

ポジトロニウムの寿命 測定と量子振動

2017年度P1 有元 島地 龍澤



• 目標

• 理論

• 実験方法

• 測定データ

• 考察

• まとめ

目標

目標

- 磁場下でのポジトロニウム (Ps) の崩壊曲線が振動していることを確認
- その振動数から超微細分裂を測定 (できたらいいな…)

理論

理論

Ps : 電子と陽電子がクーロン力によって形成する束縛状態 (≡ 水素原子)。対消滅により光子に崩壊することができる。

$$|1,1\rangle = |+,+\rangle$$

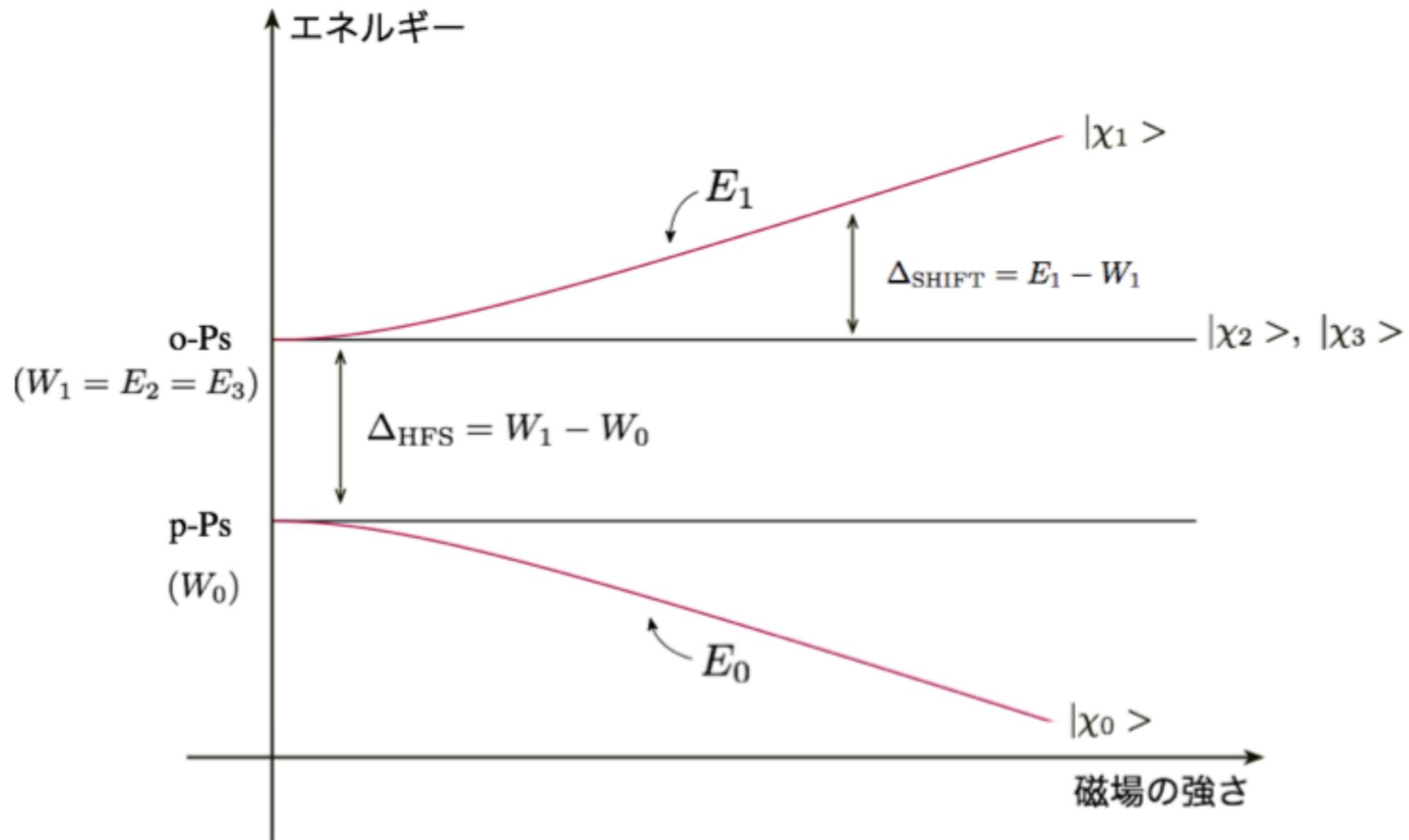
$$|1,0\rangle = (|+,-\rangle + |-,+\rangle) / \sqrt{2} \quad \text{o-Ps} \Rightarrow 3\gamma (142\text{ns})$$

$$|1,-1\rangle = |-,-\rangle$$

$$|0,0\rangle = (|+,-\rangle - |-,+\rangle) / \sqrt{2} \quad \text{p-Ps} \Rightarrow 2\gamma (125\text{ps})$$

