

光の衝撃波で素粒子を見る ～チェレンコフ光の研究～

2007年8月

KEKサマーチャレンジ

宮林謙吉

玉木智子

津田幸枝

平井珠生

(奈良女子大学)

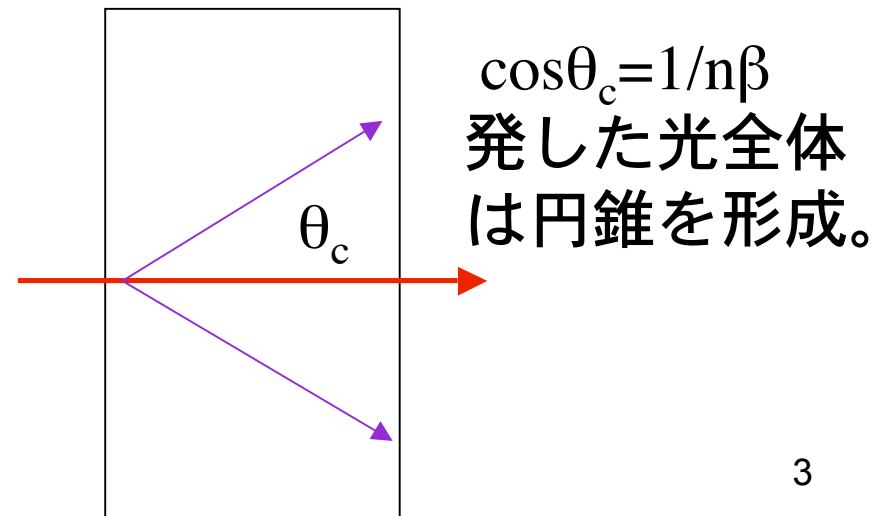
目次

- チェレンコフ光とは？
- シンチレーションとは？
- 使用物品リスト
- 課題1：観察実験
- 課題2：トリガーカウンター製作
- 課題3：信号処理エレクトロニクス
 - コンピューター制御で信号パルスを記録
 - 電荷積分型ADC
 - CAMACによるデータ読み出し
- 課題4： ^{90}Sr の β 線が入射したときの信号パルス
- 課題5：宇宙線がつくる信号パルス
- 課題6：チェレンコフ光子数の計算
- まとめ

チェレンコフ光とは

- 講義「検出器入門」4.2を参照。
 - 透明な媒質を、その媒質中の光の伝播よりも速い荷電粒子が通過すると発生。
 - 荷電粒子の速度に敏感な発光なので、運動量測定と組み合わせて荷電粒子の識別に利用。
 - 水や空気でも発生するので、超大型の検出器が可能(神岡実験など)。

今回の演習では小規模なセットアップで、チェレンコフ光の基本的性質を調べることにする。



シンチレーションとは

- 講義「検出器入門」4.1参照。
 - 粒子が物質を通過中にエネルギー損失すると、それが結晶中の電子や分子内の電子の励起に使われ、基底状態に戻るときに発光する。
 - シンチレーションを起こす効率のよい材料をシンチレーターと呼ぶ。無機結晶ではNaI、CsI等、有機物ではプラスチック(ポリスチレン)をベースに波長変換剤を混合したもの等。
 - 発光量はチェレンコフよりだんぜん多い。
 - 出る光に方向性はなく、等方的に出る。

使用物品リスト

- チェレンコフ光発生用輻射体
 - クォーツ板、アクリル板、鉛ガラスブロック
- プラスチックシンチレーター
 - 円板型、ブロック型、各1
- 光電子増倍管(2インチ径、UVガラス窓)×3
 - 講義「検出器入門」4.1参照。
- 宇宙線トリガー用シンチレーションカウンター
- 高電圧電源(これがないと光電子増倍管を使えない)
- 遮光用暗幕および黒色遮光シート(いらない光を遮断)
- アッテネーター(パルス波高を必要に応じ小さくする)
- PMTアンプ(光電子増倍管からの電気信号を増幅する)
- オシロスコープ
- ハンドヘルドメーター

