

G-M 计数管实验数据处理

储冬玮 10300190080

一、GM 计数管的坪特性曲线

进入计数管的放射性粒子不变的情况下，改变加在计数管电极上的电压，由计数管记录相应的计数率（单位时间的技术次数）得到坪特性曲线。

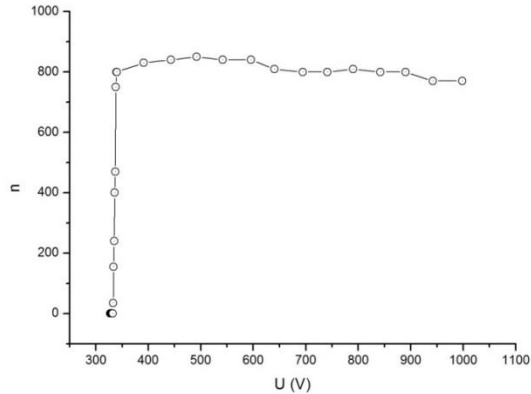


图 1 GM 计数管坪特性曲线（无微分）

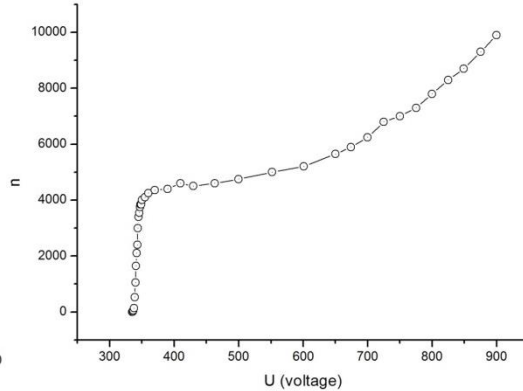


图 2 GM 计数管坪特性曲线（微分 I）

如图 1：计数率通过多功能脉冲计数分析仪的示数读出

X 射线：U=15.3kV，I=0.46mA

输出电阻=1k Ω ，增益=50，微分=max，积分=0

如图 2：计数率通过多功能脉冲计数分析仪将数据输入电脑后读出（*大于 1000 的示数在分析仪上无法显示）

X 射线：U=20.0kV，I=0.98mA

输出电阻=5k Ω ，增益=50，微分=I，积分=0

分析：

图 1 无微分：第一次实验 X 射线高压为 17.2kV，I=0.46mA，由于 X 射线过强，计数率在电压大于 337V 时，计数率为 1000 或 2000 这两个数值，计数率超过了测量阈值，所以电压大于 337V 时的计数率的值出现问题。第二次实验降低 X 射线高压，保持电流不变。得出计数器的坪特性曲线。理论上，坪坡度【由于多次计数的增加和计数管灵敏体积的增大(末端效应)】的斜率会大于零，可是实验的结果却是坪区有下落趋势。可能是由于增大计数管电极上的电压后，脉冲波形的宽度增加，脉冲重叠后计数器无法分辨单个脉冲，对重叠的两个或两个以上脉冲只计数一次，使得在盖革区出现电压增大计数率反而减小的现象。

图 2 微分 I：加上微分电路后的坪特性曲线在盖革区有了上升趋势，这是由于微分电路使得每个脉冲信号的变窄，计数器更容易辨别重叠在一起的脉冲，减少了漏计数，使计数更加准确。

二、采样电阻、电源电压对 GM 计数器输出脉冲波形的影响

1、电源电压对 GM 计数器输出脉冲波形的影响

改变电源电压，R=5k Ω ，增益 2.5×20

U1 到 U13 电源电压增大，得到如下图的脉冲波形。

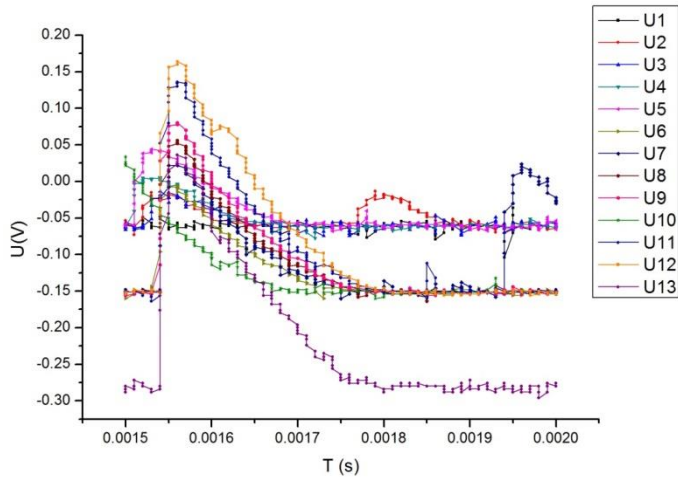


图3 不同电源电压下脉冲原始波形图

由于量程增大,所以出现三段图像。1-5 为 20.0mV 每格,6-12 为 50.0mV 每格,13 为 100.0mV 每格。起始位置在-3 格处,因此三种量程对应的初始电压值为-60.0mV、-150 mV、-300mV (-280mV),因此三组值同时减去初始值后作图。