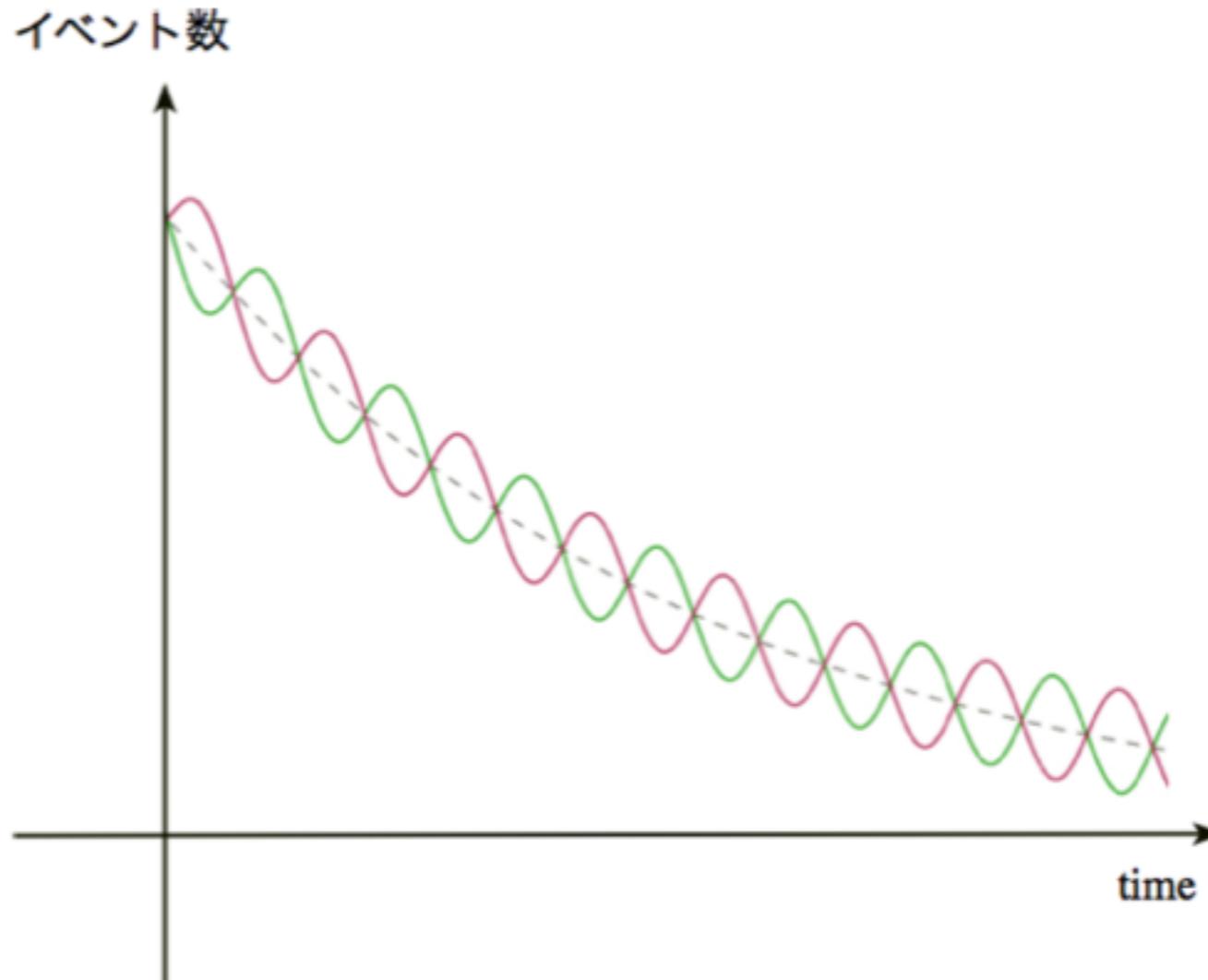
o-Psとp-Psにエネルギー差 \Leftrightarrow 超微細分裂 (HFS)

磁場下 $|1,0\rangle$ と $|0,0\rangle$ の間に混合が起こり、エネルギー固有値がZeemanシフトを起こす。



$$\Delta_{SHIFT} \equiv E_1 - W_1 = \frac{1}{2} \Delta_{HFS} (-1 + (1 + x^2)^{\frac{1}{2}}) \quad x \equiv \frac{2g'\mu_B H}{\Delta_{HFS}}$$

o-Psの崩壊曲線は、Zeemanシフトにより振動
→このときの振動数が Δ_{SHIFT}



実験により Δ_{SHIFT} が分かれば、間接的に超微細分裂 Δ_{HFS} が求まる！！

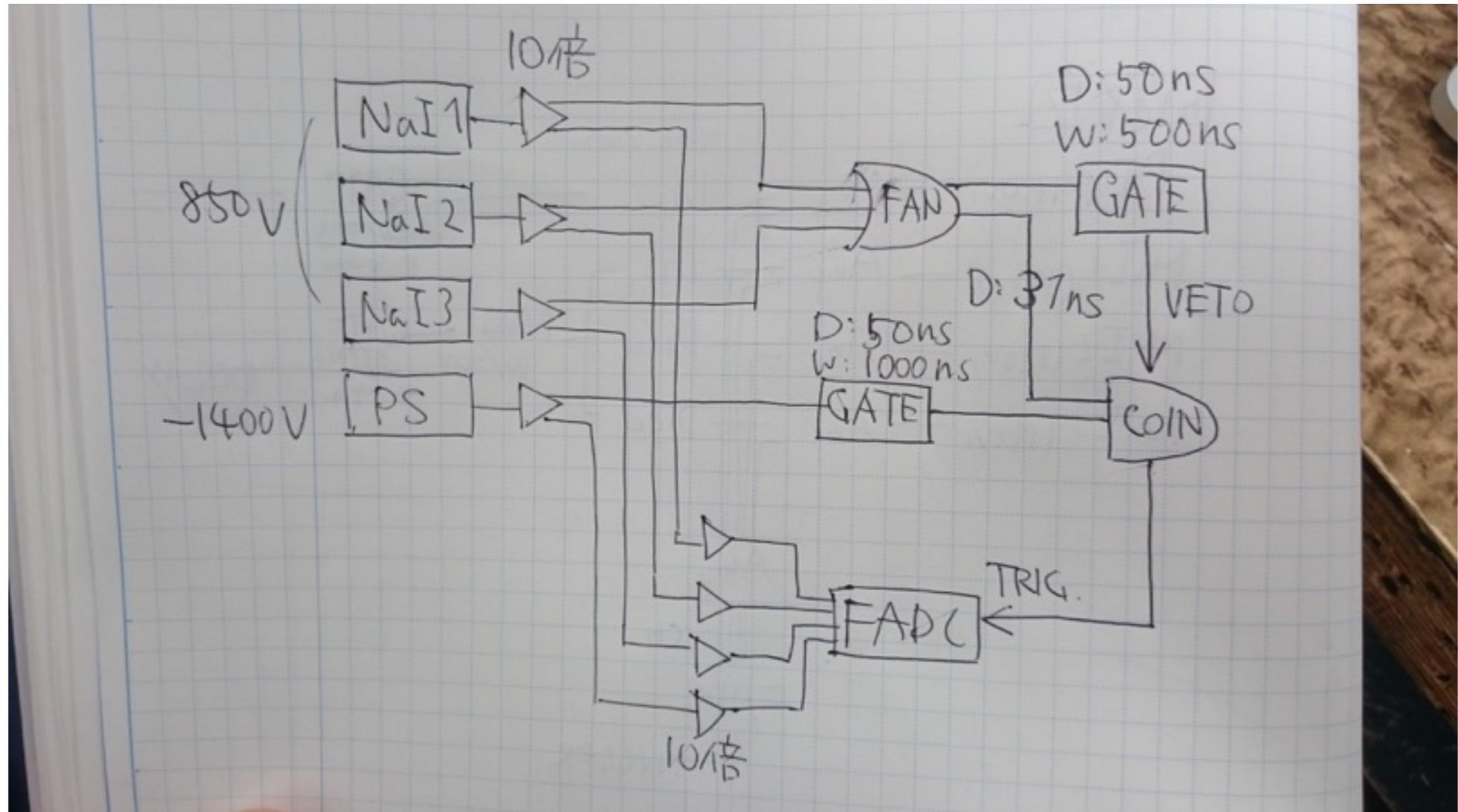
実験方法

実験方法

- ・ 今回の実験では、我々は主にセットアップの改良によって去年の結果を上回ることを目標とした。以下では、今年の設定アップとその改善点について以下の点を説明する。
 1. 回路
 2. 実験装置の配置
 3. シリカ容器の真空引き
 4. 穴あきアクリル棒の作成
 5. 線源の選定と環境放射線事件

