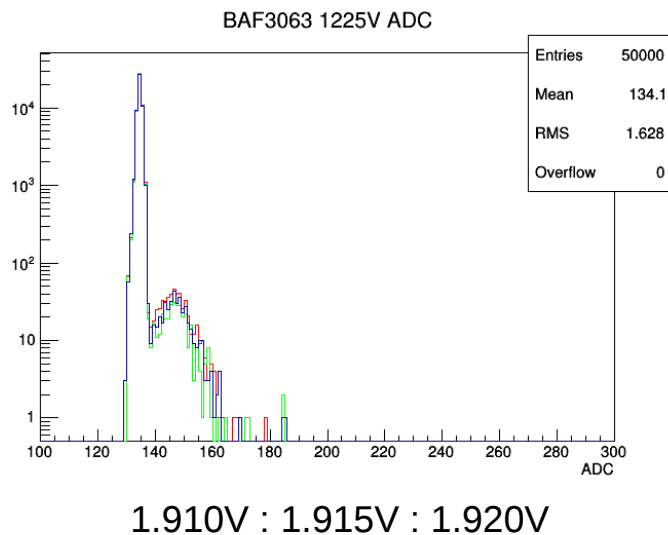
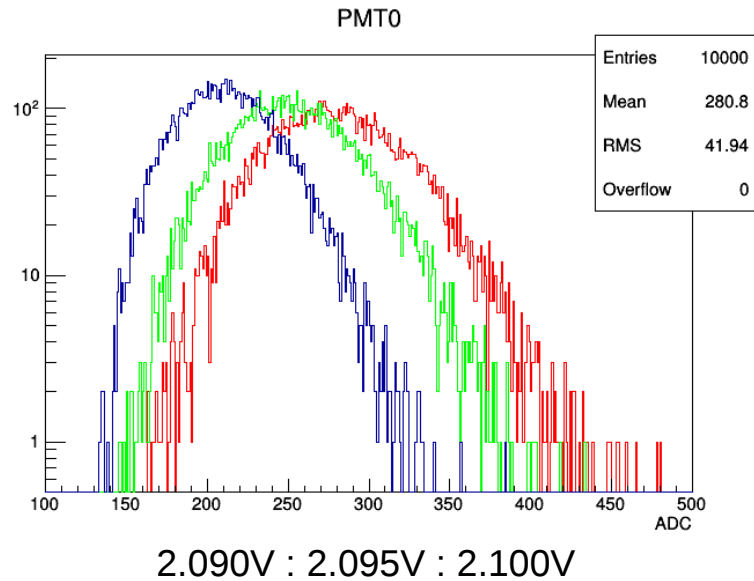


PMT calibration 2017/7/31
藤原健斗

PMTキャリブレーション

- 測定原理



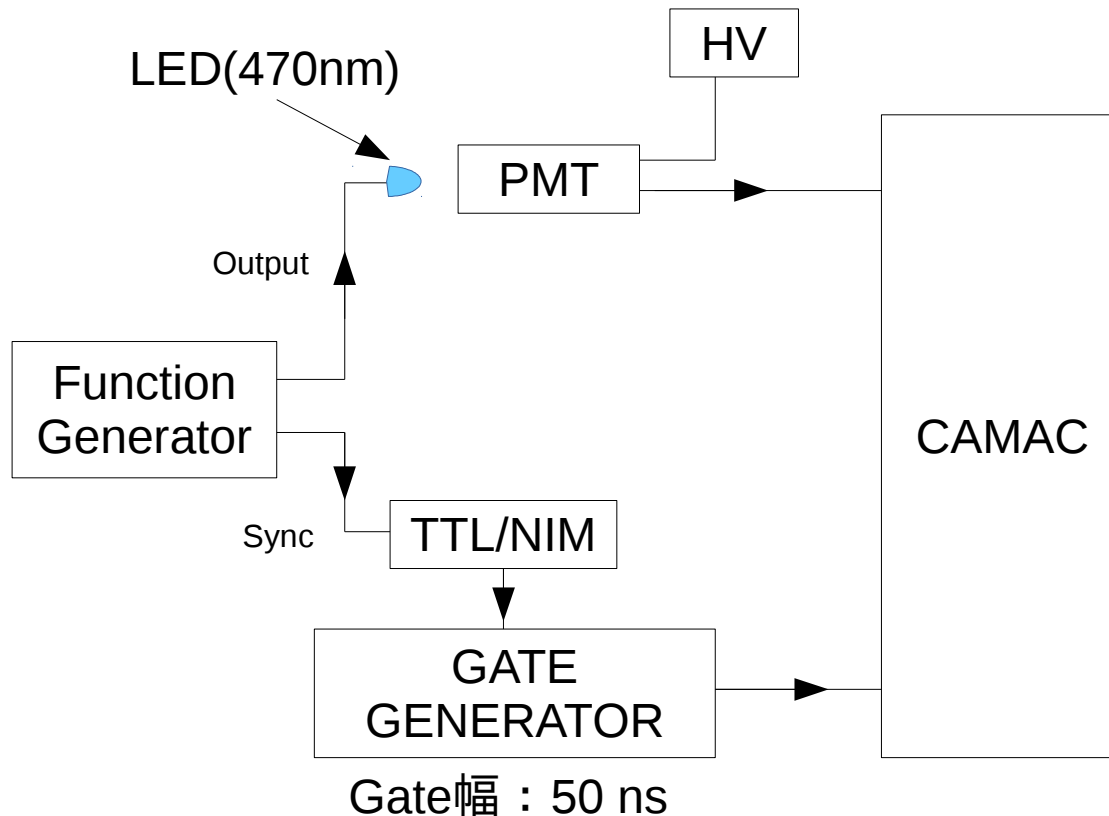
通常、LED電圧を変えると入射光量が変わるのでADC分布のピーク位置が動く。

しかしLED電圧をごく低く設定した場合、PMTの光電面で反応する光子数の期待値が1未満となり、LED電圧を変化させてもピーク的位置は動かず、高さのみが変化する。

この時ADC分布は、光子が1つだけ反応した場合(1光子領域)と、反応しなかった場合(pedestal)の重ね合わせになる。1光子領域のピーク位置とペDESTAL位置の差分から1光子あたりのGainが求められる。