波形呈锯齿状是由于设备记录时间只能保存三位有效数字,因此出现同一个 x 值对应多个 y 值。重新调整横坐标数值后得到如下图:

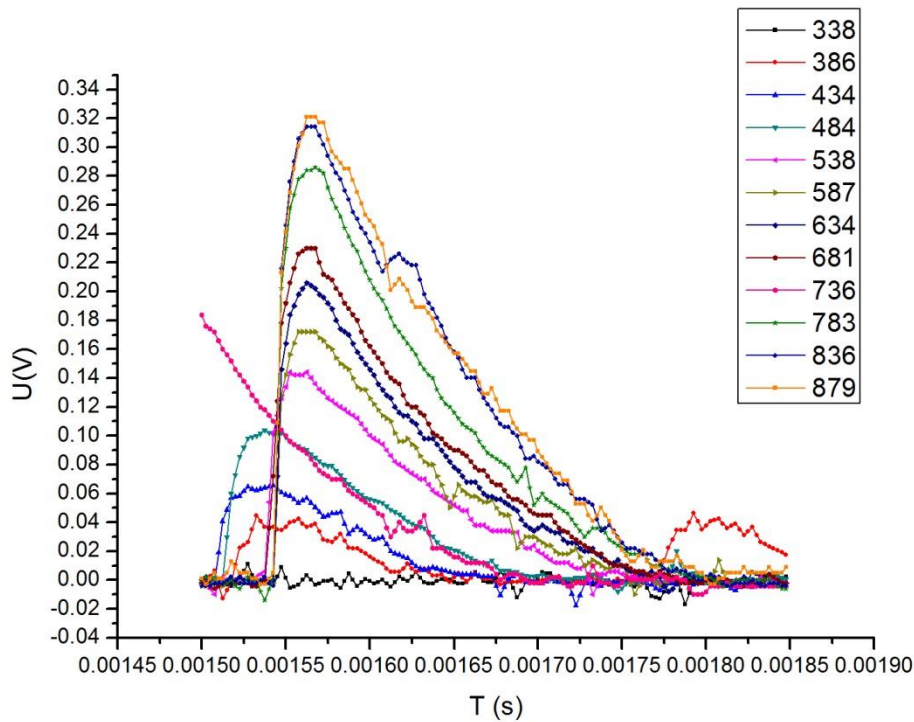


图4 不同电源电压下脉冲波形图

分析:

随着电源电压的增大,脉冲波形的幅度会增大,宽度也会增大。

增大计数管电极上的电压,进入计数管的射线产生的电子数目增加,电子迅速到达阳极后让阳极电位下降得更多,使得在阳极周围形成的“正离子鞘”,从阳极到达阴极的速度变慢,消耗时间增长。因此,阳极上得到的负电压脉冲的幅度更高,脉冲的宽度也更大。

2、采样电阻对 GM 计数器输出脉冲波形的影响

改变采样电阻(N: 1-200 对应时间 0.0015-0.002s)

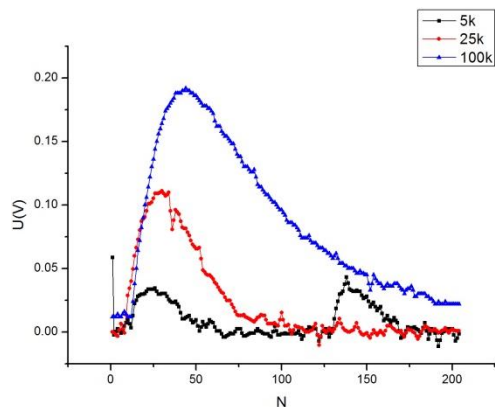


图 5 不同采样电阻下的脉冲波形 (376V)

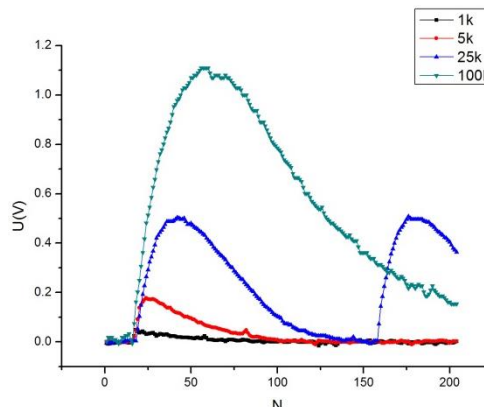


图 6 不同采样电阻下的脉冲波形 (586V)

在电源电压为 376V 时 1KΩ 电阻对应的脉冲幅度过小淹没于噪声, 因此增大电源电压测了两组图。

随着采样电阻的增大, 脉冲波形的幅度会增大, 宽度也会增加。

计数管可以看作是一个电容器, 电源电压通过采样电阻向计数管充电, 增加采样电阻会使得充电电流减小, 充电变慢, 而延长了充电时间, 因此脉冲宽度增加。

脉冲幅度增大?

