

最近の技術から

光電子増倍管の発光現象

大須賀 慎二

浜松ホトニクス(株)中央研究所 T434 浜北市平口 5000

1. はじめに

光電子増倍管(PMT)を使用した光電子計数法による極微弱光計測において、検出限界を定める要因の一つに、PMTのダークノイズがある。ダークノイズは主に光電面からの熱電子による計数であるが、その他に頻度は小さいがPMT自体の発光に起因するダークノイズも存在する。熱電子放出率は光電面を冷却することにより小さくすることができる。また最近では光電面の改良により、室温で 5 cps/cm^2 程度のダークノイズ計数率のPMTも得られるようになった¹⁾。したがって、より微弱な発光現象を捉えるためには、PMT自体の発光現象の頻度をいかにして減らすかが重要になってくる。

2. PMTを構成するガラスの発光

PMTの発光現象の中でもPMTを構成するガラス(主に面板)の発光は、宇宙線、環境 γ 線、およびガラス中に含まれる放射性不純物からの β 線や γ 線によって引き起こされる^{2,3)}。すなわち、これらの放射線がガラス中を通過するときに直接、あるいは間接的にチエレンコフ光やシンチレーション光を発生させるのである。天然に存在する ^{40}K やウラン系列、トリウム系列の放射性核種から放出される γ 線(環境 γ 線)のエネルギーは、ほとんどが3 MeV以下であるので、厚さ10 cmの鉛遮蔽体の内部では環境 γ 線の強度は1/100以下に減衰する。ガラスを発光させる宇宙線は荷電粒子であるミューオン(μ)と電子であり、地表での強度はおよそ $0.01/\text{cm}^2/\text{s}/\text{sterad}$ である⁴⁾。電子成分は10 cm厚の鉛遮蔽体で減衰させることができるが、 μ は貫通力が強くその遮蔽は困難である。しかし、PMTの上方にプラスチックシンチレータ等の宇宙線検出器を置いて逆同時計数を行うことにより、 μ に起因する計数を除去することは可能である。したがって、図1に示すように環境 γ 線に対する遮蔽体の内部にPMTを置いて宇宙線との逆同時計数を行えば、PMTを構成するガラスの発光現象がダ-

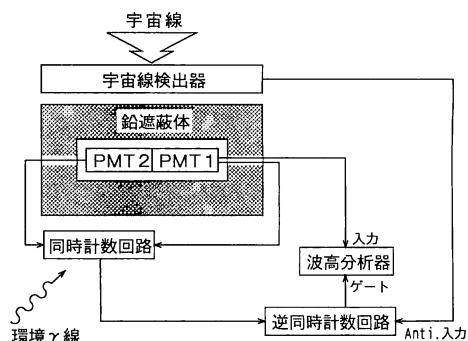


図1 測定系

クノイズとして計数される頻度を減らすことができる。

以下では、PMTの発光による計数を実際にどの程度減らすことができるか、図1の測定系で調べた結果について述べる。この測定系では、対向した2本のPMTで同時計数を行っているが、これは、PMTの発光現象を熱電子等の2本のPMT間で独立な事象から識別するためである。

3. 宇宙線

図2は、宇宙線検出器との逆同時計数回路の非動作時(a)、および動作時(b)に得られた、2本の2インチ径

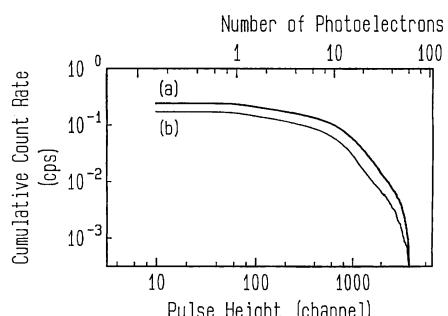


図2 宇宙線による発光現象の累積波高分布
宇宙線検出器との逆同時計数回路：
(a)非動作、(b)動作。

PMT の同時計数事象 (PMT の発光現象) の累積波高分布 (ある波高以上の計数率) である。 (a) と (b) の差が、宇宙線検出器との逆同時計数によって除かれたガラスの発光に起因する計数である。数十光電子／パルスの高波高域にまで分布していて、頻度は 0.07 cps である。ただし宇宙線検出器の覆う立体角は、 2π の約 40% であるので、すべての μ による計数を除去できるわけではない。 μ 強度の天頂角依存性が \cos^2 (天頂角) の形であるとすれば、 μ による計数の約 75% が除去されることになる。

