

## A8. 微小信号計測

### -シンチレータ計測器を用いた宇宙線計測-

電気電子情報工学専攻

兒玉研究室

#### <実験目的>

本実験の目的は、X線や電子などの計測において通常行われているランダム微小信号増幅から波高分布測定に至る一連のパルス信号処理法を学ぶことである。様々な波高を持つ微小パルス信号を光電子増倍管により増幅し、数10mV-数100mV程度の電圧パルス信号を計測し、信号の波高分布、時間幅の分布を測定する。また信号計測の応用として、ランダムパルス信号のコインシデンス計測について実験し測定結果を考察する。

物理実験では宇宙からやって来る微弱な光を観測したり、あるいは原子が吸収する極微な電磁波の量を測定したりする。これらの物理現象は空間的、時間的にランダムな確率で起こるため、物理現象を観測するには信号の検出条件ごとに分別して解析する必要がある。

そこで本実験では、放射線計測器として一般的なシンチレータを使用してランダムな宇宙線を計測し、適切な条件の信号のみを取り出して解析する手法について学ぶ。

#### <実験準備品>

実験テキスト(本紙)、筆記用具、レポート用データの持ち帰りのためUSBメモリを持参すること。(グループで一つ以上あれば良い)。

#### <実験に向けての注意事項>

本実験では高圧電源を使用するため機器の取り扱いには十分注意を払うこと。光電子増倍管に高電圧をかけている状態では、高圧用ケーブルはもちろんのこと通常の信号ケーブルであっても抜き差しは厳禁である。

実験室は他の実験装置の関係で空調が強め(20度前後)に設定されています。特に夏場は羽織るものを持ってくること。実験室の温度設定を変更することはできません。

実験場所: E6-E112

担当: 中村 [hiro.nakamura@eie.eng.osaka-u.ac.jp](mailto:hiro.nakamura@eie.eng.osaka-u.ac.jp)

## <実験装置>

### (1) シンチレーション検出器

シンチレーション計測器は放射線検出器の一種である。シンチレータと光電子増倍管を組み合わせ、シンチレータの光を光電子増倍管で電気信号に変換することによって、放射線検出器として働く。

また光電子増倍管はこの光量に比例した電荷を出力するので、結果的には光電子増倍管の出力パルス波高は放射線のエネルギーに比例する。従ってシンチレータと光電子増倍管を組み合わせ、その出力パルスの波高値と計数率を測定することによって放射線のエネルギー分布とその線量を知ることができる。

#### a. プラスチックシンチレータ

シンチレータに放射線が入射するとシンチレータは短い減衰時間をもった蛍光を発生する。この光をシンチレーションという。 $\gamma$ 線の場合次の3つの相互作用によりシンチレータ内に自由電子が発生し、この電子がシンチレータの束縛電子を励起することによって蛍光を発生する。3つの相互作用とは光電効果、コンプトン効果および、電子対生成である。これらの作用の起こる確率はシンチレータの種類と $\gamma$ 線のエネルギーにより異なる。

代表的なシンチレータの一つであるあるプラスチックシンチレータは、ポリスチレンなどのプラスチックベースに有機シンチレータを溶解し、高分子化してプラスチックにすることにより精製される。プラスチックシンチレータは加工性に富んでおり、様々な発光波長を持つシンチレータがあるので、目的に合わせて使用することができる。

#### b. 光電子増倍管

光電子増倍管は一般的にガラス管に封じられた真空管で、入射窓、光電面、集束電極、電子増倍部、陽極より構成されている。光電子増倍管はPMT(Photomultiplier Tube)やフォトマルともよばれ、高感度、高ゲイン、高時間分解能という性質のため、光検出器としてはよく用いられるデバイスである。

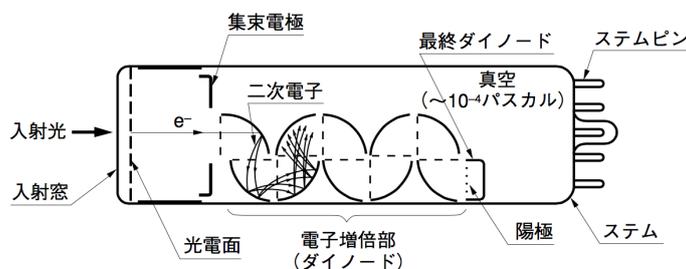


図 1. 光電子増倍管の構造図 (浜松ホトニクスホームページより)