PMTキャリブレーション

- セットアップ



設定

- ・パルス頻度 : 1.000 kHz
- ・ V_L : 0.00 V
- ・パルス幅 : 30.0 ns
- ・エッジタイム : 5.00 ns

CAMAC係数 : 0.2637×10^{-12}

HV電圧 : 1100~1300を25Vごとに測定

各HV電圧ごとにLED電圧3種と pedestalを測定、値はそれぞれのLED電圧の値の平均を取る。

今回は浜松ホトニクス製R9880U-210を8個calibrationした。

PMTキャリブレーション

- Gain

$$Gain = \frac{(ADC_{1p.e.} - ADC_{peak}) \times CAMAC}{1.6 \times 10^{-19}} \quad \text{で計算}$$

Noise ratio ($\times 10^{-5}$)	BAF3090	BAF3063	BAF2829	BPA9027	BPA8985	BAC7472	BAF2866	BAF2965
1150V	1.42±0.04	1.45±0.04	1.42±0.03	1.86±0.04	1.60±0.03			
1175V	1.56±0.04	1.59±0.03	1.55±0.01	2.05±0.02				
1200V	1.72±0.02	1.77±0.05	1.70±0.03	2.21±0.03	1.86±0.07			
1225V	1.90±0.04	1.97±0.03	1.86±0.04	2.39±0.03		1.40±0.02	1.45±0.00	1.45±0.02
1250V	2.06±0.01	2.13±0.01	2.01±0.02	2.61±0.07	2.19±0.04	1.54±0.09	1.59±0.01	1.53±0.02
1275V	2.23±0.05	2.36±0.05	2.19±0.01	2.79±0.02		1.66±0.03	1.74±0.17	1.74±0.02
1300V	2.45±0.04	2.57±0.04	2.40±0.02	3.04±0.05	2.62±0.08	1.77±0.03	1.89±0.05	1.82±0.04

PMTキャリブレーション

- フィッティングパラメータ

フィット関数 $F = \alpha V^\beta$ でフィッティング

パラメータ	BAF3090	BAF3063	BAF2829	BPA9027	BPA8985	BAC7472	BAF2866	BAF2965
α	$(4.09 \pm 5.71) \times 10^{-7}$	$(7.8 \pm 6.19) \times 10^{-8}$	$(1.1 \pm 0.88) \times 10^{-6}$	$(2.11 \pm 1.04) \times 10^{-5}$	$(1.33 \pm 3.56) \times 10^{-5}$	$(2.71 \pm 2.23) \times 10^{-6}$	$(3.18 \pm 2.89) \times 10^{-7}$	$(8.59 \pm 1.15) \times 10^{-7}$
β	4.42 ± 0.20	4.66 ± 0.11	4.28 ± 0.11	3.9 ± 0.07	3.95 ± 0.38	4.12 ± 0.12	4.42 ± 0.13	4.28 ± 0.19

PMTキャリブレーション

- 測定精度

誤差を $\sigma^2 = \sum_i^n \frac{gain_i - \overline{gain}}{n}$ とし、フィット関数の値に対するずれ

を加味して、 $accuracy = \frac{\overline{gain} - F(V_{HV}; \alpha, \beta) \pm \sigma}{F(V_{HV}; \alpha, \beta)}$ で測定精度を評価

パラメータ	BAF3090	BAF3063	BAF2829	BPA9027	BPA8985	BAC747 2	BAF2866	BAF2965
精度の 最大値	0.0293	0.0307	0.027	0.0293	0.049	0.0736	0.102	0.0391

Gainがある程度高い5つのPMTについては、測定精度5%を達成した。右側の3つに関しては、もともとのGainが低いため精度も悪くなってしまう。

PMTキャリブレーション

- ノイズ頻度

信号強度が0.5p.e.を超えた事象の比で評価、誤差はルートを取った値(0の場合は1とする)

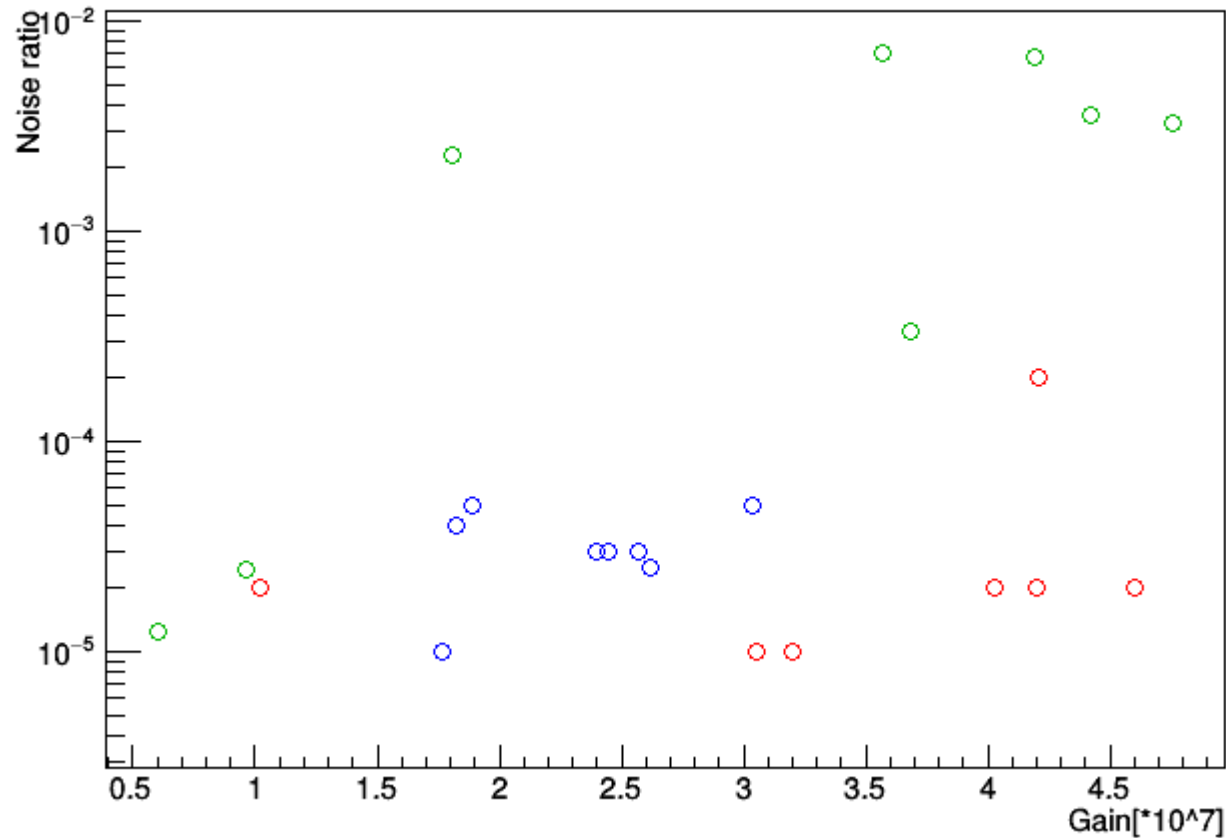
Noise ratio ($\times 10^{-5}$)	BAF3090	BAF3063	BAF2829	BPA9027	BPA8985	BAC7472	BAF2866	BAF2965
1150V	6	3	4	1	2.5			
1175V	9	1	4	4				
1200V	3	2	1	3	22.4			
1225V	2	2	1	4		4	2	3
1250V	4	2	2	2	4.1	2	2	4
1275V	3	6	8	3		3	5	5
1300V	3	3	3	5	2.5	1	5	4