4. 環境 γ 線

石英ガラスを面板に使用した 2 インチ径 PMT の同時計数事象を、10 cm 厚鉛遮蔽体の外と内で測定した結果が図 3 の (b) と (c) である。遮蔽体による同時計数率の減少は 0.9 cps/2 本であった。波高分布は 100 光電子／パルス以上まで広がっているが、高波高域の計数は宇宙線の電子成分によると考えられる。

5. 放射性不純物

図 3 の (a) は、面板が硼珪酸ガラスである 2 インチ径 PMT の同時計数事象を鉛遮蔽体中で測定して得られた累積波高分布である。面板が石英ガラスの PMT (図 3 (c)) と比べると同時計数率はほぼ 20 倍になっている。硼珪酸ガラス中にはカリウムが含まれているので放射性核種である ^{40}K も存在する。 ^{40}K からは最大エネル

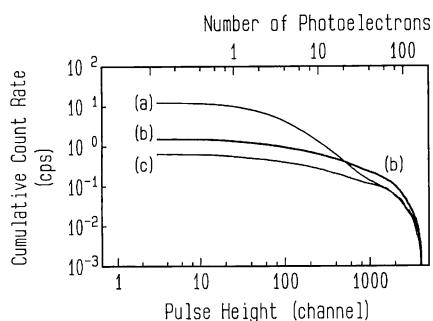


図 3 環境 γ 線・ガラス中の放射性不純物による発光現象の累積波高分布
(a) 面板：硼珪酸ガラス、遮蔽体内、(b) 面板：石英ガラス、遮蔽体外、(c) 面板：石英ガラス、遮蔽体内。

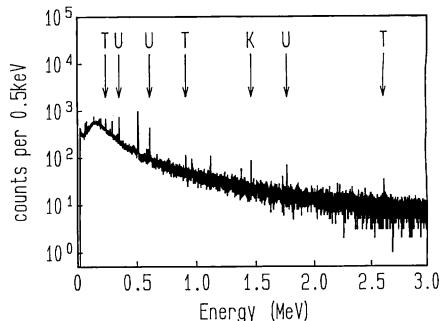


図 4 光学実験用パイレックスガラス基板からの γ 線スペクトル
矢印で主な γ 線を示した。K: ^{40}K , U: ウラン系列, T: トリウム系列。

ギー 1.33 MeV の β 線と 1.46 MeV の γ 線が放出され、約 50 光電子／パルスまでの同時計数事象の原因となっている。したがって極微弱光計測においては、カリウムを含まない石英ガラスや低カリウムガラスを使用した PMT を選択する必要がある。石英ガラスはウラン系列やトリウム系列の放射性不純物も少ない。参考のため、光学実験用のパイレックスガラス基板から放出される γ 線のスペクトルを図 4 に示した。 ^{40}K の他に、ウラン系列とトリウム系列の放射性不純物の存在が認められる。

以上の結果を総合すると、例として石英ガラスを面板とした 2 インチ径の PMT の場合では、ダークノイズ計数率が 1 cps 程度になると宇宙線や環境 γ 線によるガラスの発光が無視できなくなり、それらを減らすための工夫が必要となる。

文 献

- 1) 浜松ホトニクス(株)技術資料：“フォトンカウンティング” (1992)。
- 2) H. R. Krall: “Extraneous light emission from photomultipliers,” IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-14 (1967) 455-459.
- 3) R. L. Jerde and L. E. Peterson: “Effects of high energy radiations on noise pulses from photomultiplier tubes,” Rev. Sci. Instrum., 38 (1967) 1387-1394.
- 4) 国立天文台編: 理科年表平成 4 年 (丸善, 1991) pp. 577-579.

(1993 年 3 月 1 日受理)