

暗黒物質探索のためのガンマ線による CF₄発光測定実験

新学術領域「地下宇宙」合同研究会 パラレルセッション

神戸大学粒子物理研究室 M1

前田剛志

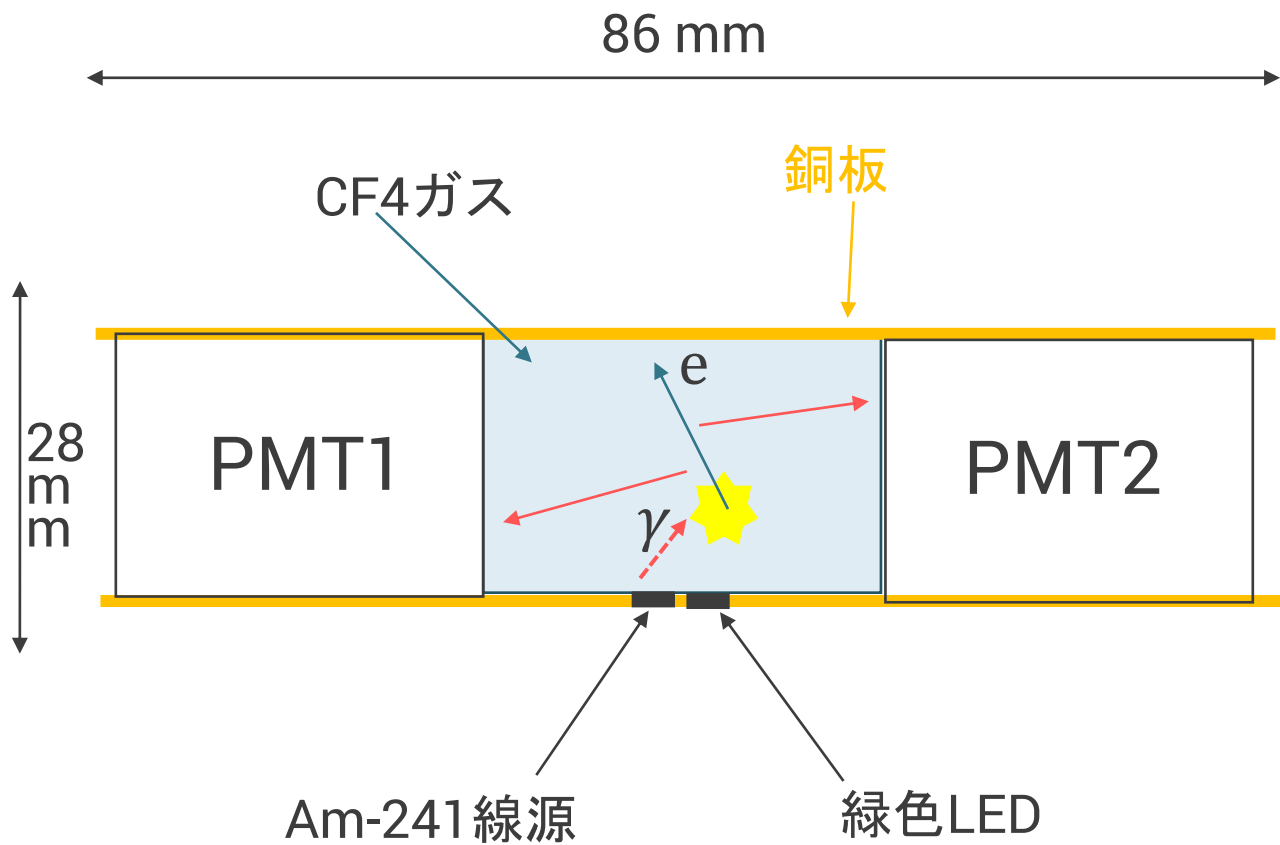
Introduction

- ダークマターと原子核との非弾性散乱には、原子核のスピンに依存する (Spin dependent = SD) 散乱と依存しない (Spin independent = SI) 散乱の2種類がある
- SD散乱を観測する時、スピンの大きい原子核であるフッ素を用いるのが適当
⇒ PICO実験においてフッ素を用いた実験は行われているが、具体的にどれぐらいのエネルギー領域まで測定できるかは不明
⇒ フッ素を含んだ物質の一種であるCF₄の応答について調べたい
- CF₄ガスにガンマ線を照射し、PMTでどのように検出されるか、すなわち用いたガンマ線はCF₄により検出可能なのかについて実験し、解析した