三、放大、微分、积分过程对脉冲特性的影响

1) 微分 (N: 1-500 对应时间 0.001-0.0015s)

微分过程是作用于放大信号的。

原始图像如下

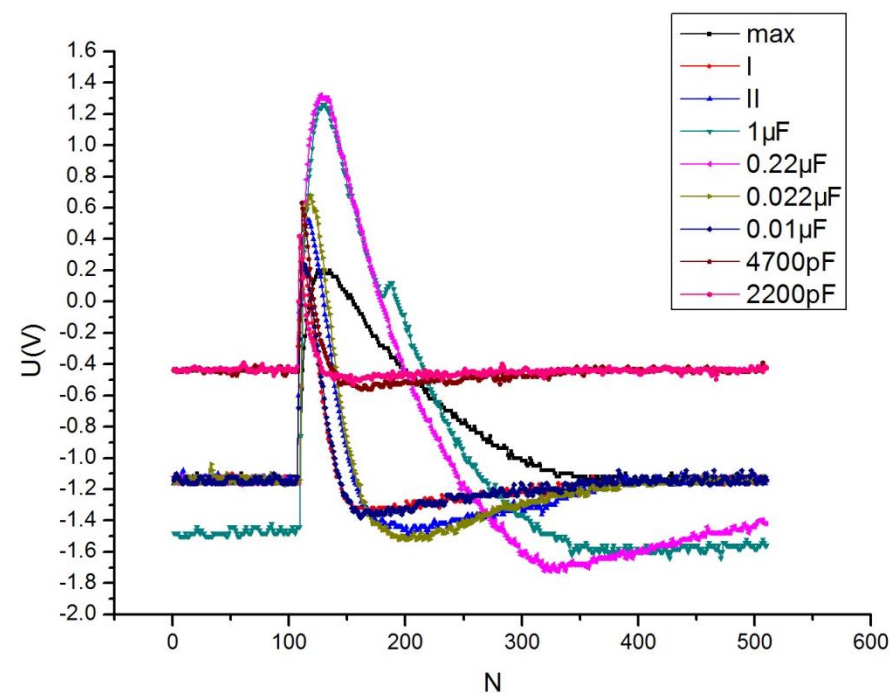


图 7 微分过程对脉冲特性的影响 (原始数据)

其中前 7 组电压为 500mV 每格, 后两组为 200mV 每格。因此两种量程对应的初始电压值为 -1.15V 和 -0.440V, 因此两组值同时减去初始值后作图。

外加电容:

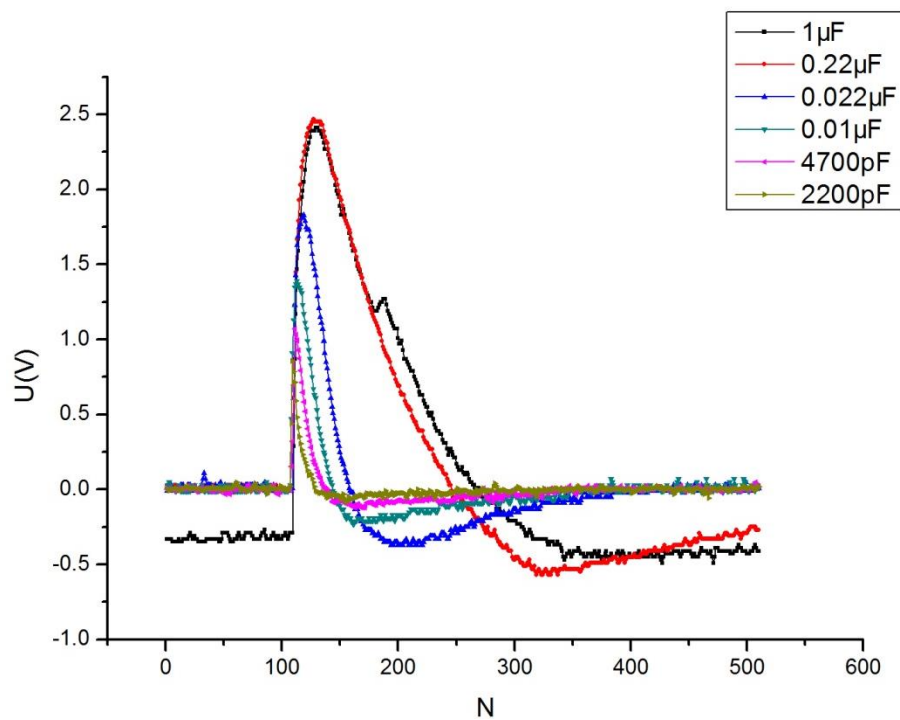
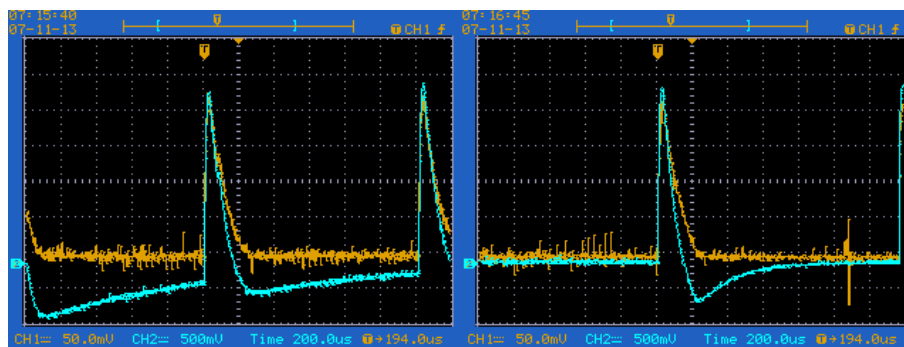