BPA8985のpedestal測定の際のpedestalが他に比べて2倍ほど太く、ノイズ頻度が高くなっている部分がある。これについては再測定するのが望ましい。

PMTキャリブレーション

- GainとNoise ratioの分布

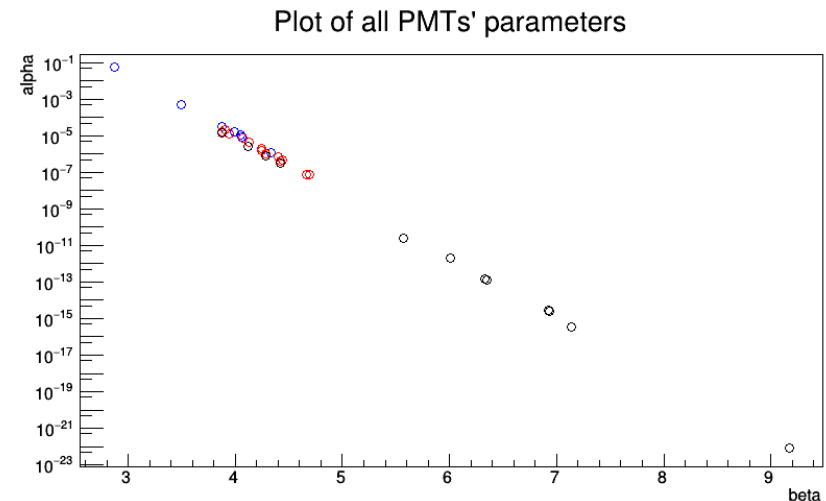
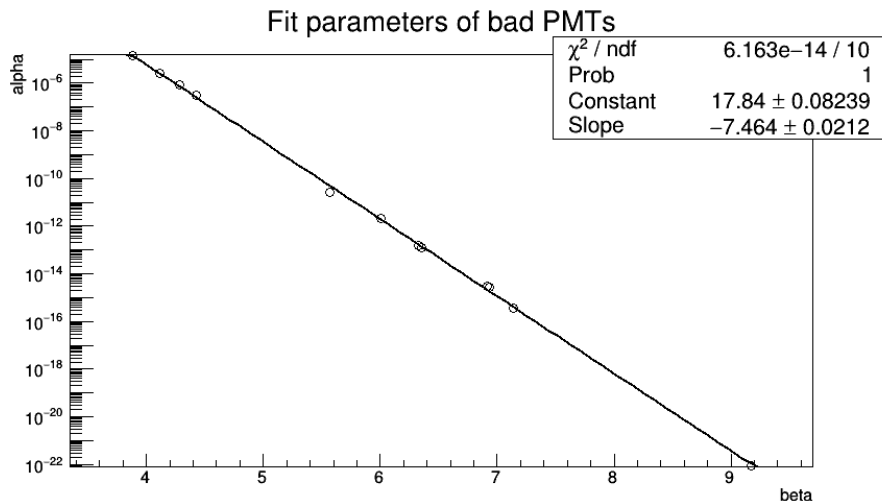
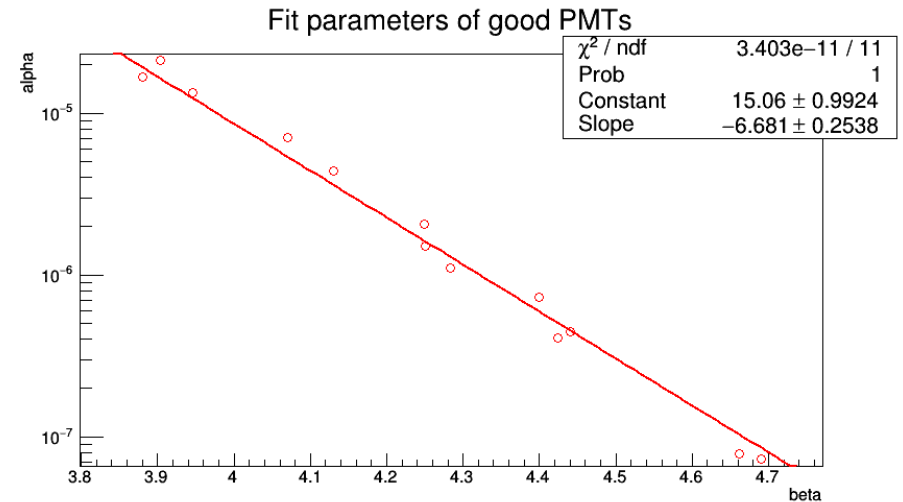
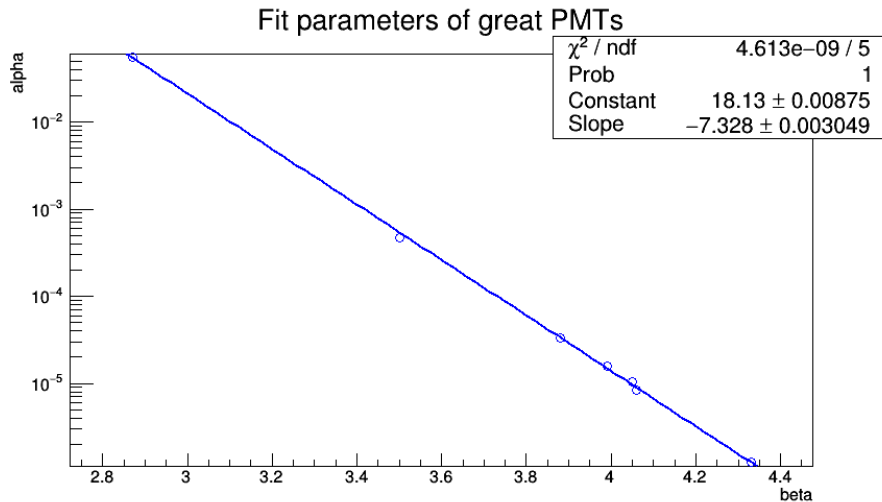
Distribution of Gain and Noise-ratio at 1300V