1. 回路

- 以下の図のような回路でデータを取った。昨年度から大きく変わった点はない。



回路

- ・ 今年度の課題
- ・ 各Na1によってイベント数が大きく異なった。とくに真ん中のNa2のイベントが、全イベント数の半数以上を占めていた。
→ Na1,3を改善すればより多くのデータが取れたかもしれない。

2. 実験装置の配置

- ・ 昨年度の課題として、線源からシリカを経由せず、鉛を抜けて直接NaIに来る信号(1275keV)が多かった。
- ・ → 直接来る信号によって生じるコンプトン散乱が、ポジトロニウムの寿命を調べる上で見たいエネルギー領域にかぶってしまうので、取り除けると嬉しい。
- ・ → 3D CADを使って、鉛、線源、PMTの配置の改良をした。

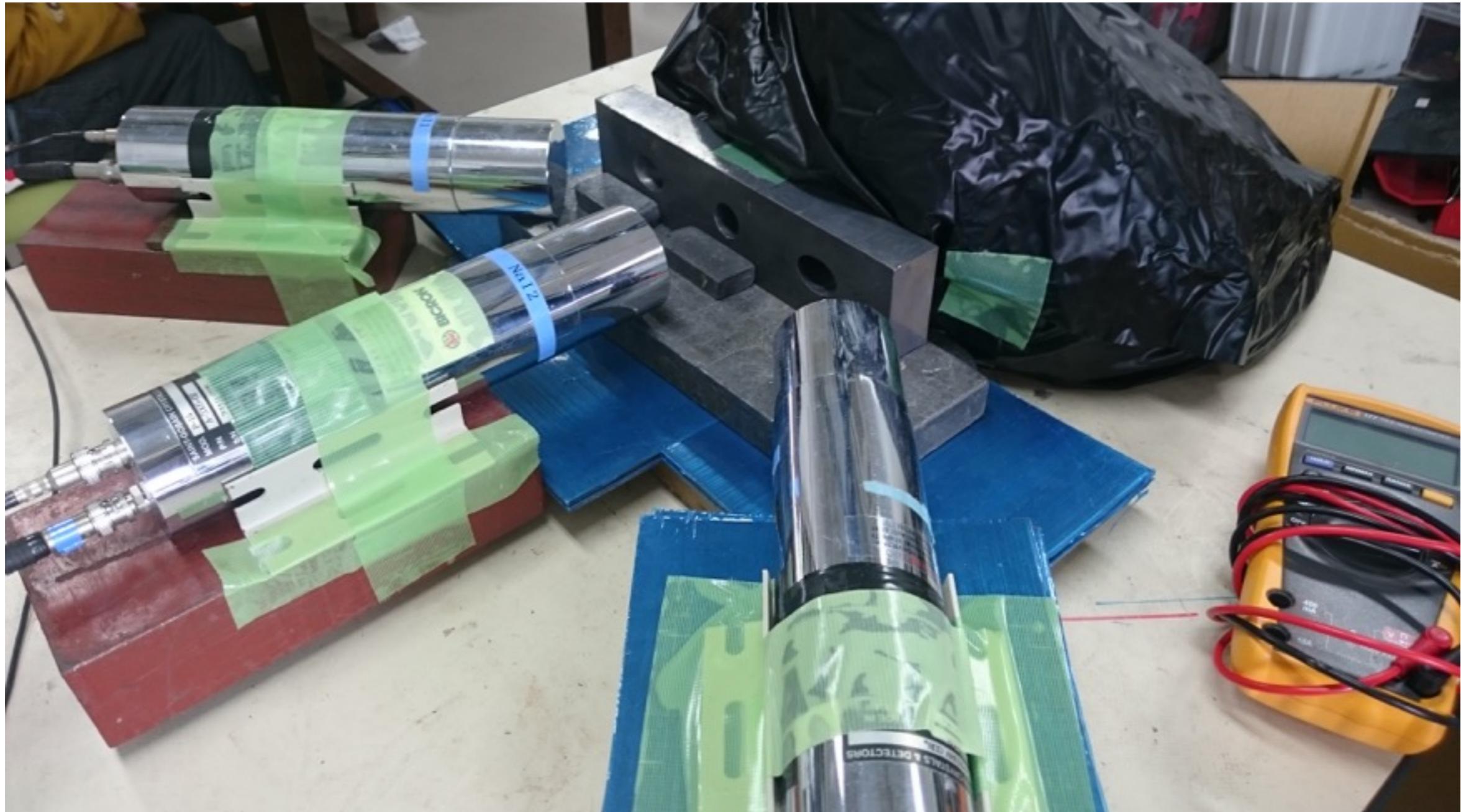
実験装置の配置

- 最終的に実験に使ったセットアップは、以下のもの。
(写真は改良後のセットアップ)