使用物品リスト(続)

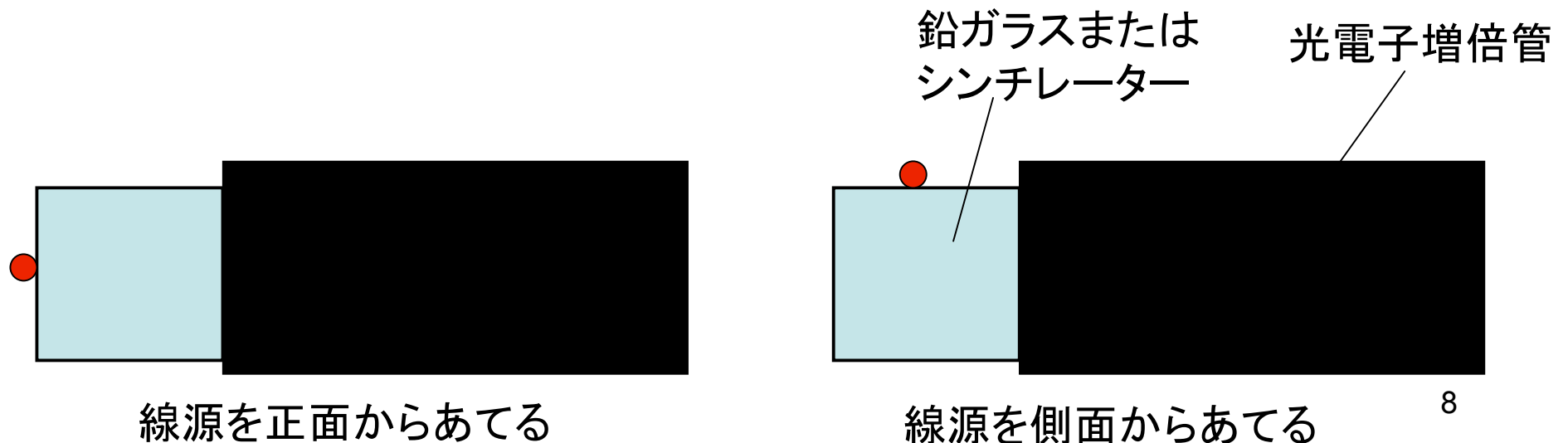
- NIMロジックエレクトロニクス
 - クロックジェネレーター(矩形波パルスの生成)
 - ディスクリミネーター(波高弁別)
 - ゲートジェネレーター(ADCに供給するゲートパルス生成)
 - コインシデンス(AND回路)
 - ファンインファンアウト(OR回路)
- CAMACデータ収集システム
 - 電荷積分型ADC(入力信号パルスの電荷を整数に変換)
 - クレートコントローラー(ADCと制御用PCの仲介)
 - 制御用PC(Linux、CAMAC制御ドライバーソフトウェアとCERNLIBをインストール済み)

課題1：観察実験

- 合成石英板、アクリル板、プラスチックシンチレーター板を2インチ径でUVガラス窓の光電子増倍管にオプティカルグリースで粘着、遮光する。
- 放射線源を取り扱えるのは、演習担当講師(宮林)とアシスタント(玉木、津田、平井)のみ。放射線取り扱い業務の法令に関わるため、受講学生の皆さんは取り扱いえないので注意。
- ^{90}Sr が出す β 線により発生するチェレンコフ光やシンチレーション光を光電子増倍管がとらえた電気信号パルスをおシロスコープで観察。
 - パルスの「立ち上がり」「立ち下がり」「波高」を記録
 - デジカメでスクリーン画像も撮っておこう。

課題1：観察実験（続）

- 以下の二つの場合について、 ^{90}Sr の β 線をあてて信号を観察
 - サイコロ状の鉛ガラスブロック
 - サイコロ状のプラスチックシンチレーターのブロック
- あてかたに（下図参照）より、信号パルスの出方に差があるか？
- あてかたによる差の有無の理由を考えよう。