HV=1300VにおけるGainとNoise-ratioを、今回キャリブレーションしたPMTについては青で、以前されたPMTについては赤(水野)と緑(伊藤)でプロットした。全体的に、今回キャリブレーションしたPMTは、Noiseは少ないがGainが低いものが多かった。

PMTキャリブレーション

- Fit parameterの分布



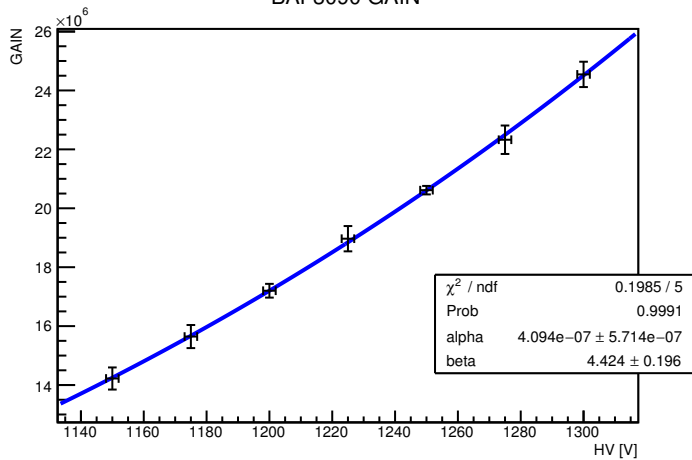
フィットパラメータの分布だけではGainの傾向は確認できないが、分布の線形性は確認できる。すなわち、同型のPMTをcalibrationした結果がこの線上にない場合は、calibrationのミスかPMTの故障を疑うべきである。

まとめ

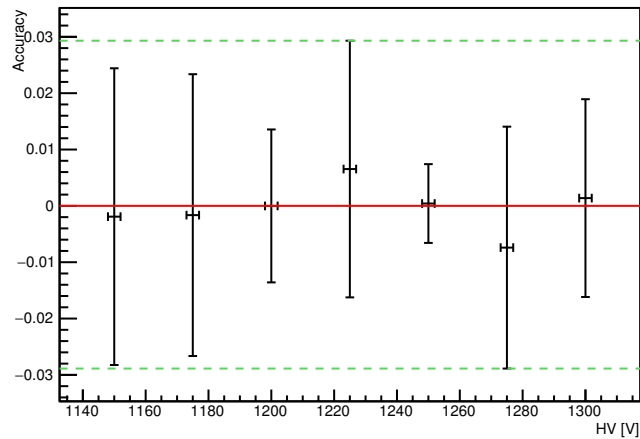
- PMT8個のGainを測定した。
 - Gainがある程度高いものについては、精度5%を達成した。
 - Noise ratioは $\sim 10^{-5}$ 程度であり、実用には問題ない。
- ただ、BPA8985については再測定するのが望ましい。

