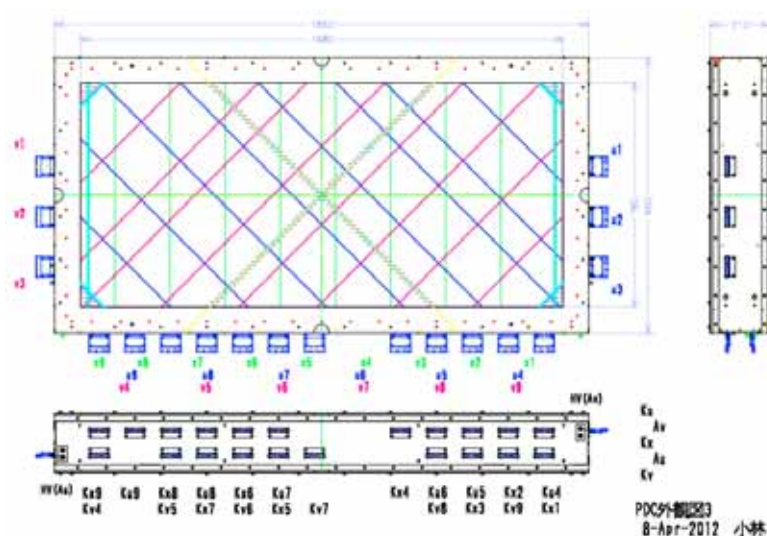
PDCは(γ, p)型実験用の陽子用大型 drift chamber で、有効領域は 1.7m(H) x 0.8m(V)、面配置は Ku-Av-Kx-Au-Kv、cathode 読出型で、読出チャンネル数は 1 台当たり 16ch x 9 x 3= 432 ch。

(2-1) 今年5月時点での状況

- * 試作機を用いた読出方式の試験： 5月24日付の報告を参照。
- * PDC 架台： 昨年度組立済みで、B2F に放置。
- * PDC1 (@理研、B3F)： Ku2本、Kx1本、Au1本、ワイヤー抜け。動作不能で要修理。
- * PDC2 (@東北大)： Au1本、ワイヤー抜け。抜けたワイヤーは除去済み。一応高電圧は充分とはいえないがかかる状態にある。当分これを用いて試験する予定。
- * 読出用ケーブル、電源用ケーブル、各60本： 6月中旬に納品済み。
- * PDC 用 VME crate： 専用の物は無い。現在架台についているのは、東京理科大からの借用品。
- * ASD-PS、VME-TDC： 専用の物は無い。
- * 読出試験： 東北大で何回か試したが、PDC2 を置いた部屋中の UPS 郡からのノイズにより閾値が下がらず、全て途中で give up。他の部屋で試験する可能性は、PDC がエレベータに入らない為に不可。

(2-2) PDC 試験—その1 (PDC 単体試験、P10 gas)

PDC 読出用 ASD の配置を下図に示す。PDC 1 台に 27 台の ASD がつく。



PDC 読出用 ASD の配置

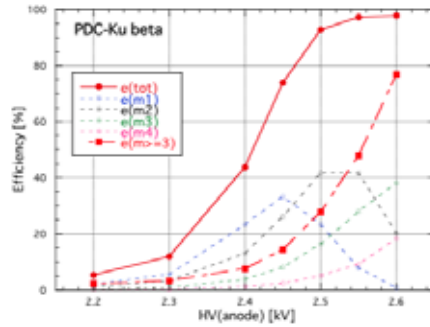
ノイズ対策が主になり時間がかかる為、ガスとして安い P10 を使用。

読出数は、Ku 面の 4 コネクター (Ku4、Ku5、Ku6、Ku7) 分の 16 x 4= 64ch。

読出回路として、ASD + LVDS-ECL 変換 + LRS3377 TDC 2 台 (512ch、2 ns/ch、leading edge+trailing edge、16 hits) を CAMAC で読み出す。

ノイズは、定石通りだと落ちないので何か理解できない部分があると思われるが、なんとか初めて $V_{th} = +0.7V$ でノイズ無しで動作させる事に成功。しかし DAQ noise は結局落とせず、busy end 信号を少し遅らせて使用した。