光電子増倍管に入射した光は以下に示す過程を経て信号出力される。

- i. ガラス入射窓を透過する。
- ii. 光電面内の電子を励起し、真空中に光電子を放出(外部光電効果)する。
- iii. 光電子は集束(フォーカス)電極で第一ダイノード上に収束され、二次電子増倍された後、引き続き各ダイノードで二次電子放出を繰り返す。
- iv. 最終ダイノードより放出された二次電子群は陽極(アノード)より取り出される。

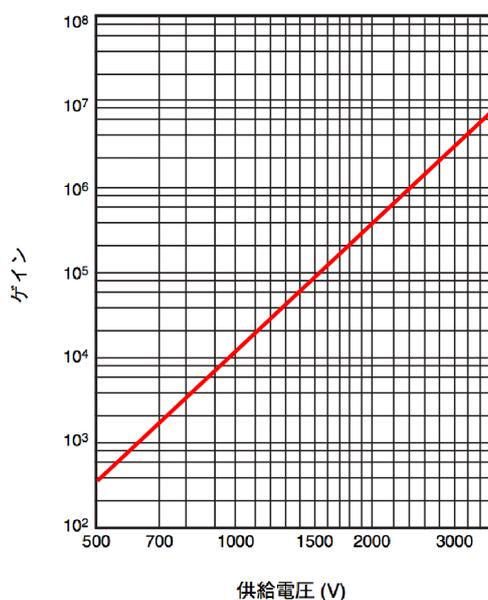


図 2.ゲインの電圧特性(光電子増倍管 R2083)

(浜松ホトニクスホームページより)

## (2) デジタルオシロスコープ

上部で説明したような信号分別処理は通常ディスクリミネーターやコインシデンス回路のような論理回路を用いてこれまでは行ってきた。ディスクリミネーターとは雑音と信号とを波高を用いて弁別する回路であり、コインシデンス回路とはある時間間隔に2つ以上の全入力端子にパルスが入った時にだけ出力パルスを出すような回路である。

最近のデジタルオシロスコープはウィンドウズ OS ベースのアプリケーションによって制御されているため、オシロスコープ上で様々な信号を解析できるようになっている。そのため、論理回路を使用しなくても、オシロスコープのトリガー機能を利用することで信号分別処理が可能となった。本実験では論理回路を使用せず、オシロスコープ上で信号分別処理を行う。

トリガーとは直訳すると「引き金」や「起爆装置」という意味で、このトリガー機能を適切に使用することで、オシロスコープはある決まった条件の信号が入力された場合のみ画面を更新することになる。

宇宙線のような時間的・空間的にランダムな信号を計測する場合、そのトリガーの特性から、その宇宙線信号の特性を判断することができるようになる。

## <実験>

### <実験 1> オシロスコープによるパルス信号の波形観察

シンチレータで発光した信号を光電子増倍管で増幅し、そのパルス信号をオシロスコープにより観測する。パルス信号を観察してその波形(波高値、形状、時間幅)を詳細に記録する。この実験でデジタルオシロスコープの使い方を習得し、正しい波形分析を行えるようにする。この計測を二つのシンチレータ検出器それぞれで行い、トリガーの意味を理解してもらう。