BACK UP

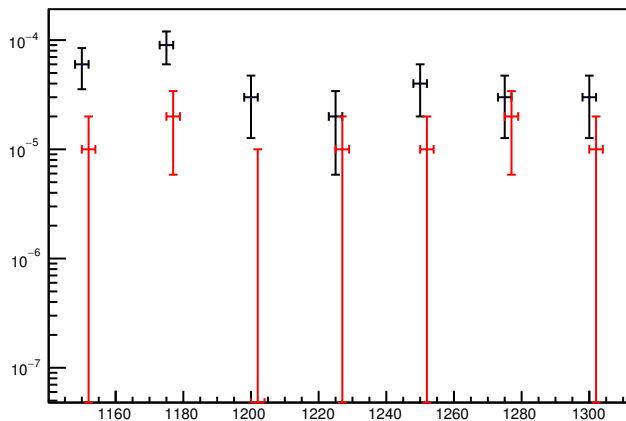
BAF3090 GAIN



BAF3090 Accuracy

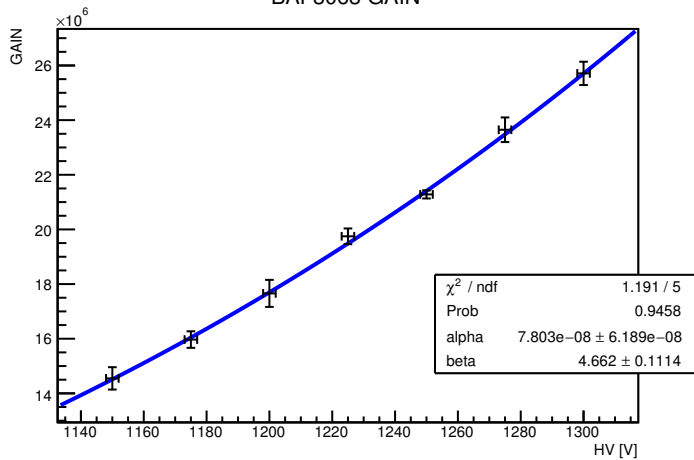


BAF3090 Noise ratio

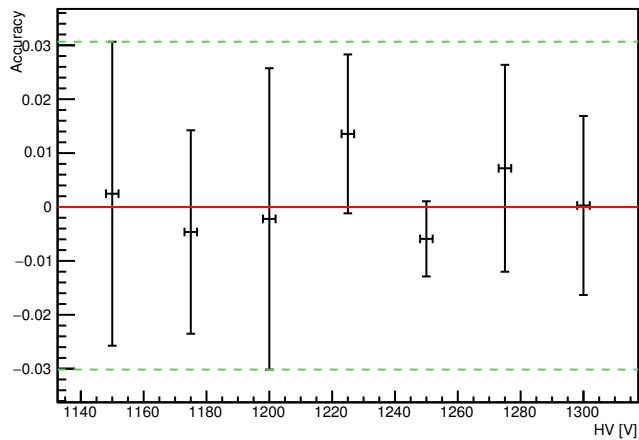


HV	Gain	Noise Ratio
1150	$(1.42 \pm 0.04) \times 10^7$	$(6.00 \pm 2.45) \times 10^{-5}$
1175	$(1.56 \pm 0.04) \times 10^7$	$(9.00 \pm 3.00) \times 10^{-5}$
1200	$(1.72 \pm 0.02) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1225	$(1.90 \pm 0.04) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1250	$(2.06 \pm 0.01) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1275	$(2.23 \pm 0.05) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1300	$(2.45 \pm 0.04) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$

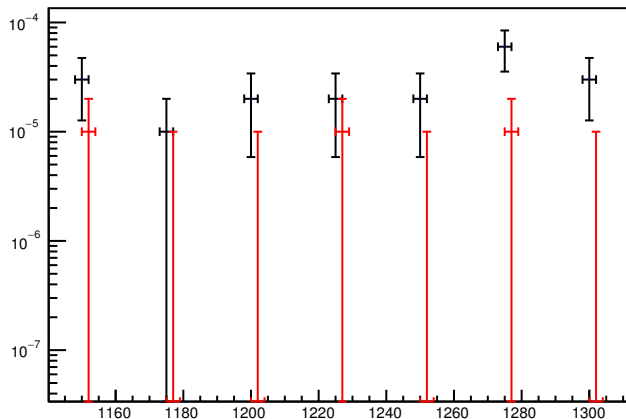
BAF3063 GAIN



BAF3063 Accuracy

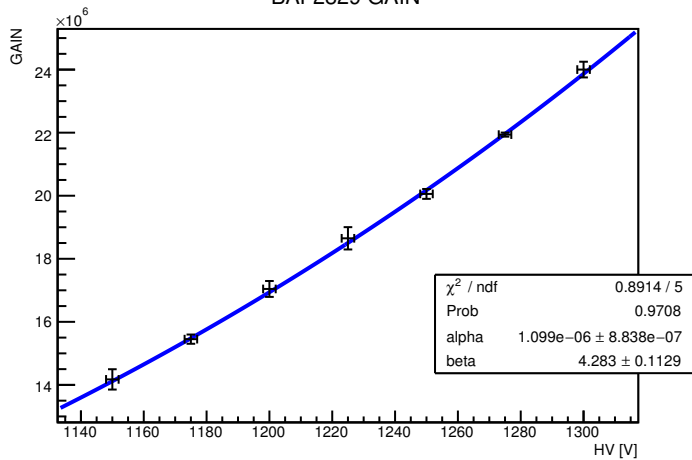


BAF3063 Noise ratio

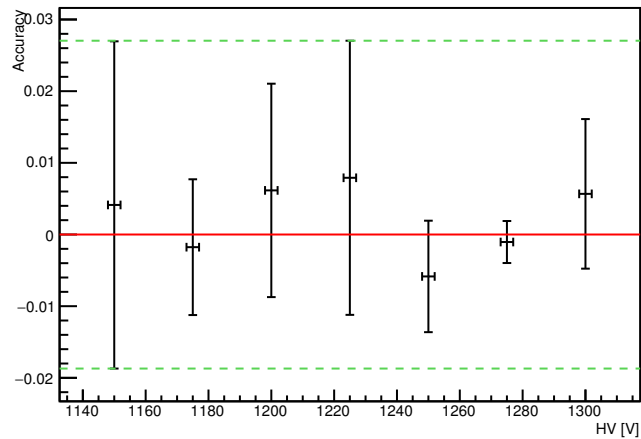


HV	Gain	Noise Ratio
1150	$(1.45 \pm 0.04) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1175	$(1.60 \pm 0.03) \times 10^7$	$(1.00 \pm 1.00) \times 10^{-5}$
1200	$(1.77 \pm 0.05) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1225	$(1.97 \pm 0.03) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1250	$(2.13 \pm 0.01) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1275	$(2.36 \pm 0.05) \times 10^7$	$(6.00 \pm 2.45) \times 10^{-5}$
1300	$(2.57 \pm 0.04) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$