高電圧は、 $V_A / V_P = +2.6 kV / -0.1 kV$ が放電せず動作させられる最高電圧で、最適動作点にはいたらない。ベータ線を用いた場合の検出効率の HV 依存性を次に示す。

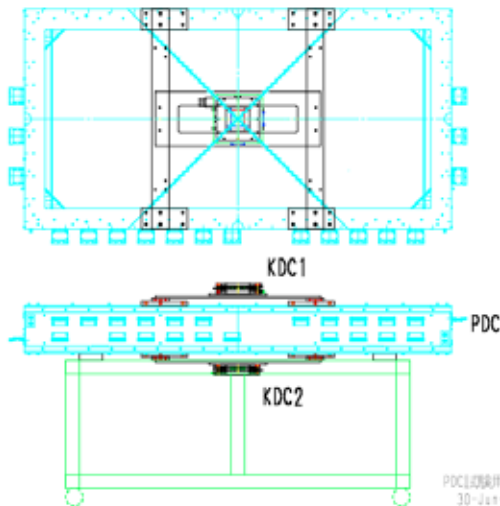


PDC 検出効率の HV 依存性。 P10 gas、 $V_{th}=+0.7V$

(2-3) PDC 試験—その 2 (PDC+KDC1, KDC2、P10 gas)

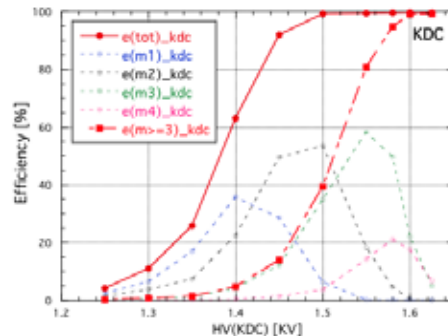
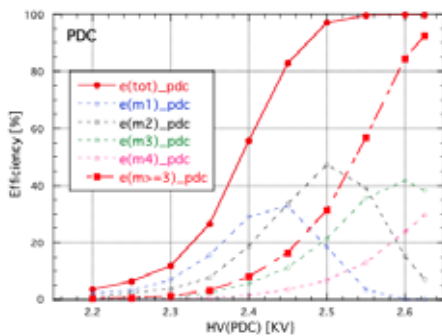
PDC の位置分解能を調べる為に、PDC の上下に 2 台の reference chamber (以下 KDC1、KDC2) を設置。ガスは PDC、KDC とも安い P10 を使用。 KDC は有効領域約 100x100mm² の cathode 読出型 drift chamber (strip pitch=7mm) で、面配置は Kx-Ay-Kc-Ax-Ky。読出は、KDC が各 16ch(X) + 16ch(Y)、PDC_Ku が 32ch(Ku4、Ku5)の合計 96ch で、LRS3377 TDC 3 台を使用： LRS3377 設定は前と同じ。

検出器を 3 台にすることで、大分ノイズの様子が変わり、前と同様に定石通りではノイズが落ちないが、試行錯誤の結果、PDC と KDC は両方とも $V_{th}=+0.6V$ で使用できるようになった。