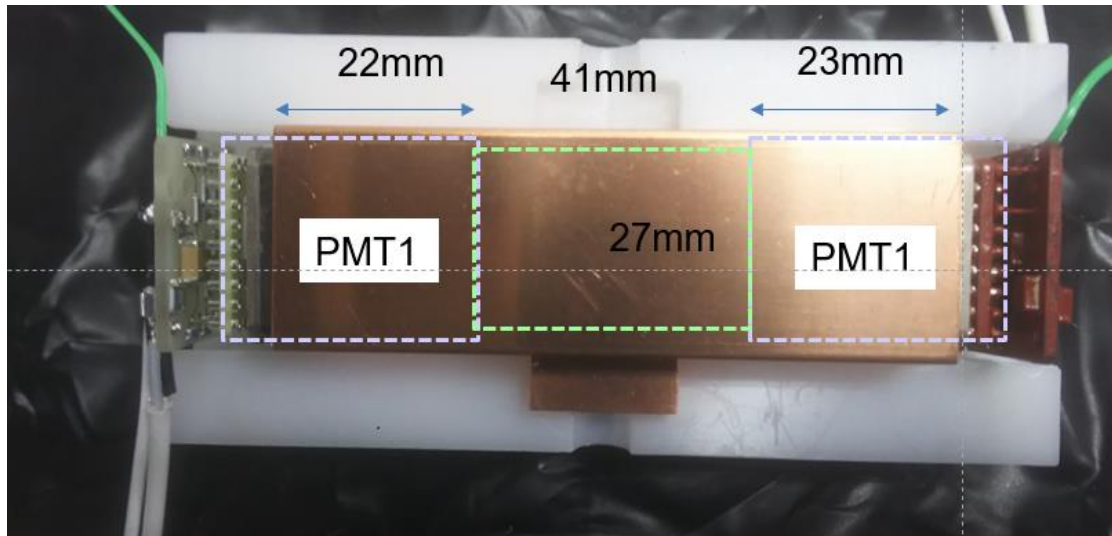
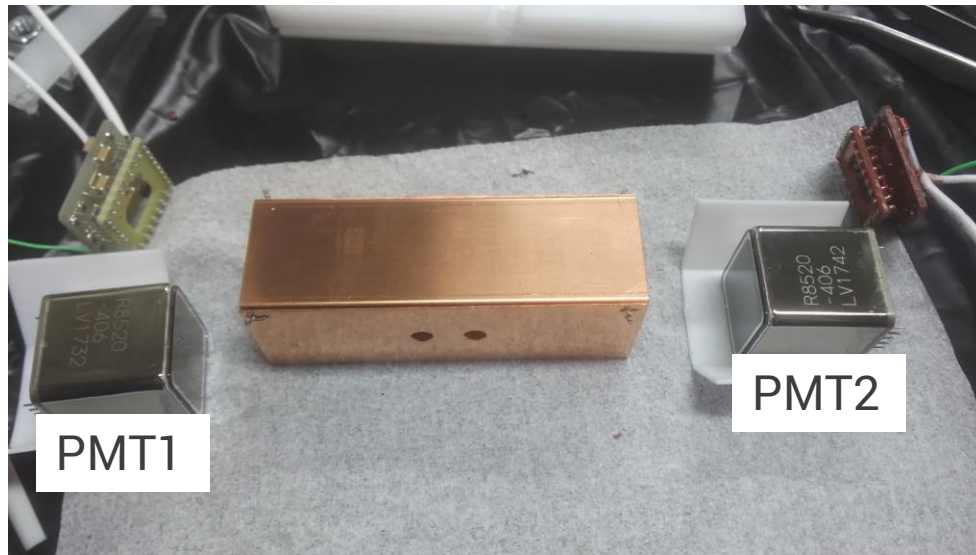
<http://www.picoexperiment.com/index.php>

装置図/写真

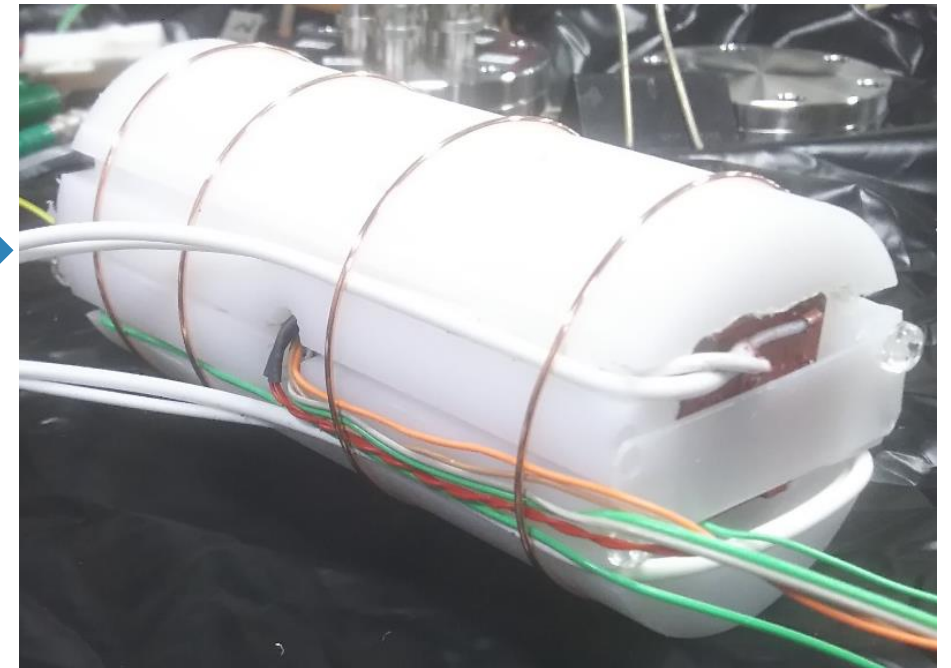
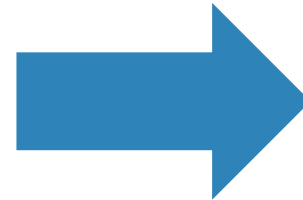