また、この信号データを保存し、パソコンに取り込み、簡単な解析(課題 1)を行う。

本実験はシンチレータ、オシロスコープ、高圧電源を使用して行う。図 3 に実験配置図を示している。

### <実験手順>

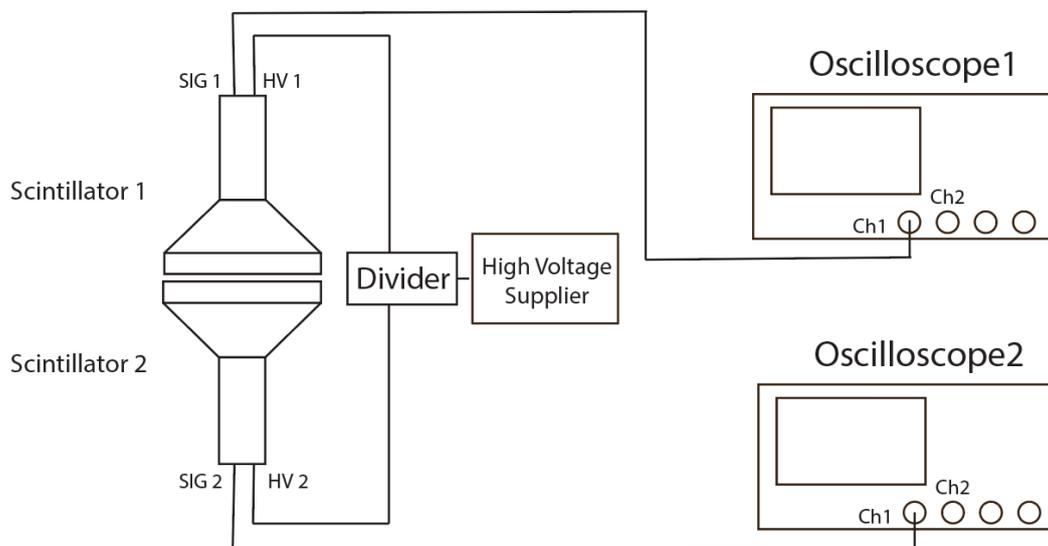


図 3. 実験 1, 実験 2 配置図

1. まず始めに図のように配線を行う。ケーブルの抜き差しを行う場合はすべての装置の電源が落ちていることを確認する。
2. オシロスコープ、高圧電源をオンにする。
3. 高圧電源をシンチレータ検出器に印加する。電圧値は実験時に口頭で伝える。
4. オシロスコープの縦軸の電圧、横軸の時間をダイヤルつまみにより調整してパルスが出るようにする。

5. トリガー(EDGE モード)を調整して1つ1つのパルス波形が停止するように変更する。
6. 様々な波高値を持つパルスが検出されるが大まかなパルスの波高値(電圧値)、パルス幅(時間幅)をメモしておく。また、パルスの形についても覚えておく。
7. データを別の PC にコピーし、バイナリーファイルからテキストデータへの変換を行い、データ解析を行えるようにする。変換方法はオシロスコープのメーカーごとに異なるので実験時に説明する。

#### <課題 1>

得られた信号を保存し、パソコンにデータを取り込み、図 2 の増幅率を利用して、宇宙線によって発生したシンチレータ内での蛍光量を計算により求めよ。

#### <実験 2> トリガー機能を用いた波高分布、パルス幅分布の計測

検出器から出力されるパルス信号は様々な波高値を持つ。複数のパルス信号をその波高値ごとに分類し、それぞれのパルスの数(計数)を計測することを波高分析という。波高分析は極微量分析手法である放射化分析や医療放射線イメージングなどにおいて一般に行われており、必要となる信号の選別、バックグラウンドの除去などに有効である。本実験では検出されたパルス信号をオシロスコープのトリガー機能を用いて波高分析する。

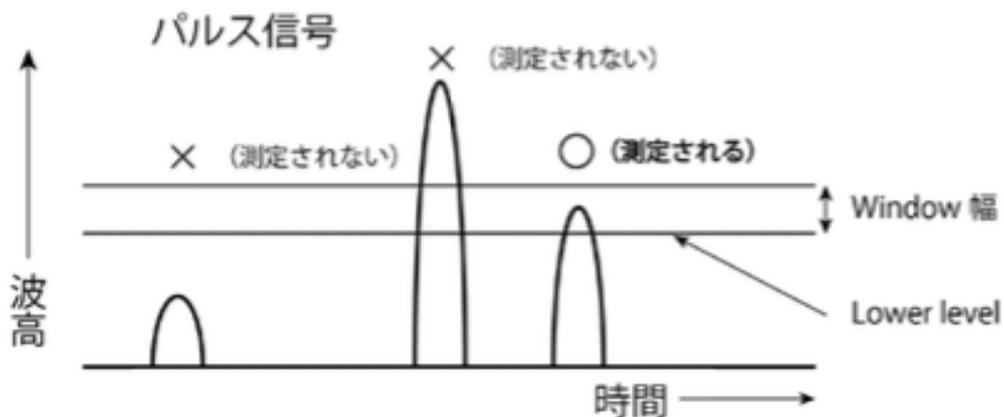


図 4. Runt モードトリガー機能による信号の弁別

オシロスコープはトリガー機能(Runt モード, Width モードトリガー)を使用することでその入力パルス信号を波高値、パルス幅によって弁別することができる。測定者が事前に Lower Level と window 幅を調整して閾値条件を設定する。設定後にパルス信号を入力すると条件を満たした信号だけが測定される。

Runt モードを利用すると、特定の出力信号のみを弁別して保存することが可能となる。入射する宇宙線のエネルギーは信号の波高に比例すると考えられるので、波高分布測定を行うことで宇宙線のエネルギー分布を測定することになる。