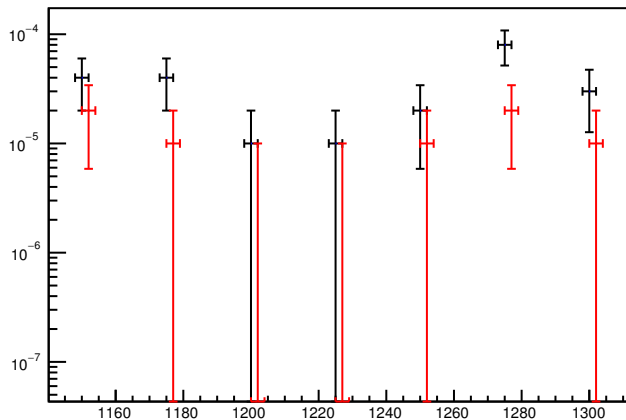
BAF2829 GAIN



BAF2829 Accuracy

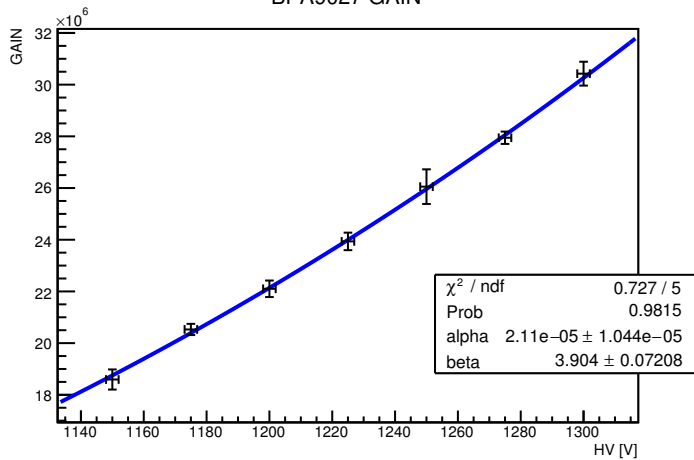


BAF2829 Noise ratio

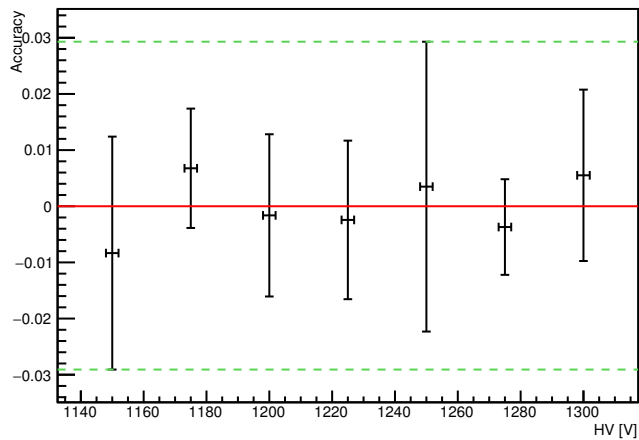


HV	Gain	Noise Ratio
1150	$(1.42 \pm 0.03) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1175	$(1.55 \pm 0.01) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1200	$(1.70 \pm 0.03) \times 10^7$	$(1.00 \pm 1.00) \times 10^{-5}$
1225	$(1.86 \pm 0.04) \times 10^7$	$(1.00 \pm 1.00) \times 10^{-5}$
1250	$(2.01 \pm 0.02) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1275	$(2.19 \pm 0.01) \times 10^7$	$(8.00 \pm 2.83) \times 10^{-5}$
1300	$(2.40 \pm 0.02) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$

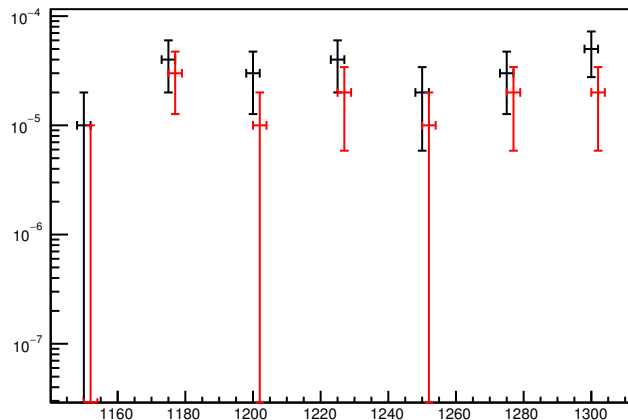
BPA9027 GAIN



BPA9027 Accuracy

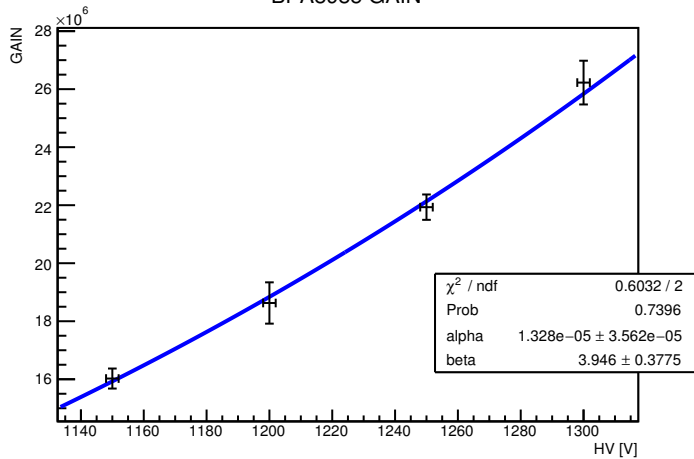


BPA9027 Noise ratio

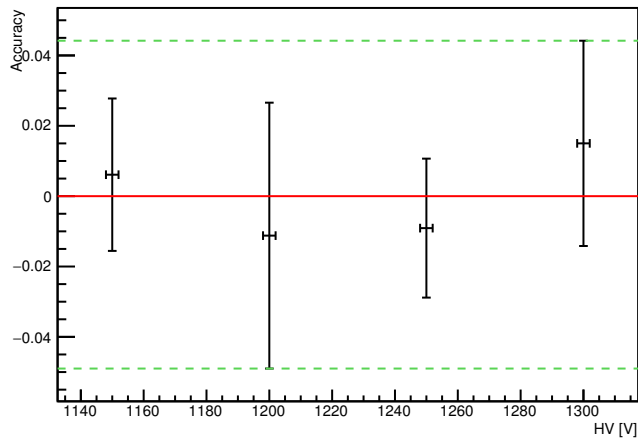


HV	Gain	Noise Ratio
1150	$(1.86 \pm 0.04) \times 10^7$	$(1.00 \pm 1.00) \times 10^{-5}$
1175	$(2.05 \pm 0.02) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1200	$(2.21 \pm 0.03) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1225	$(2.39 \pm 0.03) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1250	$(2.61 \pm 0.07) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1275	$(2.79 \pm 0.02) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1300	$(3.04 \pm 0.05) \times 10^7$	$(5.00 \pm 2.24) \times 10^{-5}$