- 装置全体は冷凍機で冷却した(210 K)
- PMTは浜松ホトニクス製R8520-406
光電面：20.5mm×20.5mm
- 銅板の側面に空けた2つの穴
(直径:5 mm)に線源とLEDを設置する
- Am-241線源は5.4 MeVのアルファ線と
60 keVのガンマ線を放出するが、測定
を試みるのはガンマ線の方である

装置図/写真



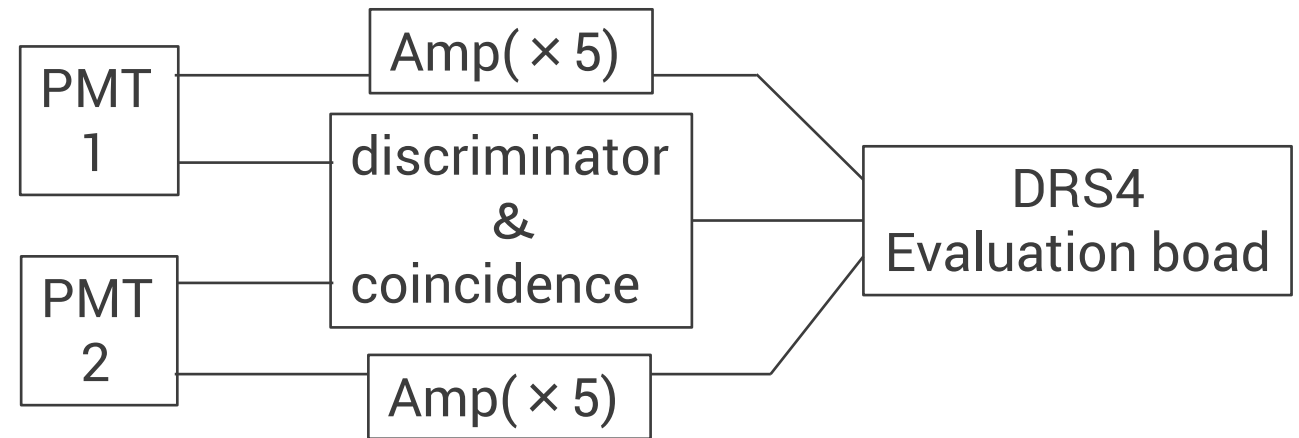
ポリエチレンで覆う



実験内容

- LEDを発光させ、両方のPMTのゲインを調べる⇒ゲインをそろえる
 - PMTからの信号はDRS4 評価ボード[1]で読み取る(約1GHz)(以下も同じ)
- ガンマ線によるCF₄の発光を両PMTで検出する
 - このとき、PMT1とPMT2とでコインシデンスを取る
- 両PMTで得た電荷、及びその総和についての電荷分布を作成する
- 60 keVのガンマ線が見えているか検証する