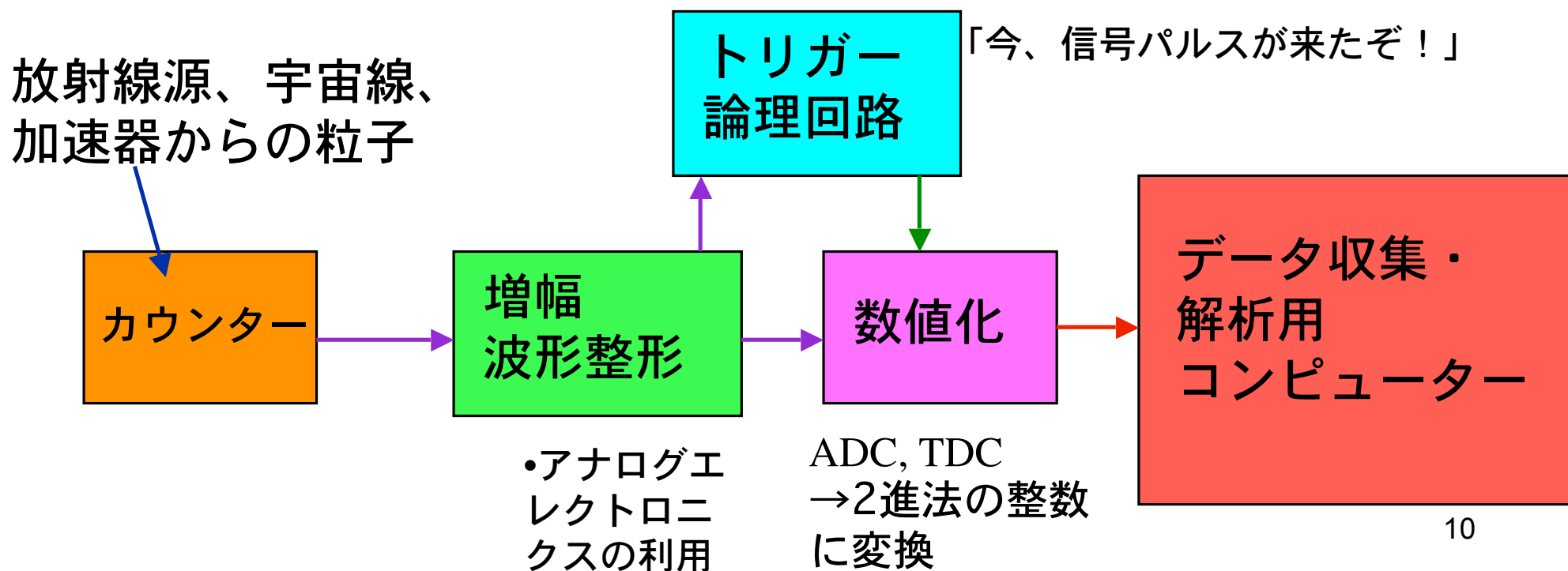


課題2:トリガーカウンターの製作

- 宇宙線の μ 粒子は貫通力が高いため、調べる対象になっているカウンター以外に、宇宙線の入射あるいは貫通を教えてくれるカウンターを置くことができる。これをトリガーカウンターと呼ぶ。
- 切断・研磨済みのプラスチックシンチレーター板を用意したので、これを光電子増倍管(3/2インチ径)にオプティカルセメントで接着。手順は講師とアシスタントの指示に従うこと。
- 接着剤が硬化したら、アルミフویلでくるんだ上から遮光テープを巻く。
- 高電圧をかけ、オシロスコープで信号パルスを観察して光漏れがないことを確認、さらに ^{90}Sr の β 線をあてて信号が出ていることを確認しておこう。

