

演習 6 「光子を実感する」

講師：

大阪大学	能町正治（～24日）
KEK	幅 淳二
大阪大学	住浜水季

TA：

大阪大学（M2）	浦野篤史（26日～）
大阪大学（M1）	金丸真也

最先端の素粒子物理そして宇宙物理とつながる、もっとも身近な「場」としての電磁場、それを量子化した「光」について、その性質を実験的に実感する事が目的です。

光とは何か。粒子か波かに関しては長く議論がされました。その歴史はいろいろなところで紹介されています。図書室で歴史を調べてみましょう。インターネットでも、例えば CANON のサイエンスラボ http://www.canon.co.jp/technology/s_lab/light/001/11.html などに易しくまとめられています。

この演習では光の粒子としての性質を実感するために微弱な光の光子数の計数、光の速さを測る実験を行います。測定には、浜松フォトにクスにより最近開発された MPPC を用います。（http://jp.hamamatsu.com/hamamatsu/press/2006/common/pdf/2006_10_26.pdf）これまでの光電子増倍管に比べ、光子を数える効力に優れており、小型で高性能な光検出器としてこれからの応用が期待されている素子です。さらに、MPPC からの信号は、現在実験に使っている 500MHz FADC (Flash ADC) を用いデータ収集をおこないます。

実験のセットアップは4セットあります。2人ずつ組になって測定をしてもらいます。ただし、オシロスコープは2台なので2組(4人)に1台です。なお、LED 駆動回路は各自製作してもらいます。

この演習では、できるだけ単純なシステムを用い、その中身の一部を開発し、実際の測定がどのように行われているかを理解してもらいます。データの取り方、解析方法は例を用意してありますが、それにこだわらず、自分たちで測定・解析方法を工夫してみてください。

1) 微弱な光の測定

光の強さはどうやって決まるのでしょうか？波の強度は振動の振幅で決まり、いくらでも弱くすることができます。しかし、光子の場合、光量を減らしていくとついには光子一つ一つが来たりこなかったりするようになります。光をあてると MPPC は電気信号を出します。光をどんどん弱くしていくと、信号は小さくなっていきますが、あるところからは小さくならず、信号が出たり出なかったりになります。これは光が粒子で、1 個分よりも小さな信号が出ないからです。

光源には青色 LED を使います。これは簡単なので半田付けして作ってもらいます。素粒子実験では粒子検出にシンチレーターを良く使います。シンチレーション光は UV(紫外線)ですが、UV は透過性が低く集光性が悪いだけでなく、光センサーの感度も良くないので、これを青色程度に波長変換して測定します。このため、光センサーの試験には青色ダイオードを用いられます。青色ダイオードは 470nm 程度の波長で発光し、MPPC は 400nm の波長の光に最もよく反応します。

さて、その微弱な光を人間の目は見るのでしょうか？遠い星から目に入っている光は「何個」でしょうか？この演習で用意した装置を使い、目の感度を測定してみましょう。実験に使用する LED 駆動回路は LED を非常に短時間(10ns 程度)だけ発光させます。一回の発光で得られる光子数は少なくとも、これを繰り返すことにより明るく光らせることができます。MPPC を用いて 1 回の発光で何個の光子が出ているかを測定し、何回発光させたときに目で見えたかを測定することで目の感度を求めます。FADC 回路に LED を駆動するパルス発生回路を組み込んでいます。これを用いて、パルス数を調整します。感度の測定には目の有効面積、MPPC の感度が必要です。調べておきましょう。また、星からはどのくらいの光子が飛んできているか、図書室で調べてみましょう。インターネットの情報も参考にできるものがあります。ついでに、光子ひとつのエネルギーと星からの放出エネルギーを調べてください。そのうちどれだけのエネルギーがニュートリノで放出されているでしょう？ニュートリノの「目」スーパーカミオカンデの感度はどの程度でしょうか？

2) 光速の測定

光速の測定には様々な方法があり、歴史を読むだけでも結構楽しいものです。図書室で調べてみましょう。

ここでは、塩ビのパイプを用い LED と MPPC の距離を変えて、信号の到達時間を測定し

ます。パイプの隙間などからの光が MPPC に入るとそれらがノイズとなってしまいます。このため、パイプを伸長しても光が漏れないよう黒シートで遮光します。遮光は皆さんに工作してもらいます。

光速測定は十分な数の光子が得られるようにして行います。FADC で MPPC からの信号波形を測定します。距離により波高が変わるので、時間を得るには工夫が必要です。いろいろな方法が可能ですので、各自工夫をしてください。

実験上の注意：

危険なもの、特に壊れやすいものはありません。遠慮せずにいろいろ試みてください。とはいえケーブルを引っ掛けて落としたりすると壊れる恐れがあります。大胆に、但し丁寧に扱ってください。

MPPC は高感度なセンサーです、必ず遮光した状態で使用してください。

MPPC のバイアス電圧は 69V 程度と、比較的高い電圧です。個人差がありますが、ビリッと来るかもしれません。この程度だと感電自体でどうこう言うことはありませんが、びっくりして動かした手がどこかに当たって怪我をすることがあります。不用意に触らないようにしてください。