[1] DRS4 Evaluation Board User's Manual



LEDによるPMTのゲインの求め方

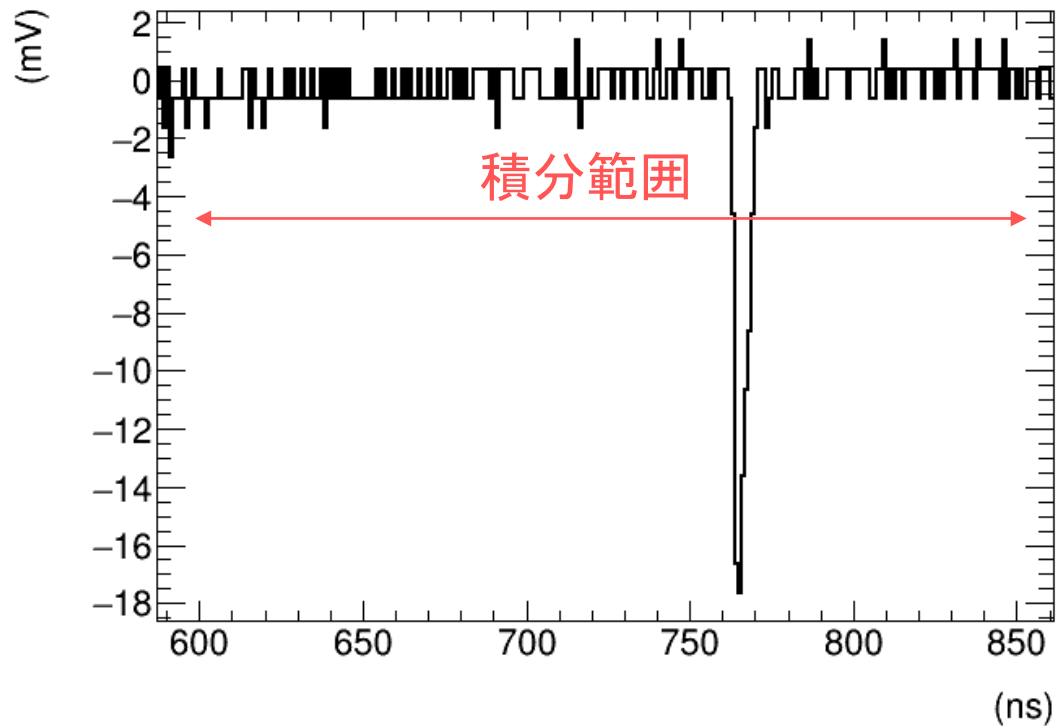


図1:LEDの波形データを、ピーク付近を拡大して表示したもの

- ・得られた波形データをもとに、左図のようなピークを十分含む範囲(250 bin)で積分し、終端抵抗の $50\ \Omega$ で割ることにより電荷量とした
- ・積分は各binの波高を足し合わせるにより行なった
- ・得られた電荷量を素電荷で割ってゲインを求めた