图 8 不同电容下的脉冲波形（调整后）

调整后发现 $1\mu\text{F}$ 的电容的脉冲相比其他电容的起始电压值更低。示波器上图像如下，左侧为 $1\mu\text{F}$ 的图像，右侧为 $0.22\mu\text{F}$ 的图像。而从信源 2 的零电平箭头符号可以发现，这个实验中并未改变 CH2 信号的水平位置。



调整 $1\mu\text{F}$ 的数据电压值后得到

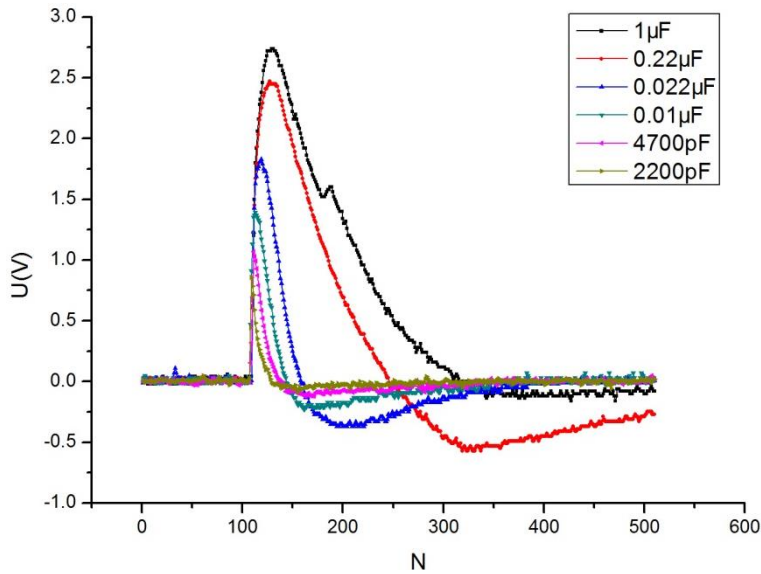


图 9 不同电容下微分后的脉冲波形（再次调整后）

微分-旋钮:

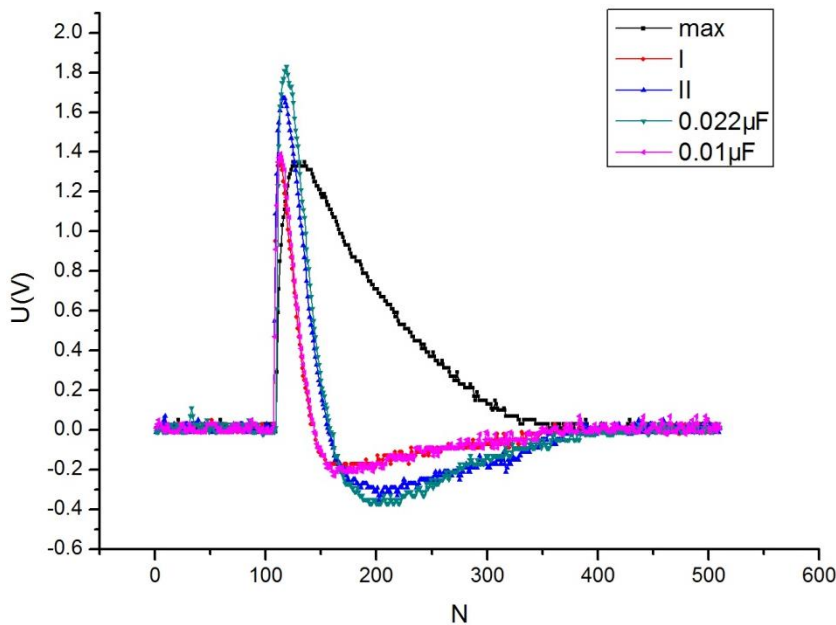


图 10 不同微分档下的脉冲波形

由上图可以看出，I 对应的电容值约为 $0.1 \mu\text{F}$ ，II 对应的电容值略小于 $0.022 \mu\text{F}$ 。

分析：

随着电容值的增大，得到的放大信号的脉冲幅度增大，宽度变宽。

微分电路：输出电压与输入电压的变化率成正比的电路。微分电路只反映输入波形的突变部分，输出的尖脉冲宽度与 RC （电路的时间常数）有关，因此电容值越大， RC 越大，尖脉冲波形越宽。

加上微分过程后脉冲电压变为 $u_0 = RC \frac{du_i}{dt}$ ，增大电容 C ， u_0 会随着增大，因此脉冲幅度增大。

2) 积分 (N: 1-500 对应时间 0.001-0.0015s)