PDC+KDC12 の試験配置： 図に 2 台のトリガー用シンチレータは省略。

ベータ線を用いた検出効率の HV 依存性を下に示す。HV conditioning の効果か、PDC は+1.625kV までは高電圧をかけられるようになった。

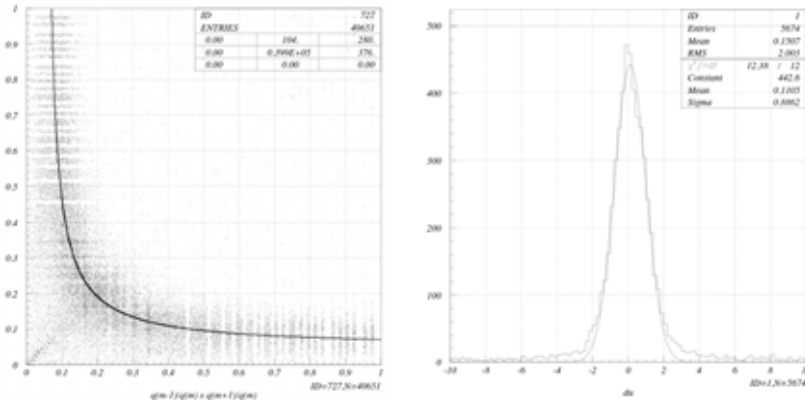


PDC、KDC 検出効率の HV 依存性。 P10 gas、 $V_{th}=+0.6V$

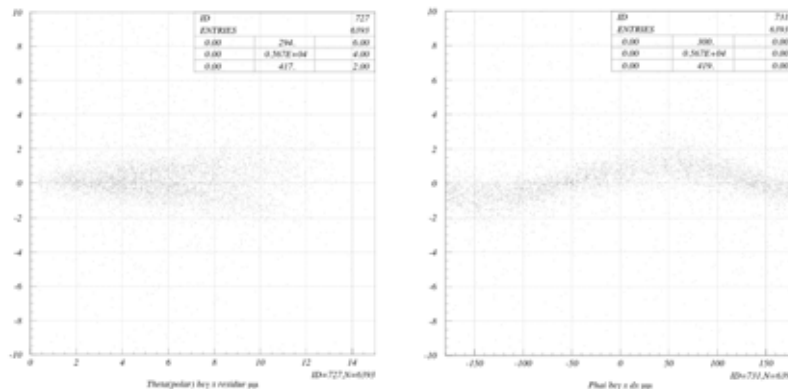
$V_A(PDC)=1.625\text{ kV}$ 、 $V_A(KDC1)=1.575\text{ kV}$ 、 $V_A(KDC2)=1.60\text{ kV}$ の条件で宇宙線トリガーのデ

ータを取得した： trigger rate は約 160/hour。

ASD logic signal の時間幅を電荷情報に換算し、Charge ratio 法（以下 CRM）により角面での位置を求める。CRM では、実際の half gap ではなく effective gap を用いた方は位置分布がなめらかでかつ位置分解能が良い事が知られている。今回は電荷分布比の相関 $[q(m-1)/q(m) \times q(m+1)/q(m)]$ から effective gap を求めて位置解析に用いた： PDC の half gap は 8mm だが、effective gap は約 6.5mm であった。PDC の位置分解能は、KDC1(X,Y)、KDC2(X,Y)の位置情報から PDC(U)での内挿位置を求め、残差分布を求めることにより推定する。



(1) KDC の電荷分布比 $q(m-1)/q(m) \times q(m+1)/q(m)$ 、(2) 残差分布 dx [mm]



(3) 残差の天頂角依存性 (θ)、(4) 残差の azimuthal 角 (ϕ) 依存性

残差分布の幅 σ_R は、PDC-Ku 面の位置分解能を σ_{PDC} 、KDC 各面の位置分解能を σ_{KDC} とすると、

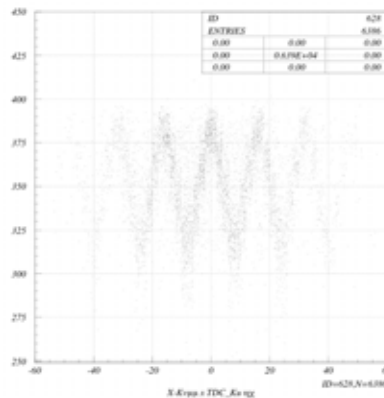
$\sigma_R = \sqrt{\sigma_{PDC}^2 + (\sigma_{KDC}/\sqrt{2})^2}$ であり、上図(2)の残差分布幅(rms)は $\sigma_R = 0.89$ mm であった。P10 を使った場合の KDC の位置分解能をまだ測定してないので何とも言えないが、 $\sigma_{KDC} \sim 0.5$ mm としても $\sigma_{PDC} \sim 0.82$ mm であり、P10 を使った場合の PDC の位置分解能はあまり良くない。

しかし、残差の天頂角依存性(3)と azimuthal 角依存性(4)を見ると、残差分布の幅だけでなく、残差の中心値も入射角依存性を持つ事がわかる。天頂角依存性を見ると、 $0^\circ \sim 2^\circ$ では $\sigma_R \approx 0.5$ mm であるが、 $8^\circ \sim 10^\circ$ では $\sigma_R \approx 1.5$ mm と増加する。5月24日付の報告からもわかるように位置分解能の入射角依存性は大きいので、位置分解能を改善できるはずであるが、PDC と KDC の両方の効果が寄与する為、分離は難しいかもしれない。