課題3: 信号処理エレクトロニクス

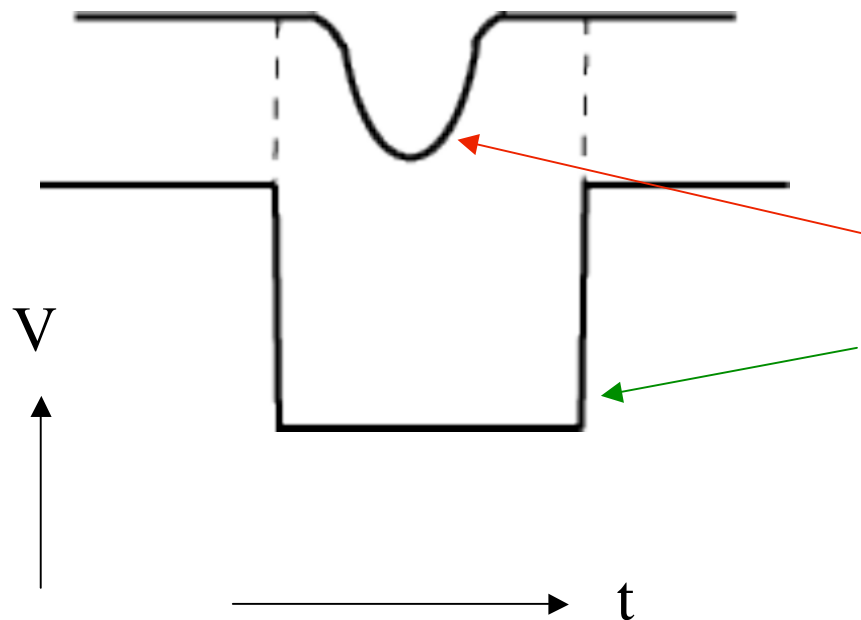
カウンターからの電気信号パルスは一瞬(=数10nsから高々 μs)で終わってしまう。それ以外は記録してもムダ。それで「トリガー」が必要になる。一般的には下図のようになる。



電荷積分型ADC

ON/OFFの論理信号を扱う規格として
NIM信号を使う。

0V:OFF、-0.8V:ONである。



数値化 & 記録したいカウンターの信号
パルスと同時に
NIMのゲートパルスがADCに到着する
ようにしてやる。

本演習で用いるLeCroy2249W型ADC
は、ゲートパルスがONの間のアナログ
入力にきた電荷(=電流を積分)を
対応する整数(カウント)に変換する。
-0.25pC/カウント、11ビットである。