結果：PMTに対するLED光のゲイン

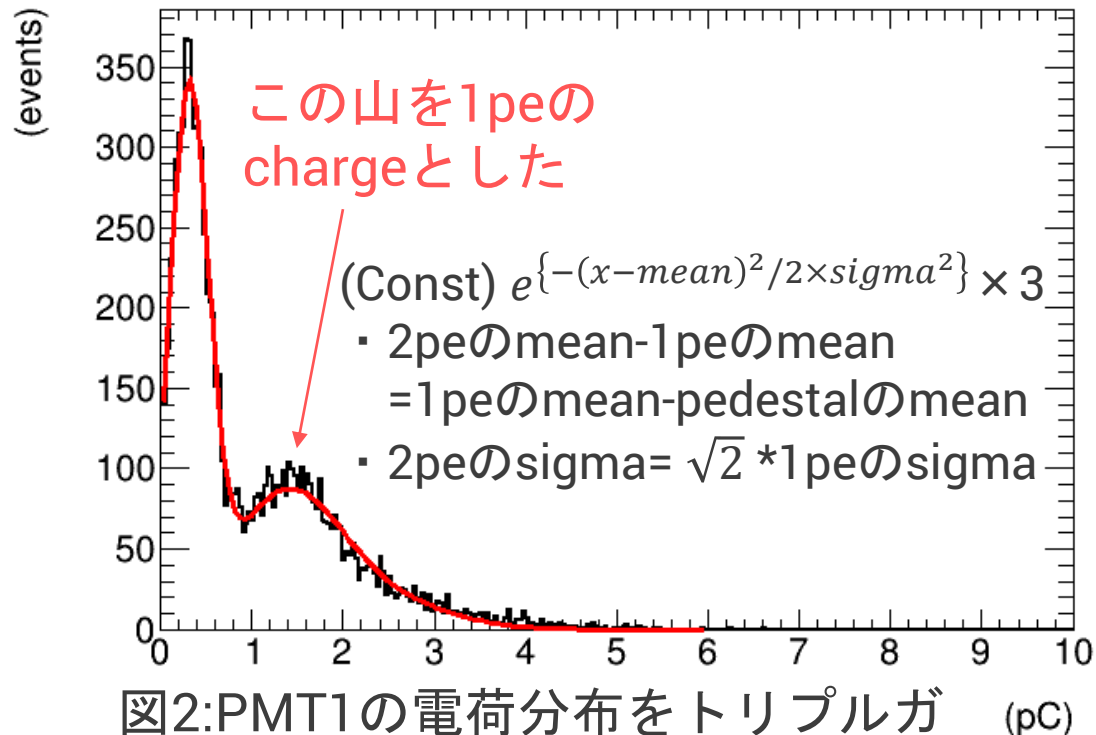


図2:PMT1の電荷分布をトリプルガウシアンでフィッティングした図

1peの電荷量：1.1 pC
ゲイン： 6.9×10^6

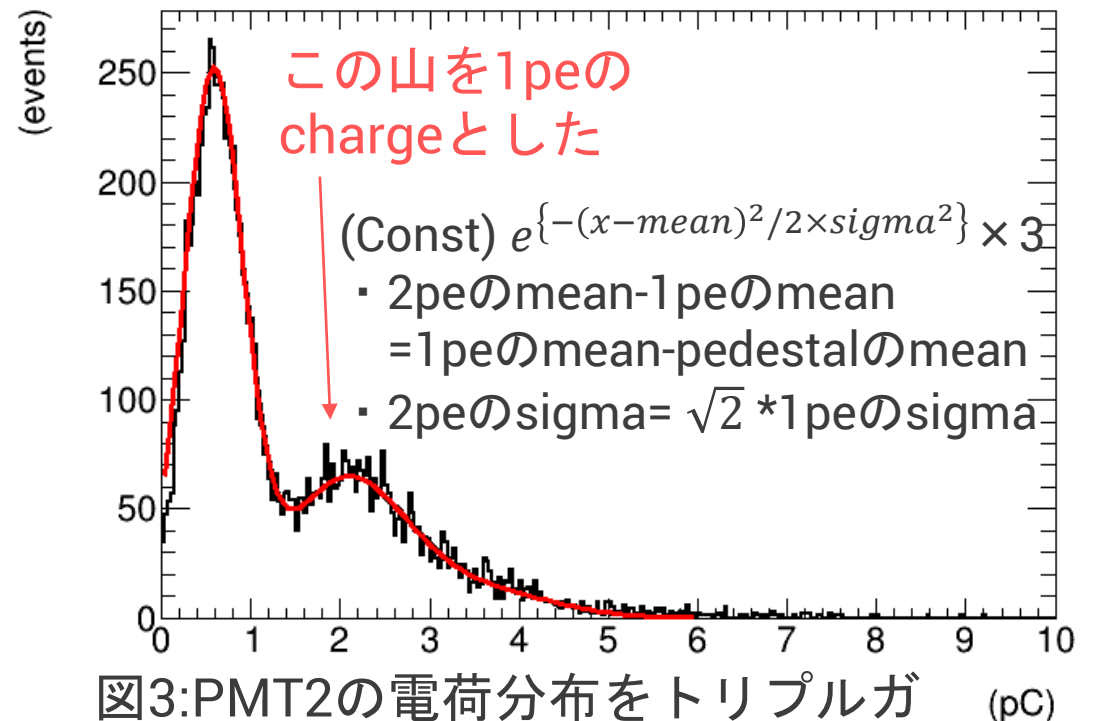


図3:PMT2の電荷分布をトリプルガウシアンでフィッティングした図

1peの電荷量：1.5 pC
ゲイン： 9.3×10^6

ガンマ線の検出(方法)