実験装置の配置

- ・ 斜め上から見た様子



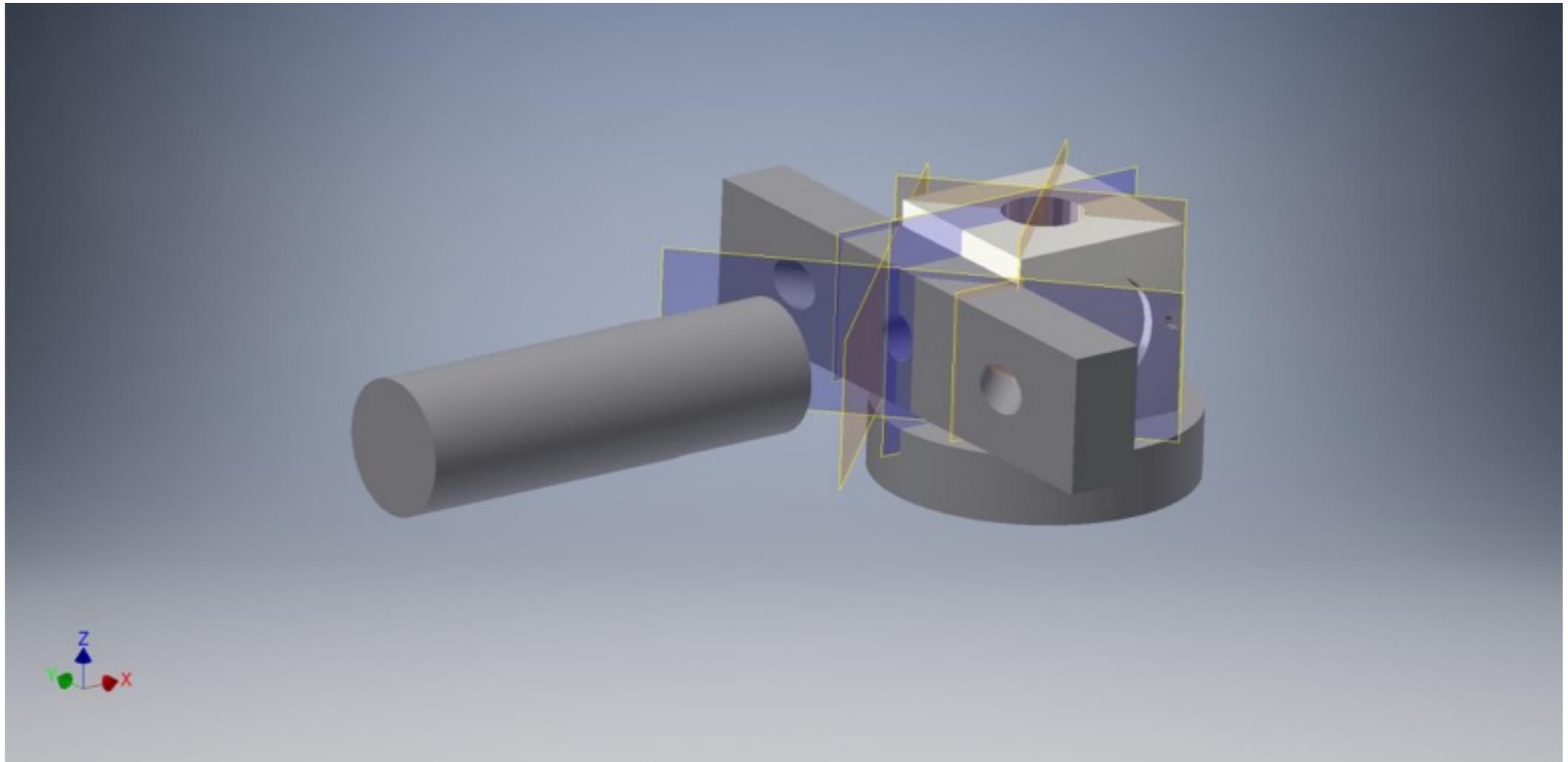
実験装置の配置

- ・ 遮光シートの中身



実験装置の配置

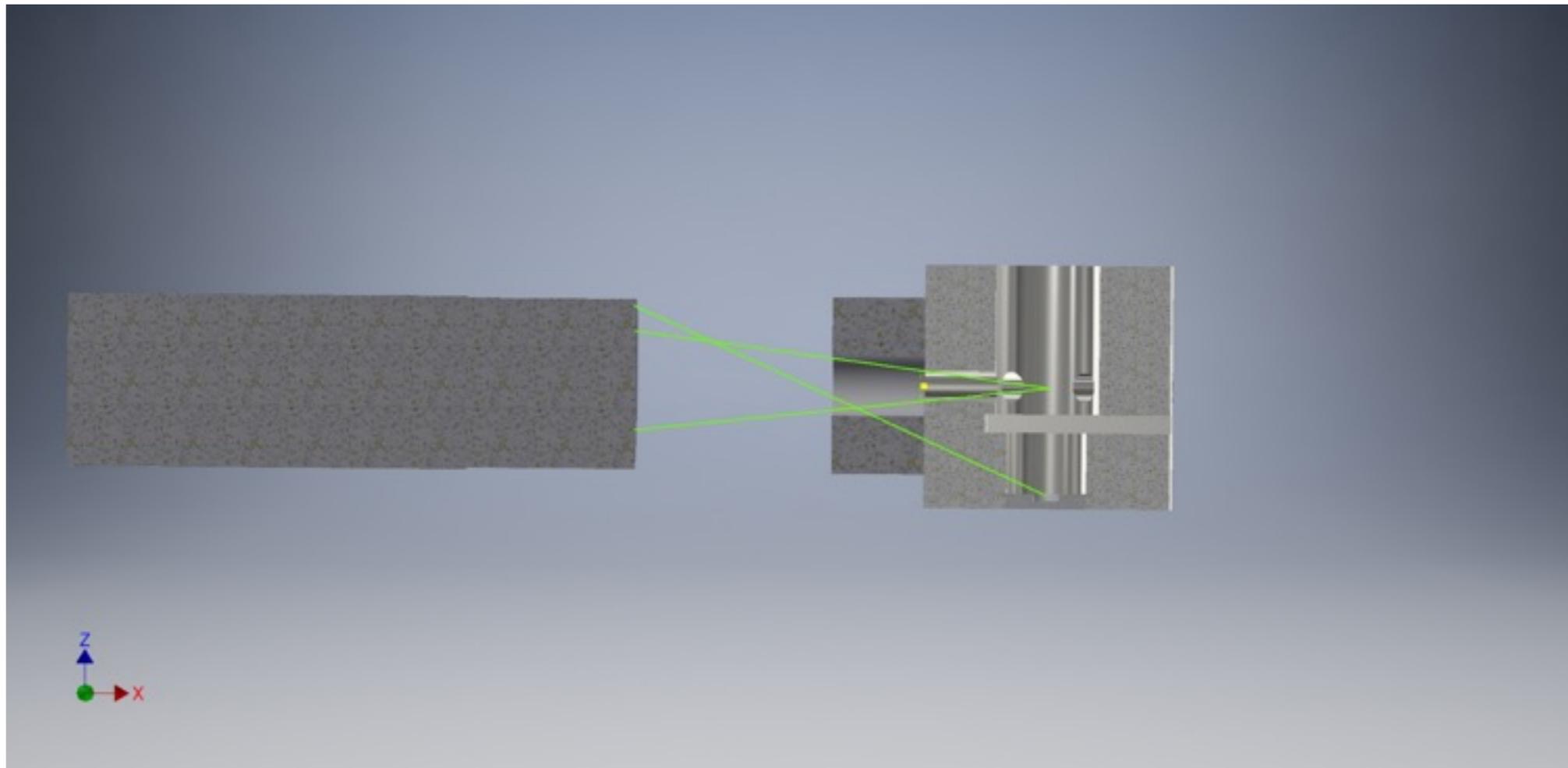
- ・ 昨年度のセットアップをCADで作った様子



- ・ このデータを用いて，直接来る信号を減らすための方法を考えた。

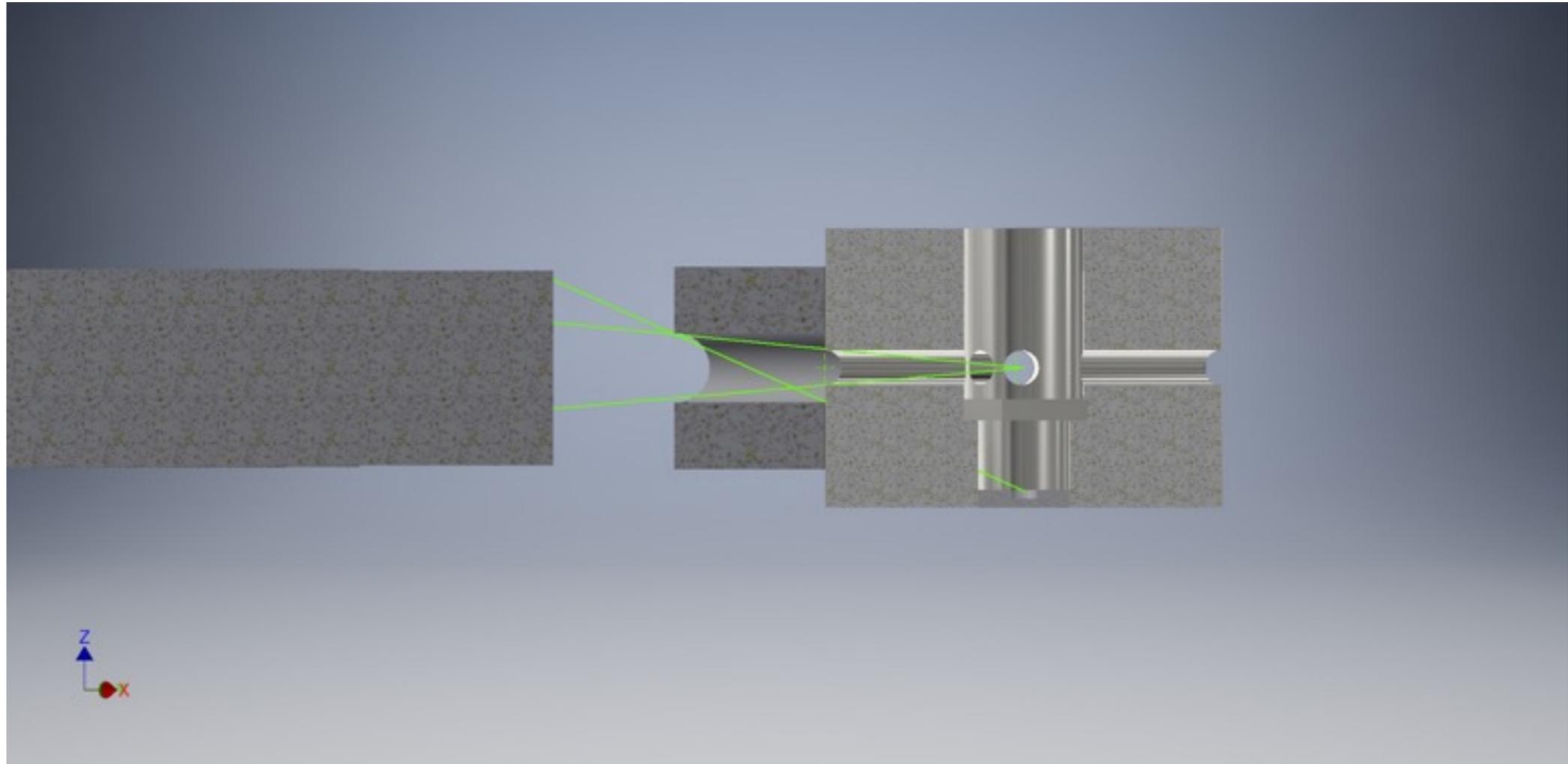
実験装置の配置

- ・ 3D CADから，断面の様子がわかる。



- ・ これは真ん中のPMTの断面図のモデル