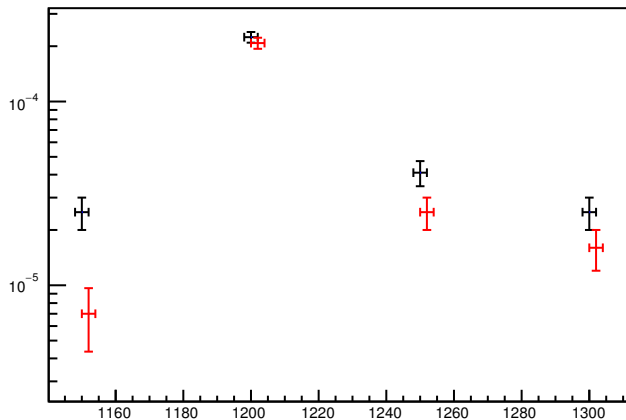
BPA8985 GAIN



BPA8985 Accuracy



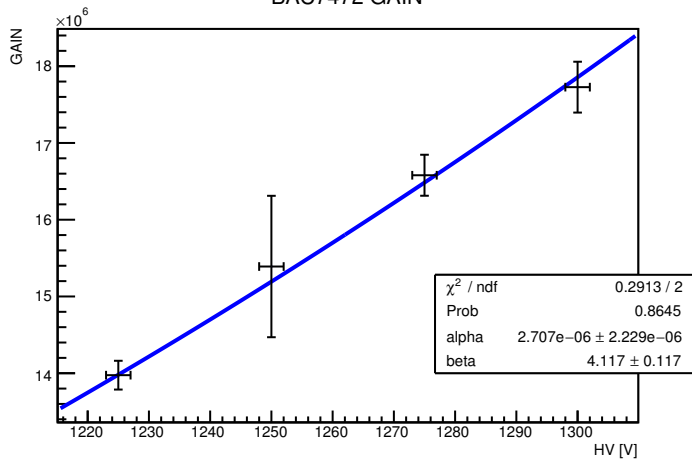
BPA8985 Noise ratio



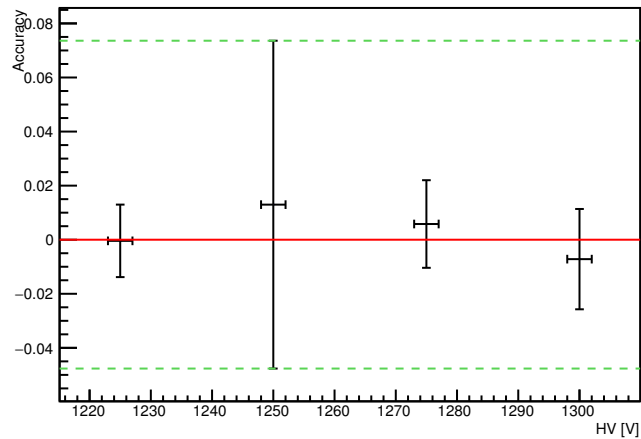
HV Gain Noise Ratio

HV	Gain	Noise Ratio
1150	$(1.60 \pm 0.03) \times 10^7$	$(2.50 \pm 0.50) \times 10^{-5}$
1200	$(1.86 \pm 0.07) \times 10^7$	$(22.40 \pm 1.50) \times 10^{-5}$
1250	$(2.19 \pm 0.04) \times 10^7$	$(4.10 \pm 0.64) \times 10^{-5}$
1300	$(2.62 \pm 0.08) \times 10^7$	$(2.50 \pm 0.50) \times 10^{-5}$

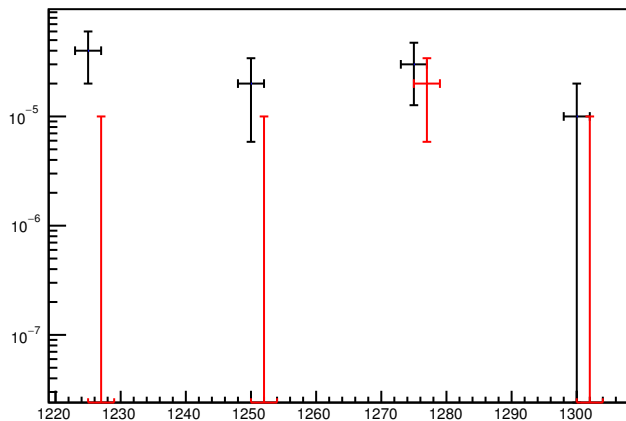
BAC7472 GAIN



BAC7472 Accuracy

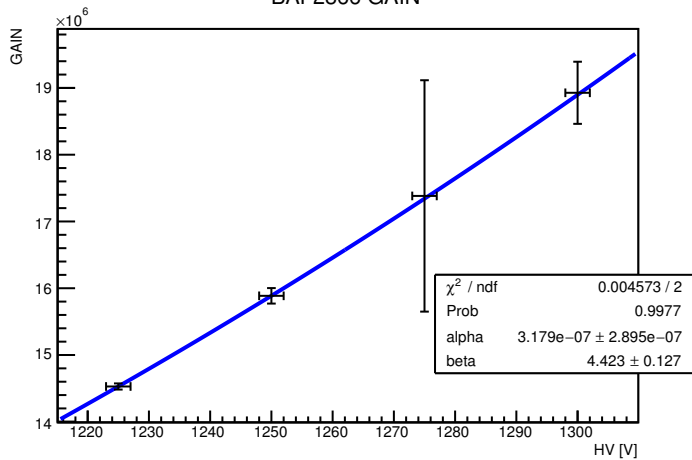


BAC7472 Noise ratio

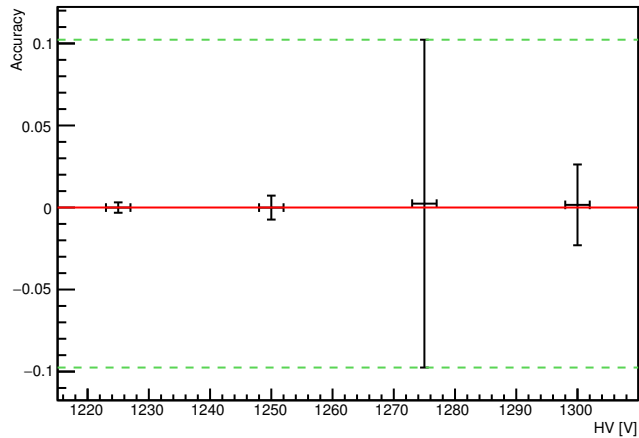


HV	Gain	Noise Ratio
1225	$(1.40 \pm 0.02) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1250	$(1.54 \pm 0.09) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1275	$(1.66 \pm 0.03) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1300	$(1.77 \pm 0.03) \times 10^7$	$(1.00 \pm 1.00) \times 10^{-5}$