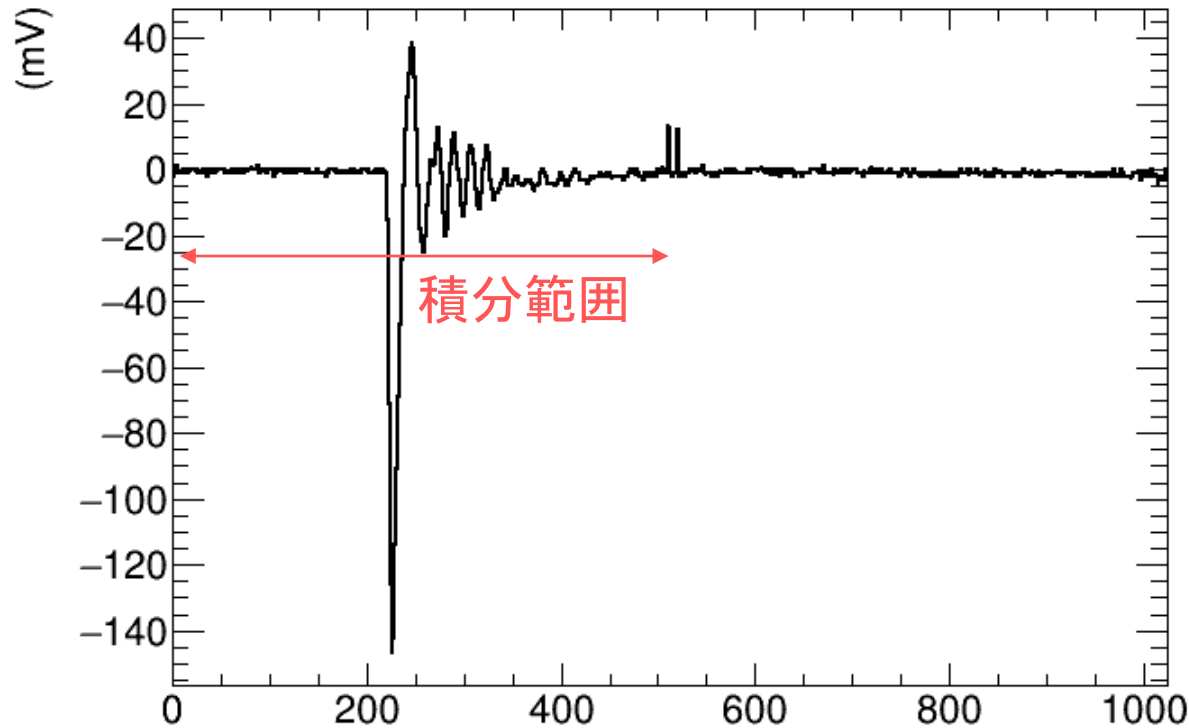
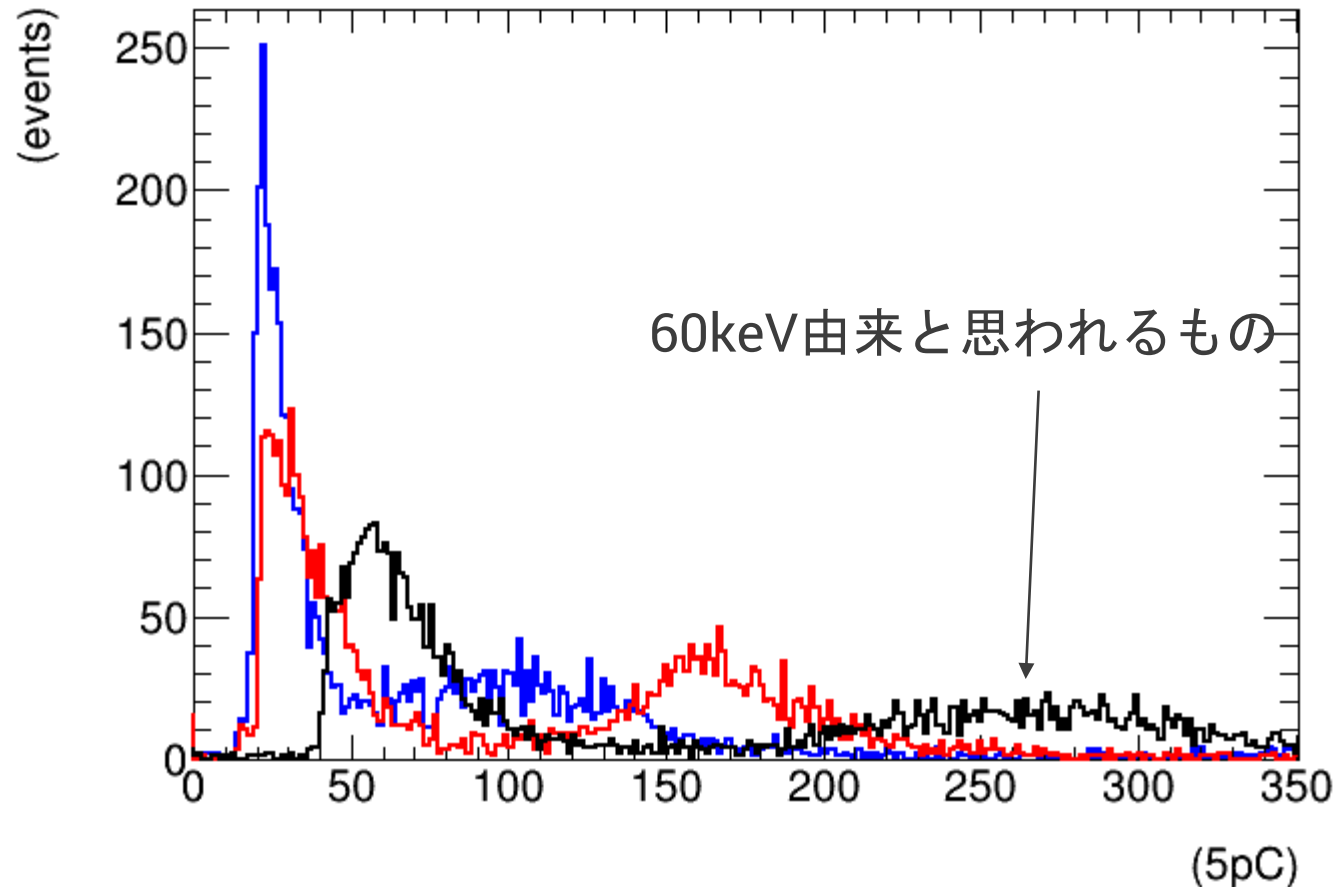


図4:ガンマ線を置いた時の波形の様子 (ns)

- ・ 得られた波形データをもとに、電荷分布を作成する
- ・ 積分方法及び電荷の求め方はLEDの時と同じである
- ・ 積分範囲は0~500binである

ガンマ線の検出(結果)



赤 : PMT1
青 : PMT2
黒 : PMT1+PMT2

図5:PMT1・PMT2各々の電荷分布及び双方のPMTで得られた総和の電荷分布

まとめ

結論：少なくとも、ガンマ線に関して、60keVまでのエネルギー領域はCF₄ガスにより検出出来そうだという見通しが立てた

展望：今回はCF₄ガスを用いたが、今後は更に冷却する、または液化したCF₄を用いて密度を上げることにより、より感度の良い状態で測定を行っていく

Back up

PMTに関する情報



PHOTOMULTIPLIER TUBE R8520-406

FEATURES

- For low temperature operation down to -110 °C
- Low radioactivity 26 mm (1 Inch) square
- High UV sensitivity by synthetic silica window