CRM による位置決定の simulation を行うと、斜め入射に対して anode 上で avalanche 分布が一様に広がるという仮定のもとでは、角度による位置決定のずれは、effective gap を変化させることで補正する事ができる。実際のデータを用いて確認する必要があるが、宇宙線データは統計が悪く、まだ結論は出ていない。

PDC を設計した時から考えていたアイデアを以下で確認した。 Cathode 読出では、cathode 論理

信号の幅を電荷情報に換算して cathode に誘起された電荷分布の中心位置を求める。しかし anode での avalanche から誘起される cathode 信号には drift time 情報も含まれているはずであり、位置情報に変換できる可能性がある。下図に KDC1(X,Y)と KDC2(X,Y)の位置情報から PDC-Ku ワイヤーに垂直な方向の位置を求め、PDC-Ku 面の TDC 情報との相関を示す。明らかに cathode 信号には drift time 情報が含まれており、相互校正ができれば、カソード誘起電荷分布による位置情報と直交する方向の位置情報も得られ、又 consistency check に使用する事も可能である： anode 面を MWPC 構造でなく drift chamber 構造にしたメリットの一つである。



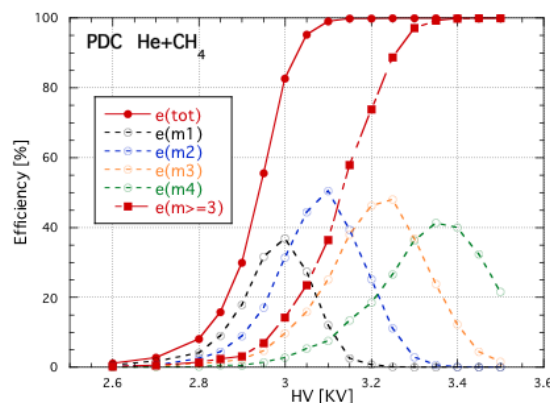
PDC-Ku に垂直な方向(v 方向)への内挿位置と Ku 面の drift time の相関

(2-4) PDC 試験—その 3 (PDC+KDC1, KDC2, He + 60% CH₄ gas)

P10 を用いてノイズ落としや読出などの試験が終わった時点で、実際に用いる予定の He + 60% CH₄ ガスへ切り替えた。東北大には Pre-mix のガスが無かったので、He と CH₄ を MFC で混合して用いた。CH₄ の手持ちが約 1000 L だったので、ガス置換に用いる CH₄ の量を減らす為に He で 5 回置換後に、計算量だけ CH₄ のみを流し、その後 2 種混合ガスを流す方法をとった。

残念ながら、ガス置換中に KDC2 を放電させてしまい破損した為、この混合ガスを用いて位置分解能の試験を行う事はできなくなった：修理は行う予定であるが、両面蒸着のカソードストリップが破損した為難しそうである。

その為、ベータ線を用いて PDC の検出効率の試験だけを行った。



PDC-Ku 検出効率の HV 依存性： He+60%CH₄ gas、V_{th}=+0.6V

これまでのように Au と Av の両方に高電圧をかけると、3.35 kV 以上では放電を起こし、最適動作点には至らない。現在 Au は 1 本アノードを抜いている為、この影響によるものかもしれない。実際 Av だけに高電圧をかけるとプラトーに入るまで高電圧をかける事が可能であった。Av に高電圧をかけ、Au 面を接地した条件での、Ku 面検出効率の HV 依存性を前ページの図に示す： V_{th}=+0.6V

は以前と同じ。

(2-5) HIMAC 試験用の架台設計 (千賀)

11月下旬にHIMACで陽子ビームを用いてPDCのビーム試験を行う。Reference chamberの入射角依存性などの不確定性などを無くする為、今回は通常のdrift chamber(有効領域=550mm x 220mm)を2台用いる。位置検出器3台を載せる架台を設計した。9月/10月に組み立てる予定。