外加电容

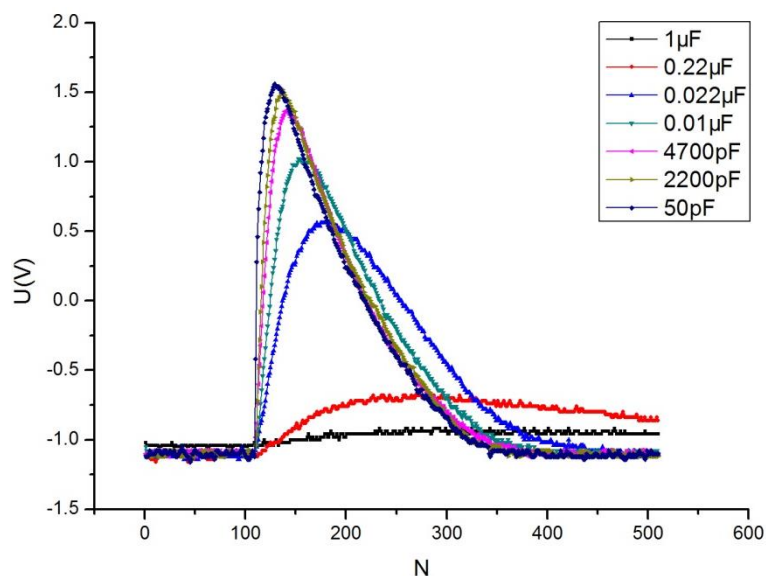


图 11 不同电容下积分后的脉冲波形

积分旋钮

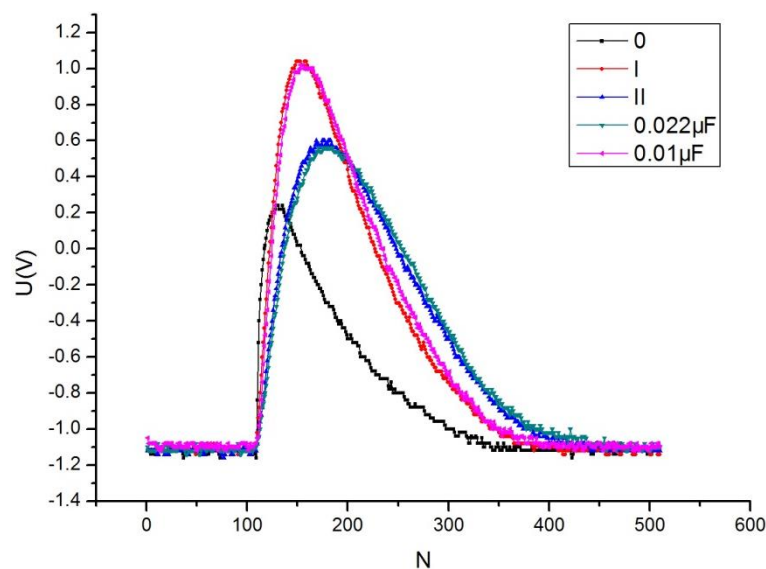


图 12 不同积分档下的脉冲波形

由上图可以看出，I 对应的电容值约为 $0.1 \mu F$ ，II 对应的电容值约为 $0.022 \mu F$ 。

分析：

随着电容值的减小，得到的放大信号的脉冲幅度增大，波形变尖，宽度变窄。

积分电路：输出电压与输入电压的时间积分成正比的电路。

加上积分过程后脉冲电压变为 $u_0 = \frac{1}{RC} \int u_i dt$ ，减小电容 C ， u_0 会随着增大，因此脉冲幅度增大。

脉冲宽度变窄？

四、死时间的测量（示波器法）

图号	电压 HV/V	R/ Ω	微分	积分	死时间
1	400	1k	max	0	80 μs
2	400	5k	max	0	75 μs

3	400	25k	max	0	?
4	400	100k	max	0	?
5	406	5k	max	0	80 μ s
6	604	5k	max	0	?