APPLICATIONS

- High energy physics
- Astrophysics
- Academic research

SPECIFICATIONS

GENERAL		
Parameter		Description / Value
Spectral response		160 to 650
Wavelength of maximum response		420
Window material		Synthetic silica
Photocathode	Material	Bialkali
	Minimum effective area	20.5 × 20.5
Dynode	Structure	Metal channel
	Number of stages	10
Operating ambient temperature		-110 to +50
Storage temperature		-110 to +50
Weight		22.9

MAXIMUM RATINGS (Absolute maximum values)

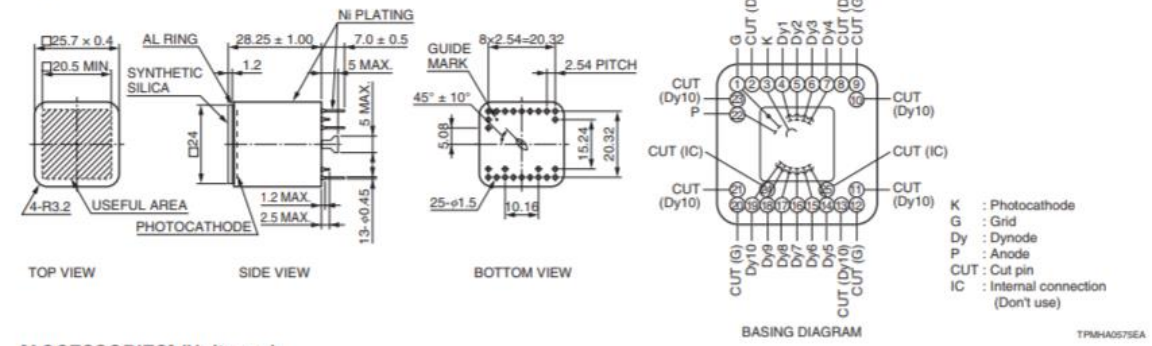
Parameter		Value	Unit
Supply voltage	Between anode and cathode	900	V
	Between anode and last dynode	150	V
Average anode current		0.1	mA

CHARACTERISTICS (at 25 °C)

Parameter		Min.	Typ.	Max.	Unit
Cathode sensitivity	Luminous (2856 K)	80	100	—	μA/lm
	Blue sensitivity index (CS 5-58)	9.0	11.0	—	—
	Radiant at 420 nm	—	100	—	mA/W
	Quantum efficiency at 175 nm	—	30	—	%
Anode sensitivity	Luminous (2856 K)	40	100	—	A/W
	Gain	—	1 × 10 ⁶	—	—
Anode dark current (After 30 minute storage in darkness)		—	2	20	nA
Time response	Anode pulse rise time	—	1.8	—	ns
	Electron transit time	—	12.4	—	ns

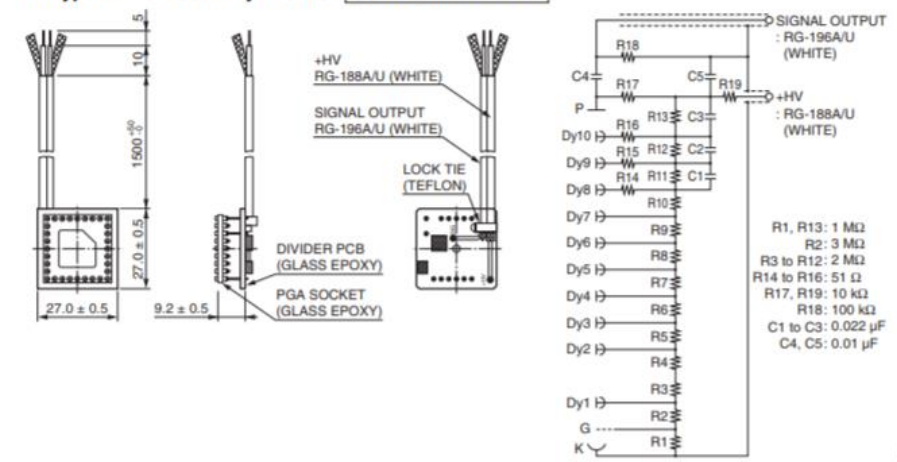


Figure 3: Dimensional outline (Unit: mm)



[ACCESSORIES] (Unit: mm)

●D type socket assembly E13416 **SOLD SEPARATELY**



Serial Number	(1)	(2)	(3)	(4)
	陰極感度 (Sk) μ A/1m	陽極感度 (Sp) A/1m	陽極暗電流 (Idb) nA	陰極青感度指数 (Skb)
LV1732	108.0	489.0	1.00	11.80
LV1742	129.0	841.0	3.50	12.30
LV1743	134.8	1010.0	2.60	12.40