実験装置の配置



- ・ これは斜めのPMTの断面図のモデル。
真ん中に比べて、中間の鉛が厚くなっている。

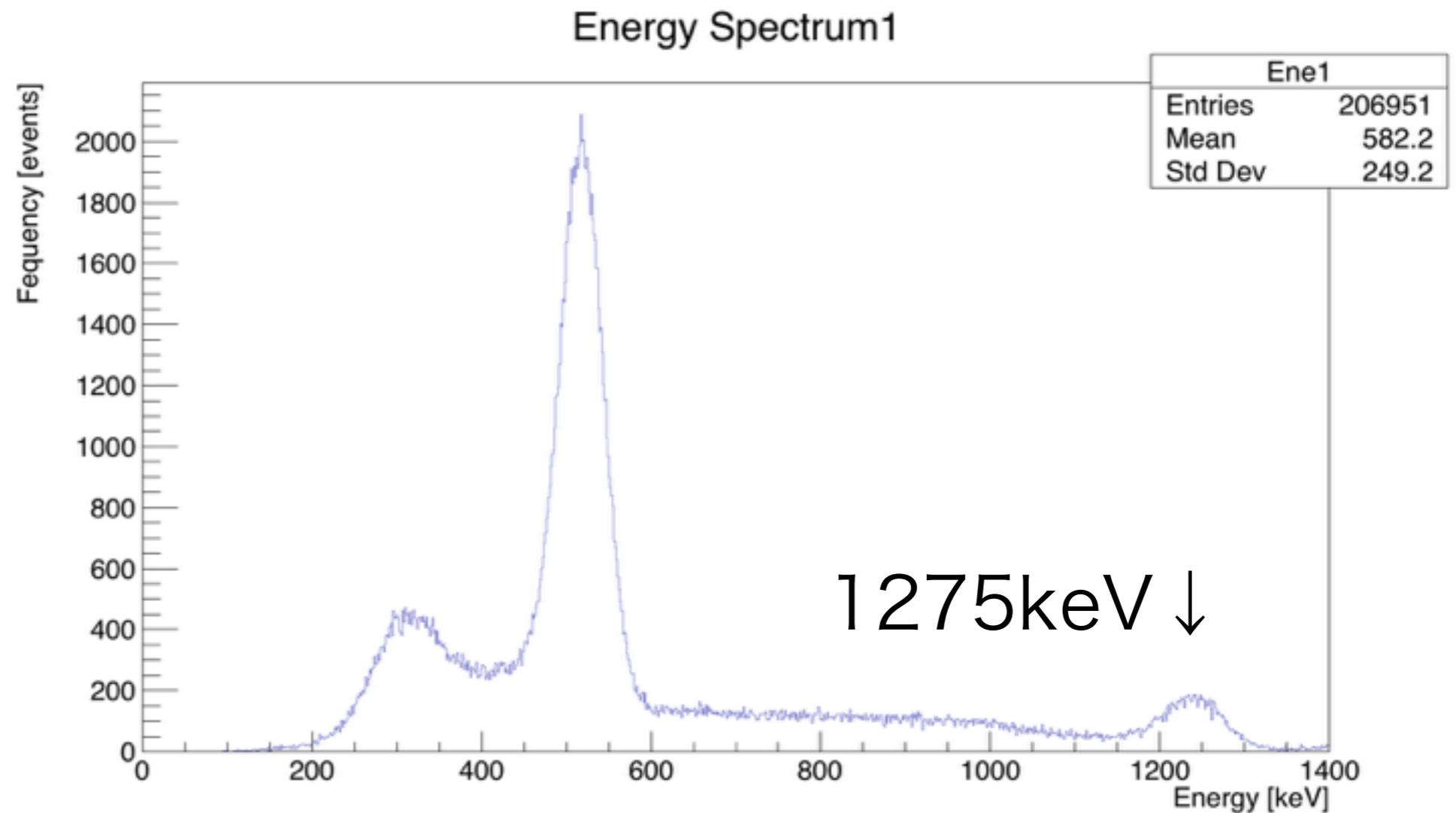
実験装置の配置

- ・ CADのモデルからわかったこと
 - ・ → 直接来る信号をより減らすには,
 - (1) PMTを遠ざける
 - (2) 線源の位置をより下げる
 - ⇒ つまり線源とPMTの距離を遠くする
 - (3) 線源から直接来る方向への鉛の壁を, より厚くする
- ・ ということが考えられた. (1) はイベントレートが (2) (3) に比べて大きく減るので行わず, (2) と (3) の方法で改良した.