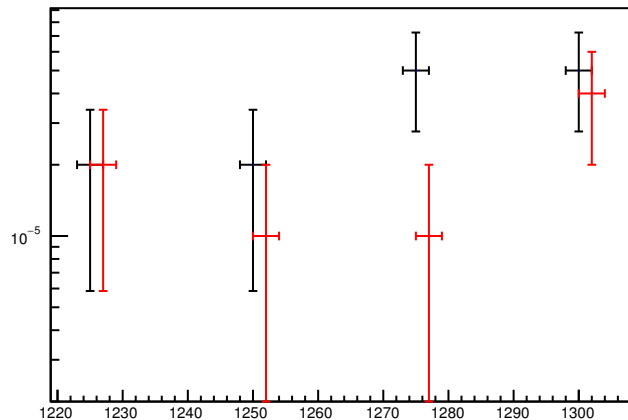
BAF2866 GAIN



BAF2866 Accuracy



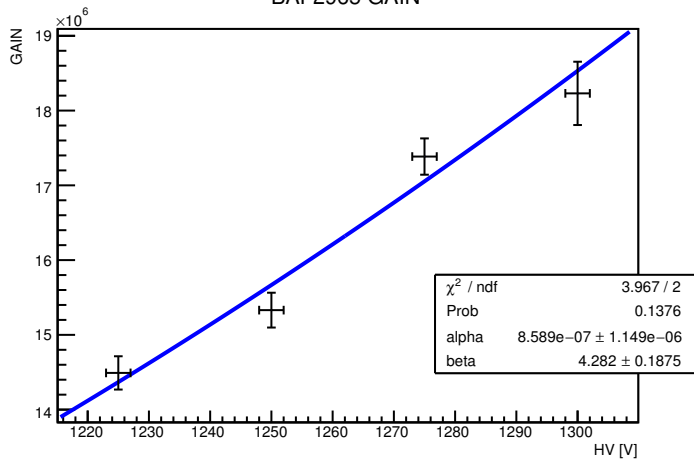
BAF2866 Noise ratio



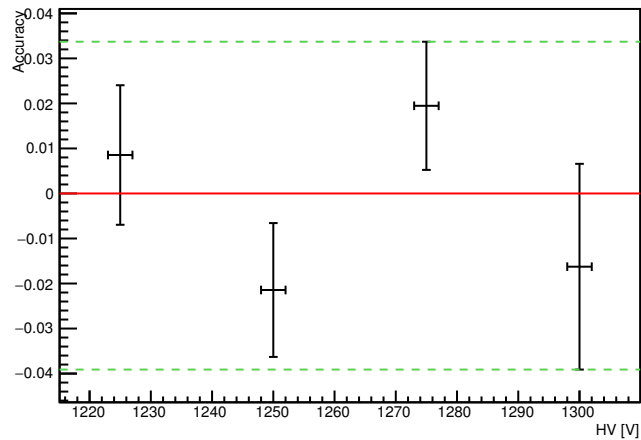
HV Gain Noise Ratio

HV	Gain	Noise Ratio
1225	$(1.45 \pm 0.00) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1250	$(1.59 \pm 0.01) \times 10^7$	$(2.00 \pm 1.41) \times 10^{-5}$
1275	$(1.74 \pm 0.17) \times 10^7$	$(5.00 \pm 2.24) \times 10^{-5}$
1300	$(1.89 \pm 0.05) \times 10^7$	$(5.00 \pm 2.24) \times 10^{-5}$

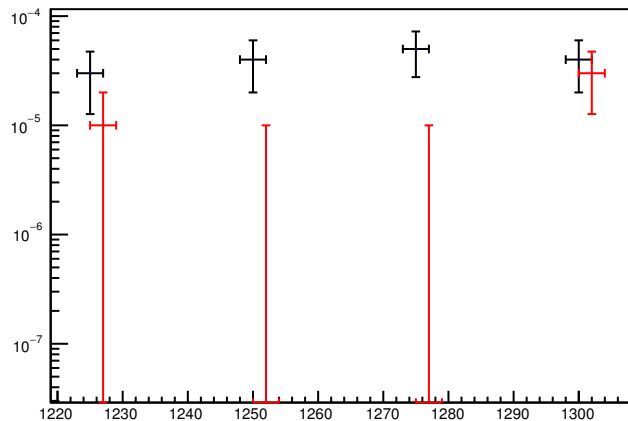
BAF2965 GAIN



BAF2965 Accuracy



BAF2965 Noise ratio



HV	Gain	Noise Ratio
1225	$(1.45 \pm 0.02) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1250	$(1.53 \pm 0.02) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1275	$(1.74 \pm 0.02) \times 10^7$	$(5.00 \pm 2.24) \times 10^{-5}$
1300	$(1.82 \pm 0.04) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$

HV	Gain	Noise Ratio
1225	$(1.45 \pm 0.02) \times 10^7$	$(3.00 \pm 1.73) \times 10^{-5}$
1250	$(1.53 \pm 0.02) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$
1275	$(1.74 \pm 0.02) \times 10^7$	$(5.00 \pm 2.24) \times 10^{-5}$
1300	$(1.82 \pm 0.04) \times 10^7$	$(4.00 \pm 2.00) \times 10^{-5}$