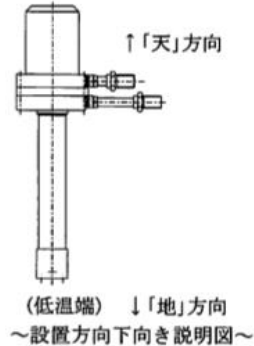
1. 概 要

パルスチューブ冷凍機は、弊社がこれまでに培ってきた極低温小型冷凍機技術を基にして、新たに開発した超低振動パルスチューブ冷凍機です。新開発のパルスチューブ冷凍機は冷凍発生部に可動部品を全く持っていないため、これまでの機械式冷凍機で問題となっていた運転振動をきわめて小さくする事に成功しました。

2. 性 能 (システム構成については、図1をご参照下さい)

最低到達温度 : 40K/35K (50/60Hz)
冷却時間 : 20分以内 (77Kまで)
冷凍能力 : 11W/14W (50/60Hz)

※. 上記仕様値は、設置方向下向き、連結管φ6.35長さ2m
及び1Lバッファータンクありの場合の数値です。



3. 機器仕様

3. 1. コールドヘッド

型 式 PDC08型
寸 法 W79×D161×H298 (図2をご参照下さい)
重 量 約1.5kg

3. 2. モーターユニット

型 式 M601型
寸 法 W109×D186×H139 (図5をご参照下さい)
重 量 約3.8kg

3. 3. コンプレッサー

型 式 SA112型
寸 法 W373×D449×H396 (図4をご参照下さい)
重 量 約40kg
使用環境 周囲温度:10~35℃、相対湿度:85%以下
コード類 冷凍機コード:5m、電源コード:5m

3. 4. モレキュラーボット

寸 法 W102×D280×H313 (図7をご参照下さい)
重 量 約2.3kg

4. ユーティリティー

4. 1. 所要電源 AC100V (50/60Hz 単相)
4. 2. 消費電力 約1.1/1.3kW (50/60Hz)
4. 3. ブレーカー容量 20A以上

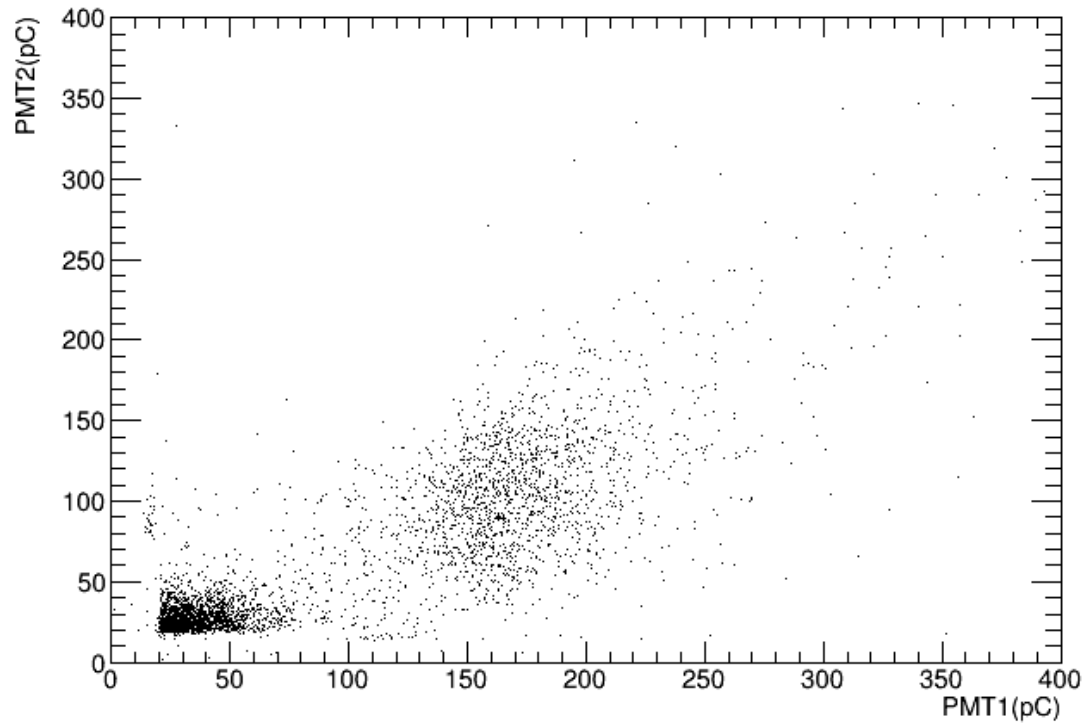
※ コンプレッサーの設置場所から、電源コード(5m)が届く範囲にAC100V電源 (アース付コンセント) を御準備下さい。

※ 出来るだけ単独電源で御使用下さい。

・ 冷凍機に関する情報

用いた冷凍機はアルバック・クライオ製のパルスチューブ冷凍機(PDC08+SA112型)である

PMT1 と PMT2 の光量の相関



- ・ 左図は、PMT1・PMT2双方で得られた電荷量の相関を表している