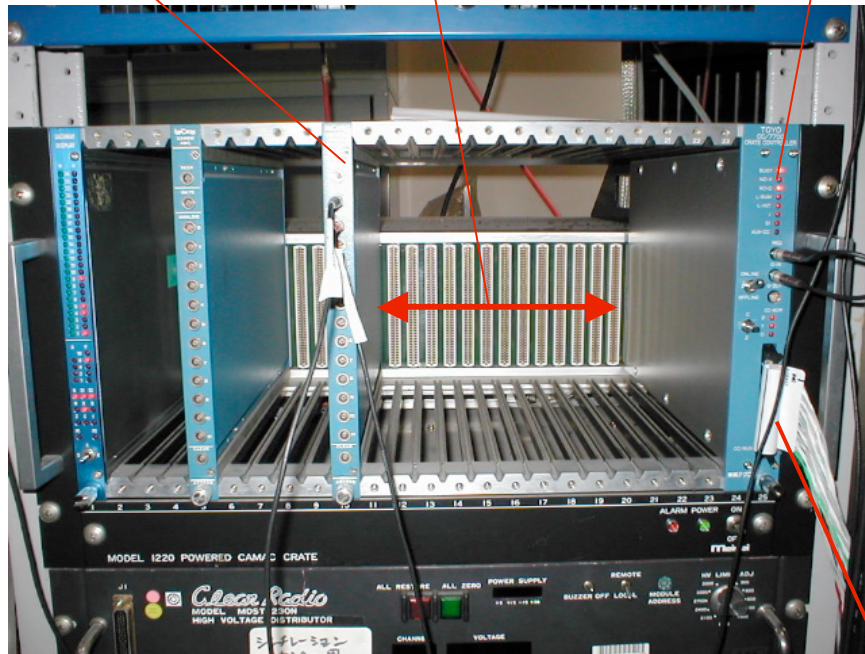
CAMACによるデータ読み出し

命令やデータは
ADC バックプレーンでやりとり
クレート
コントローラー

CAMAC: コンピューター制御でデータの読み出しを行う規格。比較的古くからあるものだが、小規模なカウンター実験では今でも使いやすい。

ADCはゲートパルスを受け取り、信号パルスの数値化が終わるとLAM(Look At Meの略)信号をONにする(「LAMを立てる」という)。クリアする命令によりOFFに戻る。

したがって、PC上では以下のようなアルゴリズムのプログラムを走らせればデータの読み出しと保存ができる。
(→次ページに続く)



カウンターの
信号

ゲート
パルス

PCの
インターフェイスへ

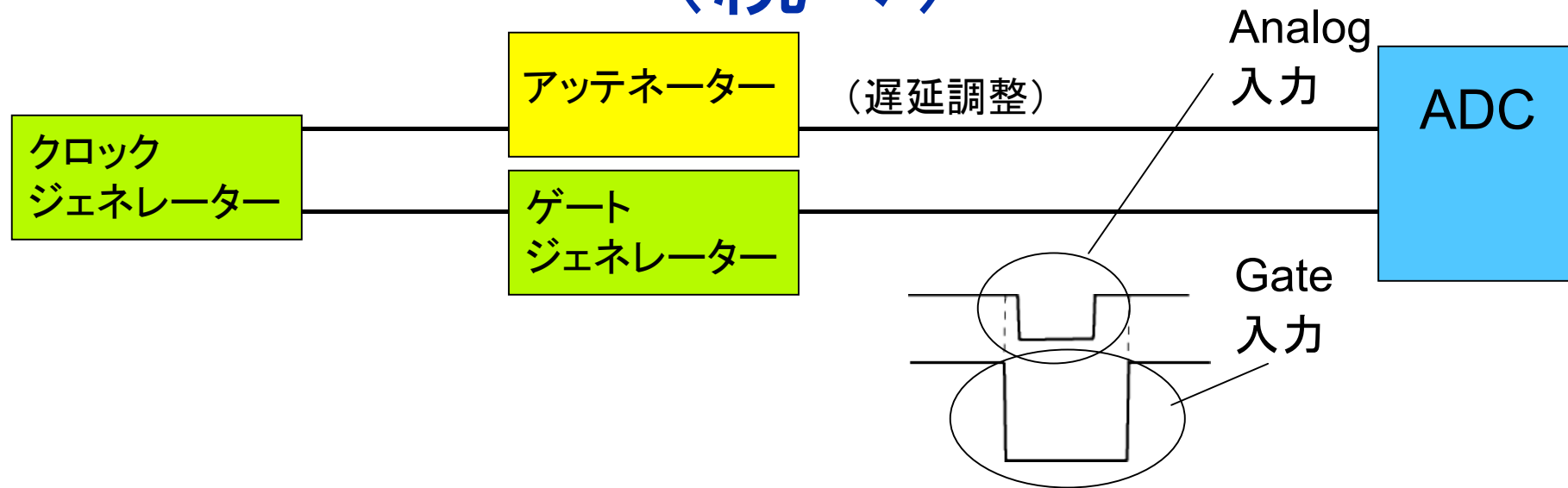
CAMACによるデータ読み出し(続)