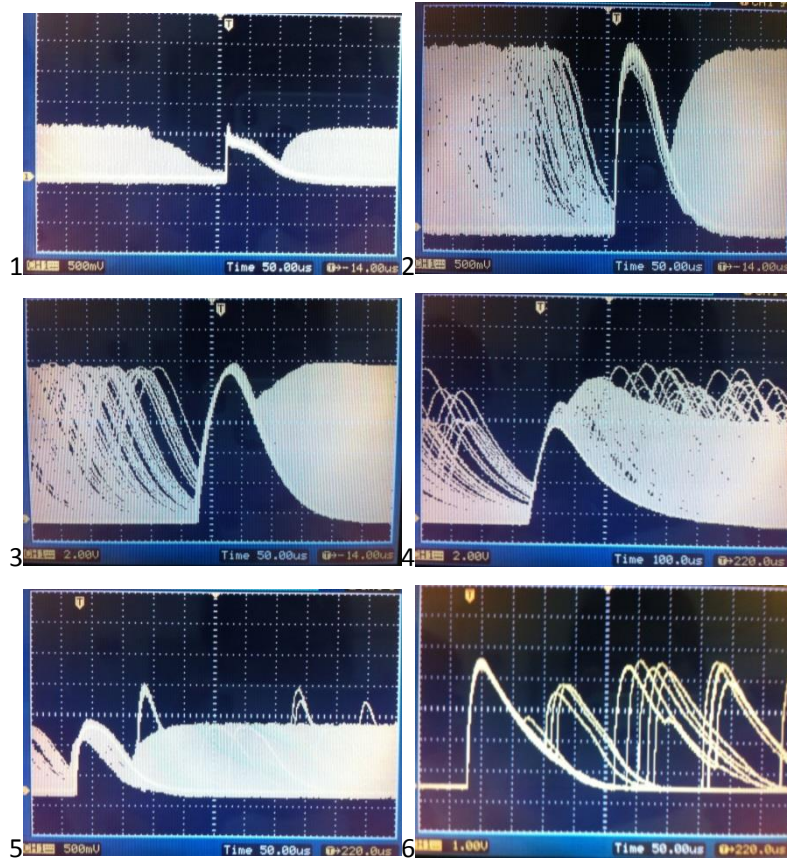


图 13 示波器法测死时间（脉冲包迹图）

用示波器法很难准确读出死时间。图 1-4 依次增大采样电阻，图 1、2 勉强可以估读，图 3、4 死时间过小，根本无法估读。增大了电压后如图 5、6，又无法形成稳定的小脉冲包迹图像。

五、脉冲不经微分和经过微分两种情况下，计数率与 X 光管工作电流的关系

(1) 如下图左，多功能脉冲计数分析仪：采样电阻 $R=1k\Omega$ ，高压 $HV=393V$ ；X 射线 $20.0kV$ 。黑色点为微分档为 max，红色点为微分档为 II。

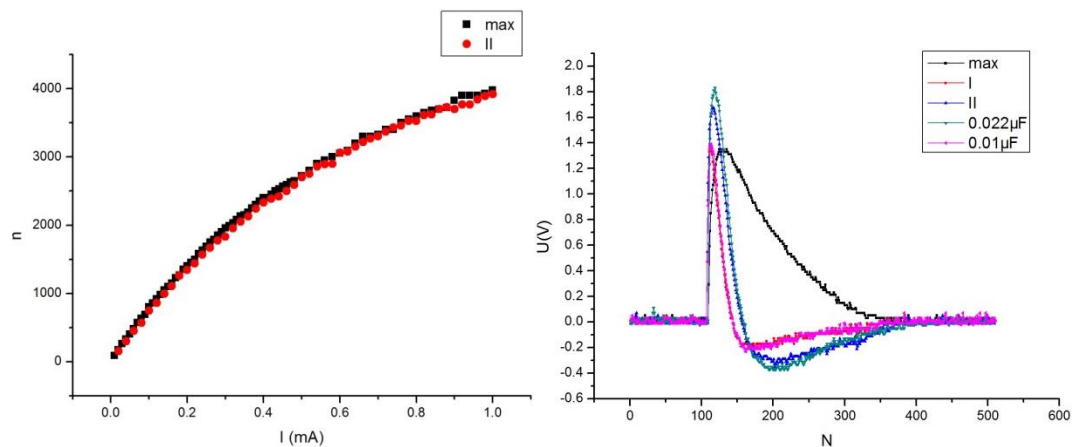


图 14 微分 max 和 II 档下的计数率与工作电流关系图

在这种条件下微分 II 与无微分条件下的计数率几乎没有区别。

分辨时间与加在计数管上的电压和负载电阻有关，电阻越小，分辨时间越小。可能由于电阻较小，分辨时间已经与死时间很接近了，因此经过放大后的脉冲信号已经能比较全地被计数管计数，漏计数本来就很小，因而微分没有明显的减小漏计数的作用。但是微分 I 档有如下问题：

微分 I 档时， $I=1.0\text{mA}$ 时， n 为个位数。由上图右可以看出微分 I 下的放大脉冲波形的宽度和幅度要小于微分 II，可能经微分 I 处理后的放大脉冲过小不能全部被计数管计数。

(2) 如下图，多功能脉冲计数分析仪：采样电阻 $R=5\text{k}\Omega$ ，高压 $HV=393\text{V}$ ；X 射线 20.0kV 。黑色点为微分档为 max，红色点为微分档为 I。

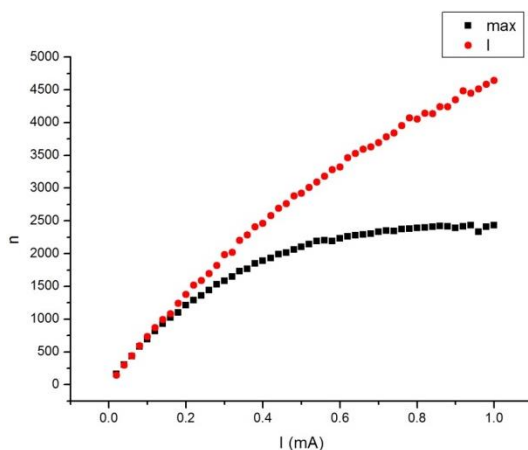


图 15 微分 max 和 I 档下的计数率与工作电流关系图

增大负载电阻，延长是分辨时间，使得分辨时间更大地多于死时间，这样可以更加明显地观测出微分前后的差异。

明显地，经过微分的脉冲信号能被计数管更多地计数。是由于微分电路使得脉冲信号变窄，计数管能够分辨出原来叠加在一起的脉冲，从而更准确地计数，减少漏计数。

(3) 计数率修正

由于分辨时间导致的漏计数的存在，经过微分后的计数率与工作电流关系曲线仍偏离理论的线性关系，因此需要多计数率进行修正。

计数率修正公式

$$n = \frac{aI + b}{1 + (aI + b)t}, \quad N = aI + b$$

式中， n 为实际测量得到的计数率， I 为 X 光管工作电流， N 为没有漏计数时的计数率（与 X 光管工作电流 I 成线性关系）， t 为分辨时间，是计数管的一个重要特性。