また、Width モードトリガーを利用することで、シンチレータ内での発光時間の違いにより宇宙線の種類を弁別することができる。

本実験ではある特定数の信号を観測するのに要する時間を計測することで計数率(計測数/計測時間(分))を求め、それぞれの信号の頻度を計測する。

#### <実験手順>

オシロスコープ DPO5104 を使用して波高分布計測、オシロスコープ DPO7254 を使用してパルス幅計測を行う。

1. 実験配置は実験 1 と同じである。
2. トリガー(Runt モード(DPO5104)、Width モード(DPO7254))を調整する。設定値は実験時に口頭で指定する。時間の測定の方法はそれぞれのオシロスコープにより異なるので、実験時に説明をする。
3. 計測数を設定し、測定時間を観測し、計数率を求める。
4. Lower Level を変更しながら 2-3 の計測を複数の Lower Level で繰り返す。
5. 得られたデータを横軸 Lower Level, 縦軸計数率としてヒストグラムを作成する。このヒストグラムから波高分布を決定する。

#### <課題 2>

波高分布グラフ、パルス幅分布グラフを作成せよ。その際、計数はポアソン分布に従うとして、計数の統計精度を考慮し、縦軸には誤差を記すこと。

### <実験 3> 宇宙線の入射方向分布の計測

オシロスコープのトリガー機能(Logic Pattern モード)を利用して、コインシデンス計測を行う。

コインシデンスとは同一事象から生じた 2 つの信号の時間的相関を意味する。コインシデンス計測は信号源から発生した信号のみを選択的に取り込むことができ、信号源と関係なく発生した信号、いわゆるバックグラウンド信号を大幅に低減することができる。この実験では二つのシンチレータからの信号の検出時間差を利用してそれぞれの宇宙線の入射角度を算出し、宇宙線の入射角度分布を計測する。

### <実験手順>

1. 2つのシンチレータの信号線をオシロスコープ DPO5104 の CH1, CH2 にそれぞれつなぐ。この際、高電圧を一度ゼロに落としてから、ケーブルの抜き差しを行うようにすること。
2. トリガー(Logic Pattern モード)を調整する。設定値は実験時に口頭で指定する。
3. 50 データを計測する。それぞれの二つの検出器の信号の時間差を比較し、信号の宇宙線がどの方向から検出器に入射したかを観測する。
4. それぞれの宇宙線の入射方向の分布を図示する。

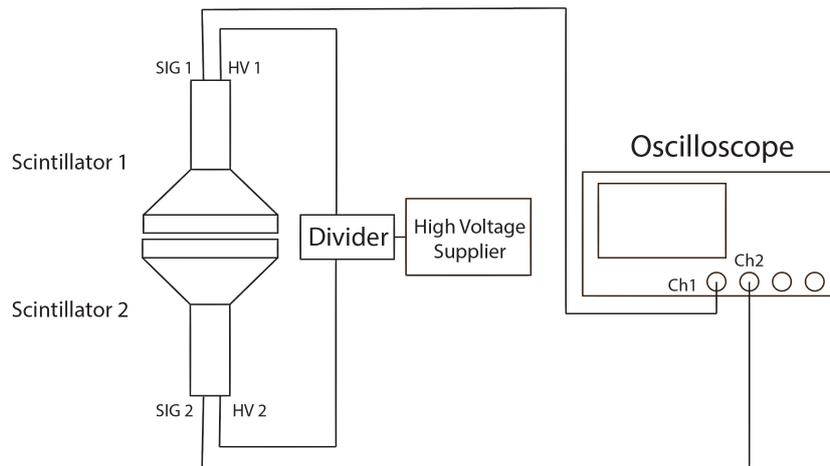


図 4. 実験 3 配置図

### <課題 3>

1. 宇宙線の入射方向の分布を図示せよ。
2. コインシデンス計測の応用例を調査し、その例におけるコインシデンス計測の利点を簡単にまとめよ。

### <レポートについて>

1. 実験目的、実験装置、手順に関しては記載しなくて良い。
2. 個々の信号データを載せる必要もない。
3. 課題で指定された計算結果、グラフを載せること。その際、縦軸、横軸などの単位もきちんと記載すること。
4. 参考文献などはきちんと記載すること。
5. レポート提出期限は実験日から 1 週間とする。

レポート提出場所: E6-E311 兒玉研究室秘書室 (17:00 まで)