実験装置の配置

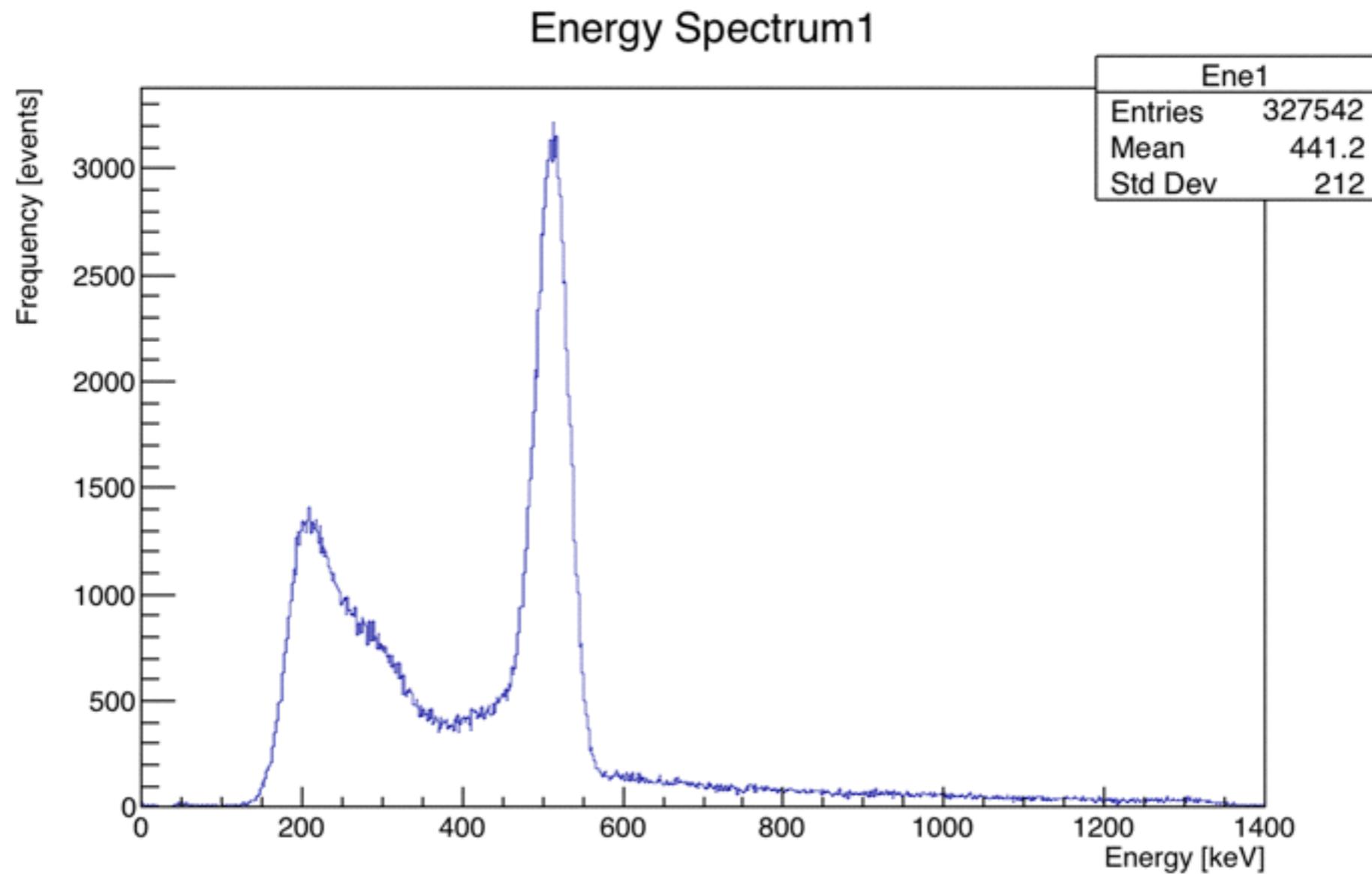
- ・ 実験装置の配置の改良で、直接来る1275keVの信号は大幅に減った！！

- ・ 改善前

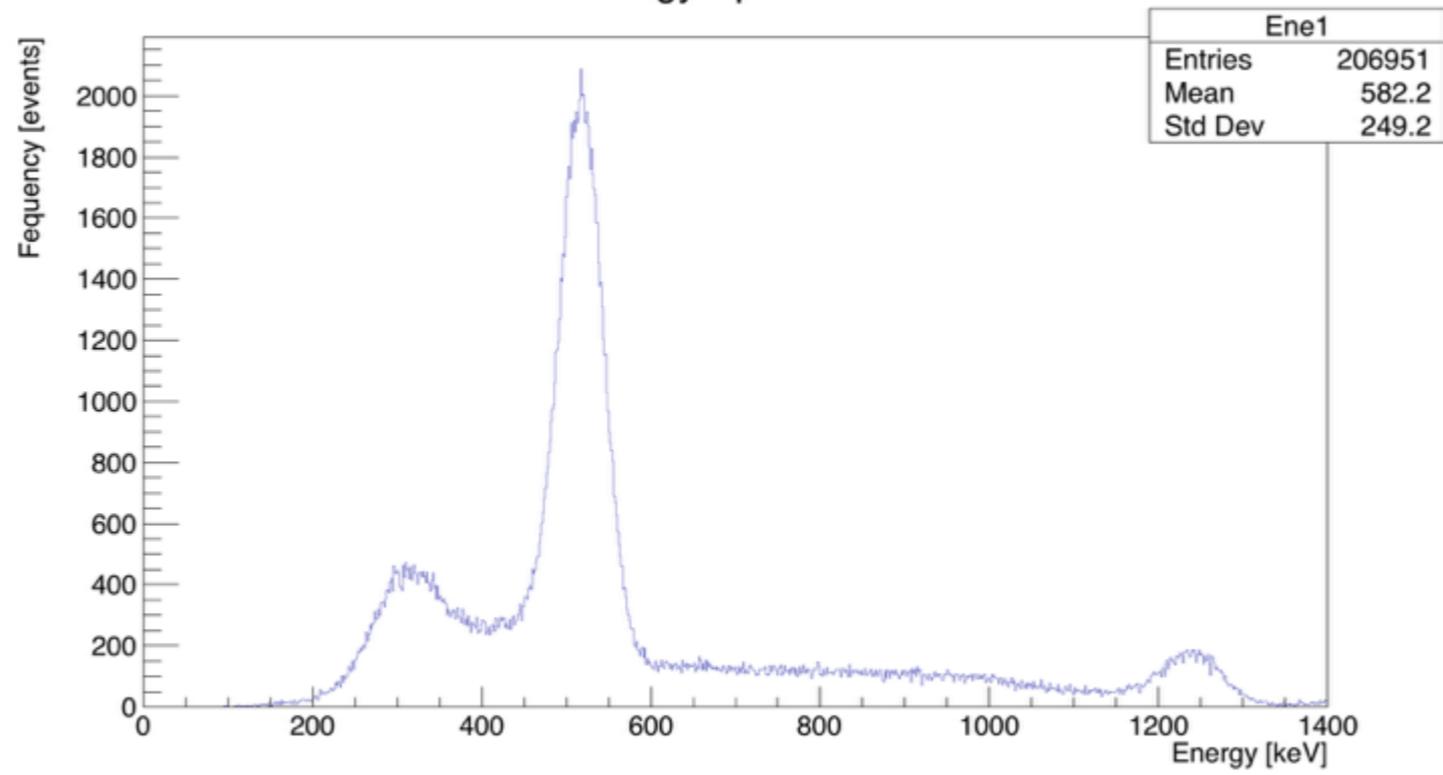


実験装置の配置

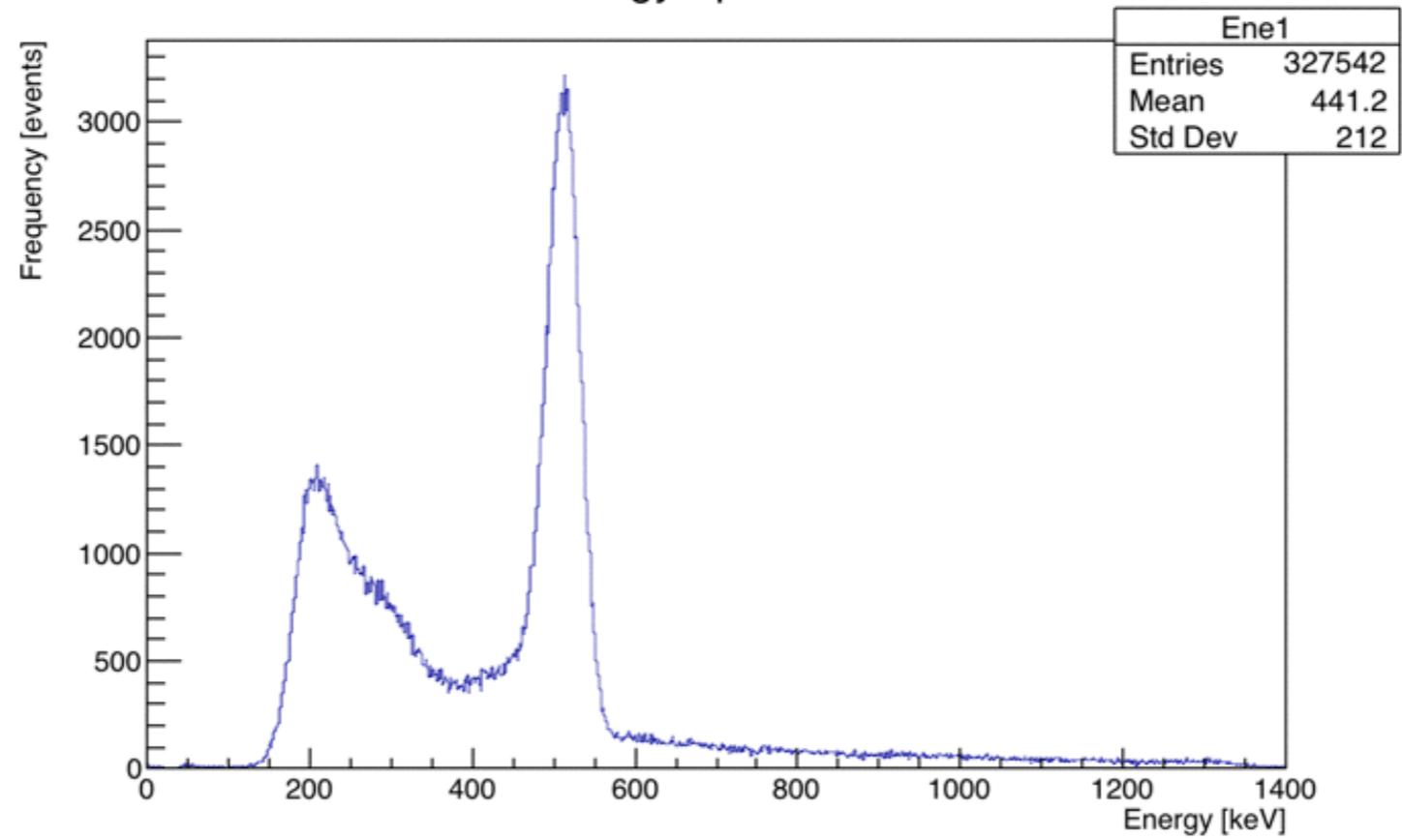
- 改善後



Energy Spectrum1



Energy Spectrum1



実験装置の配置

- ・ 今年度の課題
- ・ 今回のセットアップでは、 1275keV の成分がかなり取り除けたが、同時にイベントレートがかなり落ちた。
- ・ また、プラシンとシリカ容器の間に隙間が空いていることによって、プラシンには入るがシリカには入らないものが出たりするかもしれない。

3. シリカ容器の真空引き

- ・ オルソポジトロニウムを得るために、シリカパウダーを使った。
- ・ → オーブンで焼いて水分を飛ばしたシリカパウダーを容器に入れて、真空ポンプで容器内の空気を抜いた。