1. CAMACの初期化
2. データを書き込むファイルをオープン
3. LAMのenable
4. 該当するADCのLAMをチェック
5. LAMがONならば
 - 該当するADCのデータ(レジスタに書かれている)を読み出し
 - ファイルに書き込み
 - LAMをクリアー
 - LAMのチェックに戻る
6. LAMがOFFならば、ONになるまでLAMのチェックに戻る
7. 4. 5. 6.を必要な回数繰り返す。
8. 必要な回数繰り返し終わったら、ファイルをクローズし、CAMACを終端

これでデータがファイルに書かれている。

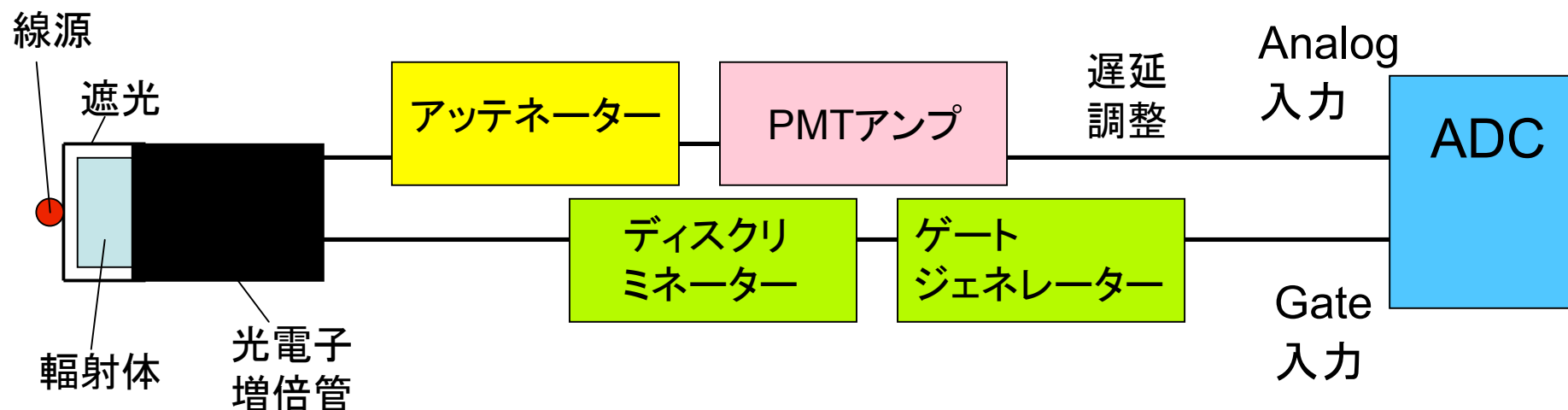
これをReadしてヒストグラム(度数分布)にして、さらに解析と議論を進める。

CAMACによるデータ読み出し (続々)



クロックジェネレーターから2系統のパルスを出し、片方はアッテネーターで波高を可変にする。他方はゲートジェネレーターに送ってゲートパルスを作る。ゲートジェネレーターを通るとそのぶんだけ遅れるので、ADCのAnalog入力に至る間に信号ケーブルを継ぎ足して調整する。講義「実験ミニマム」の問題2に電気信号パルスがケーブルを伝わる速さがとりあげられている。これで、PC上でデータ読み出しプログラムを走らせ、ADCカウントをチェックしよう。