拟合结果如下：

Adj. n-Square=0.99954

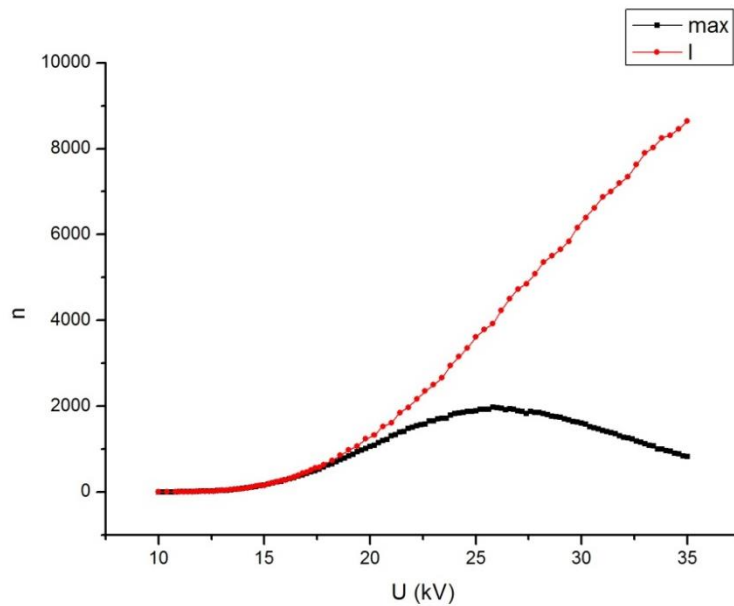
	Value	Standard Error
a	7886.46745	47.6145
b	0	0
t	8.79087E-5	1.08166E-6

$$n = \frac{7.89 \times 10^3 \cdot I}{(1 + 7.89 \times 10^3 \cdot I) \times 8.79 \times 10^{-5}}$$

因此，分辨时间为 $8.79 \times 10^{-5}\text{s}$ 。

六、脉冲不经微分和经过微分两种情况下，计数率与 X 光管工作电压的关系

(1) 如下图左，多功能脉冲计数分析仪：采样电阻 $R=5k\Omega$ ，高压 $HV=593V$ ，增益 $2*1.5$ ；X 射线 $0.10mA$ 。黑色点为微分档为 max，红色点为微分档为 I。



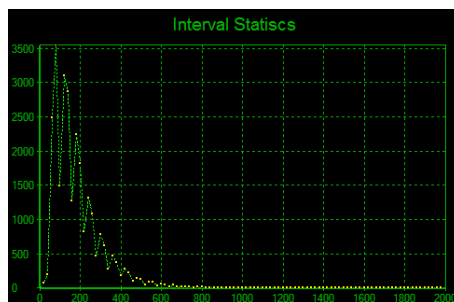
? 阈值电压 $0.6V$ ，增大增益，计数率涨落减小。

Problem: X 光在 $15.0kV$, $0.10mA$ ，当增益最大 ($50*2.5$) 时，在高压大于 $490V$ 条件下，微分 max 的计数率总大于微分档，例： $HV=497V$ ，微分 max 档计数率为 1000 ，微分 I 档计数率为 300 。

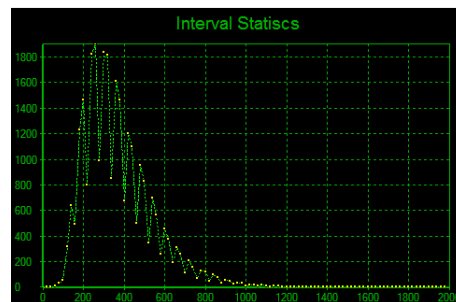
解释：由于增益后，脉冲信号和噪声同时被放大，在 max 档脉冲信号和噪声均被计数；加上微分后，噪声信号经微分后减弱，被计数的噪声信号减少使微分档的计数率小于 max 档。

七、放射性测量数据分布规律检验

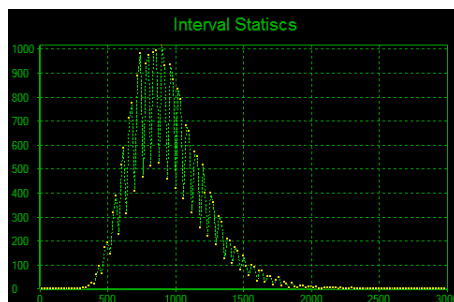
X 射线： $24.9kV, 0.20mA$ ；多功能脉冲计数分析仪： $HV=448V$ ， $R=5k\Omega$ ，增益 $20*2.5$ ，微分 I