(2-5) まとめと今後の予定

*これまで何回も試みて失敗していたPDCのノイズ落としに初めて成功し、実用になる $V_{th}=+0.6V$ 付近で試験データをP10ガスとHe+CH₄ガスで取得した。ノイズ落としの方法は定石には反する為、何か理解していない原因が残っている可能性がある。加えて、これまで経験したガス位置検出器の中でもかなり不安定であり、実際の架台にPDCを載せて様子を見る必要がある。

*P10ガスを使った場合、残差分布の幅は約0.8 mm (rms)でありあまり良くない：PDCとreference chamberとして用いたKDC 2台の入射角依存性が含まれる為、改善できる可能性はある。effective gapの変更による簡単な解析方法を調査中。

*He+60% CH₄ガスを用いた場合は、KDC2の破損により位置分解能を試験する事はできなかったが、面(ワイヤー)が正常な場合は、He+60%CH₄ガスで十分な高電圧をかける事ができることを確認した。

*理研にあるPDC1は、9月上旬に抜けたワイヤーを張り替える予定。PDC2の修理はPDC1の結果を見てから考えたい。

*11月のHIMACでのビーム試験に向けて準備をしている。試験にPDC1、PDC2のどちらを使うかは、PDC1を修理、ガス置換後にHV印加試験を行ってから決定する予定。

*どこかの段階で、位置解析の入射角依存性のデータをとる必要がある：その為に現在のPDC架台にreference chamberを2台設置することを考えている。宇宙線による試験は難しそうであり、可能なら理研で試験のビームタイムを申請したい(1次ビームは何でも可。200-250MeVの陽子が磁石下流にければ良い。)

(3) BaF₂ array

既存の検出器を流用してできる位置検出型 γ 線検出器として BaF₂ 検出器の試験をしている。

(3-1) クラスタ検出器の試作

7台の BaF₂ 検出器を組み合わせて1つのクラスタ検出器を試作した。SUS 製フランジに結晶部分を差し込み、後部からデルリン製フランジで押さえる。



BaF₂ クラスタ試作器

7台夫々のエネルギー分解能(rms)を測定すると、1.27 MeV γ 線に対して、4.8%から 6.2%(rms)であった。反射材のテフロンが α 粒子により損傷を受けるという話があり、これらの検出器は20年物なので反射材を巻き直してエネルギー分解能が変わるか確認する予定。

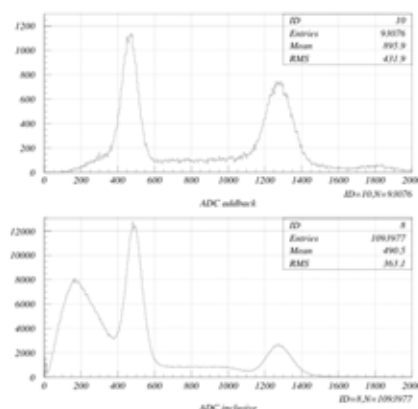
又今回の目的には結晶のテーパ部分(約 5cm)を PMT 側に変更した方が検出効率は改善されるはずで、これも試してみる。

(3-2) AddBack 効率の測定

以前に7本をテープで固定して addback 効率を測定した。今回は結晶の間に SUS 製のフランジが入る。compton 散乱した γ 線への影響が考えられる為、上図の状態 addback 効率を測定した。

読出回路は、TED に用いた電荷積分型 PreAmp を微分時定数 100 μ s で用い、STM16+の出力を peak sensitive ADC へ入力し、CAMAC 読出を行った。

²²Na 線源を用いた場合のスペクトルを下に示す： 下段は7本の inclusive 分布、上段は2本以上の同時計測がある場合に addback した分布(縦軸スケールは 1/10)である。



²²Na のエネルギー分布： inclusive 分布(下段)と addback 分布(上段)

全体平均では、inclusive 分布のエネルギー分解能は 1.27 MeV で 5.6%(rms)。

Addback 効率は、0.5 MeV で約 15%、1.27 MeV で約 30%であり、SUS 製フランジ無しの場合と比較して大きな差は無い。ただし、inclusive 分布と addback 分布の光電ピークの位置はずれていて、理由は不明。