シリカを選んだ理由；多孔質なので、物質のない領域が多く、生成されたオルソポジトロニウムが物質場とスピンを交換するような反応が比較的起きにくいと考えたため。

シリカ容器の真空引き

- ・ ところが、実際に真空ポンプを動かしてみると、シリカパウダーがポンプのフィルターに詰まって、気圧が下がらないことが起きた. . .
- ・ → このため、容器とポンプをつなぐパイプを太くすることにした.
- ・ → その結果、フィルターの詰まりはかなり減った！
本実験では1か月近くデータを取り、その間常に真空引きし続けたが、メーターmaxを保ち続けて詰まることはなかった！

シリカ容器の真空引き

- ・ 真空ポンプの写真



シリカ容器の真空引き

- ・ 以前の細いチューブに，新たにアクリルパイプを接続している．アクリルパイプは遮光している．



シリカ容器の真空引き

- ・パイプを太くしたことによってフィルターの詰まりが解消され、一ヶ月ほどの間、メーター最大まで真空引きできた。



- ・メーターのグラウンドは目盛り0.02付近にずれていて、これで最大

シリカ容器の真空引き

- ・ 今年度の課題
- ・ 太いパイプを使って気圧がちゃんと下がったのは良かった。しかし、遮光シートをかける前にポンプを動かしたところ、準定常的に中のシリカが常に舞い上がっているのが見えた。
→ 下に溜まっていたシリカは実質では少ないのではないか？別の容器や材料を使ったほうが良かったのではないか？

4. 穴あきアクリル棒の作成

- ・ 実験装置の配置の改良の際に、線源の位置をより下げた。このため陽電子が鉛の壁に入る可能性が高まり、電磁シャワーなどを起こしてノイズが増えることが予想された。
- ・ → このため、アクリル棒に穴を開け、陽電子の通る道を狭めようと試みた。 . . . が、アクリル棒のある時とない時で、エネルギー分布に大きな違いは見られず、たんにイベントレートが下がっただけだった。
- ・ → アクリル棒は本実験では使っていない。

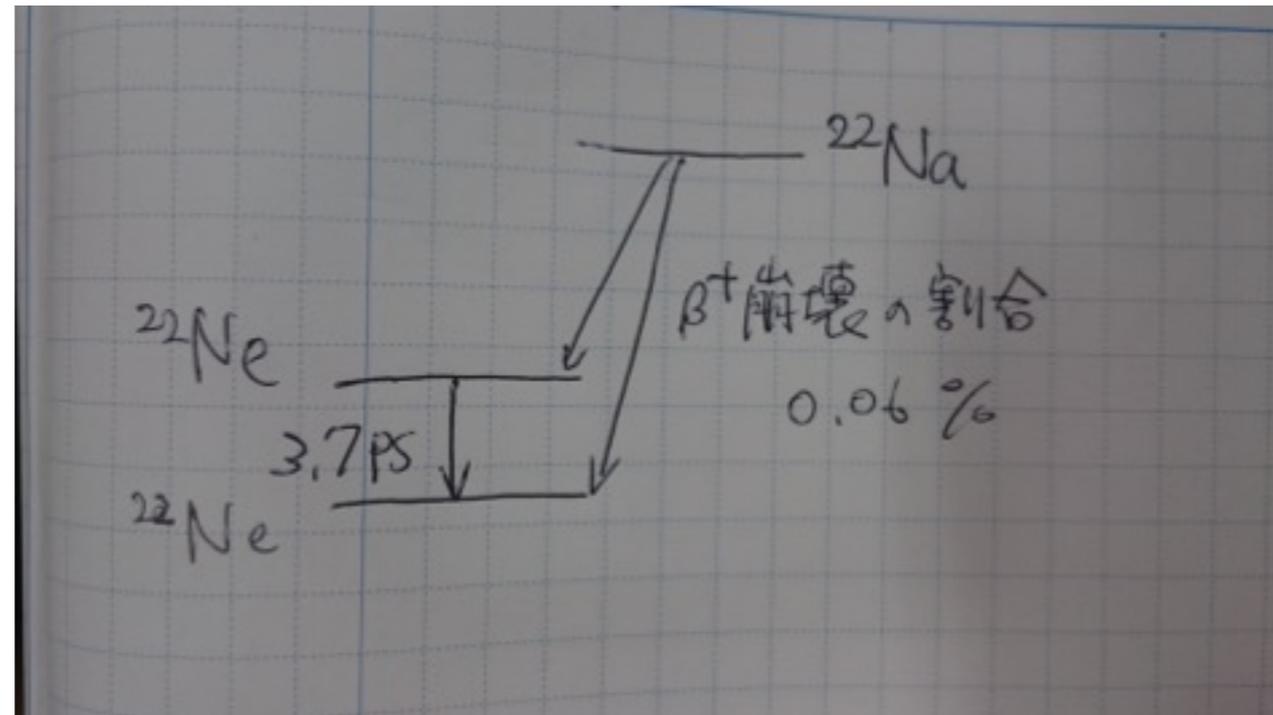
穴あきアクリル棒の作成

- ・ アクリル棒に穴を開ける人の図



5. 線源の選定と環境放射線事件

- 線源には $\beta +$ 崩壊を起こす ^{22}Na を使った。
 ^{22}Na は ^{22}Ne の励起状態に $\beta +$ 崩壊するが、このとき ^{22}Ne の励起状態は半減期 3.7ps で基底状態に落ち、 1275keV の γ 線を出す。



- 線源については本実験直前までは特に何も考慮せず、勝手に選んだ ^{22}Na (No.6) を使っていたが、本実験前に No.6 と No.8 のふたつの ^{22}Na についてレートの比較を行い、No.8 に変更した。

線源の選定と環境放射線事件

- ・ No.6の線源をNo.8の線源に入れ替える際に、我々は別実験として、寿命曲線の問題（後述）のために、線源のない状態での環境放射線の信号の測定をしようとした。
- ・ 方法としては、線源を除いた上でFADCのトリガーをCLOCK GENERATORにつなぎ、環境放射線のエネルギー分布を見た。
- ・ → この時、線源を取り除いたはずなのに、線源が入っている時のような信号がオシロに現れた。 . . .
- ・ → さらに、信号のエネルギー分布を見ると1275keV付近にピークを持っていた。 . . .

線源の選定と環境放射線事件

- ・ 漏れてる？
 - 漏れてるとヤバいので、中桐さんに相談して、放射線計測器で実験装置周辺や部屋に漏れ出していないか確認したが、環境放射線以上のものは確認出来なかった。
 - また、FADCで見えた1275keVと思われたピークをガウシアンでfitしたところ、正確には1300keV付近がピークを中心だった
- ・ ⇒結局、見えた信号は ^{22}Na が漏れたことに因るものではなく、 ^{40}Ca の環境放射線であると考えられる。