課題4： ^{90}Sr の β 線がつくる信号パルス



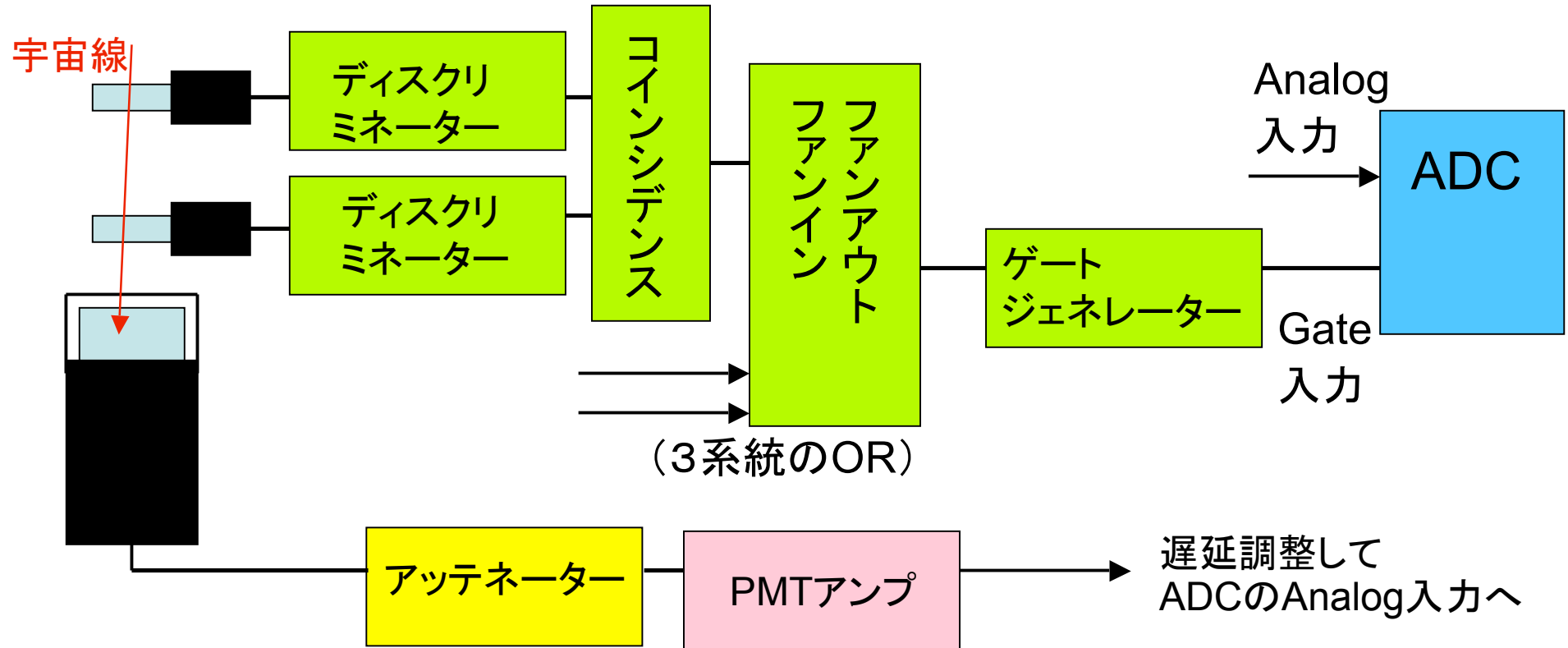
線線は放射体中で止まってしまうので放射体（石英、アクリルまたはプラスチックシンチレーター）を光電子増倍管にオプティカルグリースで粘着、遮光して作ったカウンター自身の信号でトリガー（＝ゲートパルス）が作られるようにする。

（注！）高電圧電源の使い方は講師・アシスタントの指示に従うこと。

（注！）ちゃんと遮光されていることを確認してから高電圧をかけること。

^{90}Sr の β 線が放射体に入射して発生するチェレンコフ光やシンチレーション光の信号パルスをCAMAC-ADCで読み出して、波高分布を得よう。

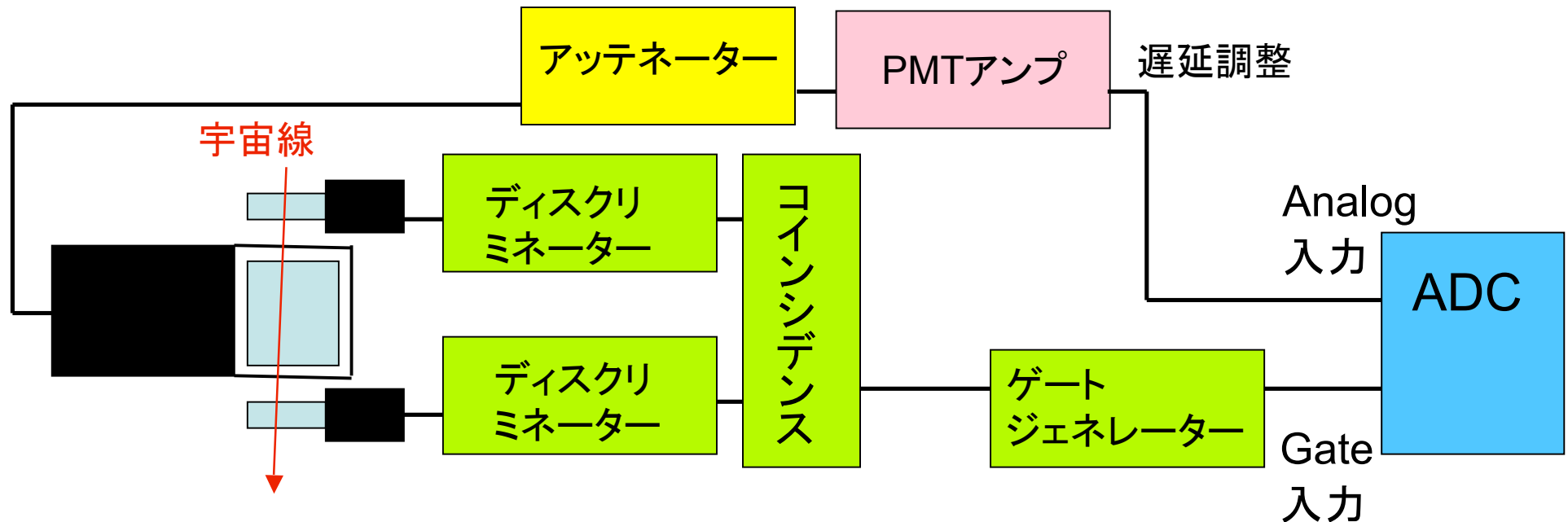
課題5：宇宙線がつくる信号パルス



トリガーカウンター2枚のコインシデンス(同時計数)で宇宙線が貫通した、3系統のORをとってゲートパルスを出す。

遅延調整は、光電子増倍管の中を電子が走行する時間(Transit Time)と、介在する種々のモジュールの通過時間をクロックジェネレーターとオシロスコープで測った結果を考慮して設定。

課題5：宇宙線がつくる信号パルス(続)



CsIシンチレーターをエアコンタクトで光電子増倍管と組み合わせ、上下に置いたトリガーカウンター2枚のコインシデンス(同時計数)でゲートパルスを出す。
このセットアップで3本の光電子増倍管についてデータを取り、増幅率の較正を行う。

課題6：チェレンコフ光子数の計算

- 石英やアクリルの屈折率、透明度の波長依存性、密度を調べる。
- 講義「検出器入門」4.2に光子数を与える基本式がある。
- 宇宙線は μ 粒子が1GeV/cで入射して貫通したという仮定でチェレンコフ光子数を計算しよう。
- ^{90}Sr からの β 線は、その最大エネルギーの電子について
 1. 媒質中を0.1mm進む毎に、発生したチェレンコフ光子数とエネルギー損失を計算する。
 2. 電子のエネルギーがチェレンコフ光を発生するしきい値以下になるまで、繰り返し1.を計算して積算する。という手法で、発生するチェレンコフ光子数の近似値を得よう。

まとめ・考察

- 実験のセットアップの状況と、収集したデータについて整理しよう。
- ^{90}Sr の β 線や宇宙線でデータ収集した波高分布と、発生するチェレンコフ光子数の計算値を比較・検討しよう。
- シンチレーターをつけたカウンターの波高分布と比較して、チェレンコフ光とシンチレーション光の量が相対的に何倍くらい異なるか検討しよう。

メモ