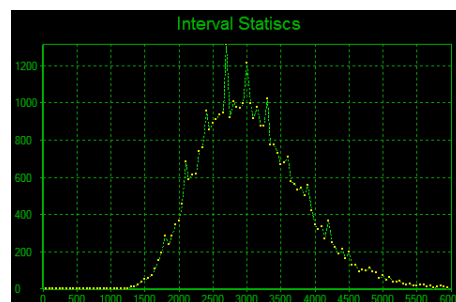
$\Delta t=20\mu s$, $n=1$, $T_{max}=2000\mu s$



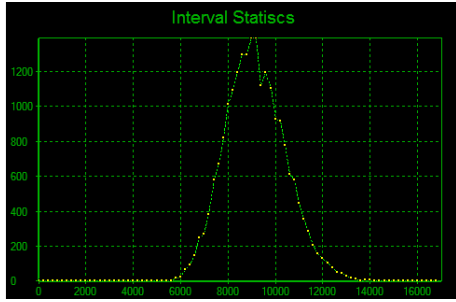
$\Delta t=20\mu s$, $n=2$, $T_{max}=2000\mu s$



$\Delta t=20\mu s$, $n=5$, $T_{max}=3000\mu s$



$\Delta t=50\mu s$, $n=10$, $T_{max}=6000\mu s$

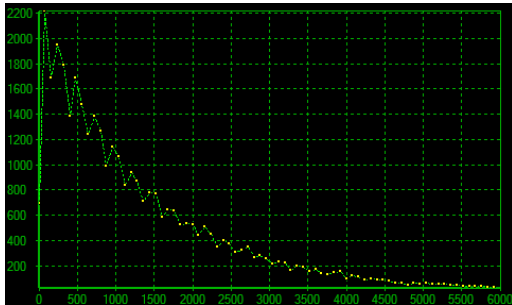


$\Delta t=200 \mu s$, $n=30$, $T_{max}=17000 \mu s$

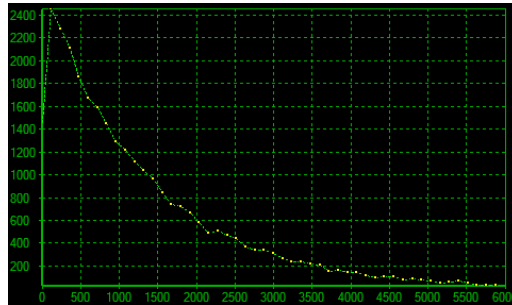
时间间隔过小, 脉冲过密, 骑墙数在计数时总是归为相邻区间的某一边, 因此会出现锯齿状。下面会有具体分析。

(一) Δt 对统计的影响

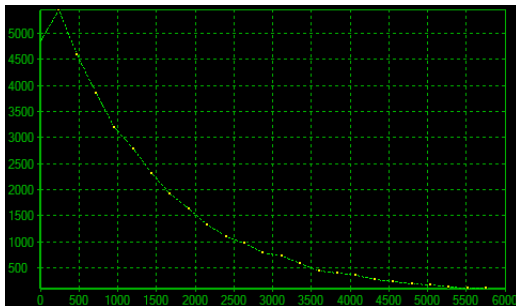
X 射线: 0.10mA, 18.0kV; 分析仪: 602V, 5k Ω , 增益 20*2.5, 微分 I, 平均计数率 700
 $n=1$, $T_{max}=6000 \mu s$



$\Delta t=80 \mu s$



$\Delta t=120 \mu s$



$\Delta t=240 \mu s$

从上图可以看出, $\Delta t=80 \mu s$ 时, 每三个数据点一次波动。但是将 Δt 换成 $120 \mu s$ 的整数倍后没有了规律性的波动。

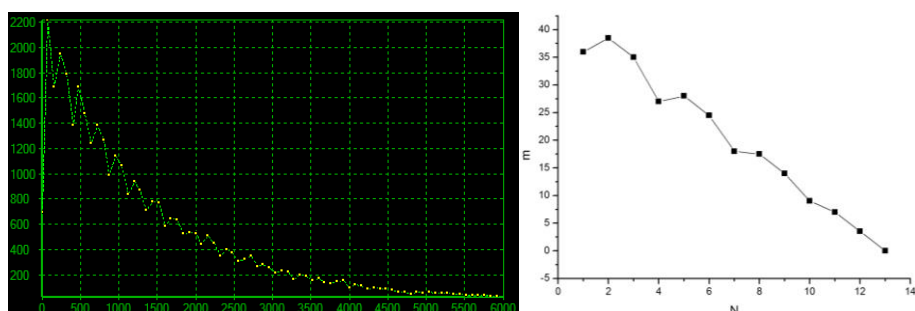
分析:

计算发现, 实验获得的所有数据的最大公约数为 12, 下面通过计算来解释为什么当分组的间隔不是 12 的整数倍时会出现每组数据个数涨落正负规律交替的现象。

例子一: $\Delta t=80 \mu s$

分组范围	被归入的数	数目
0-80	12, 24, 36, 48, 60, 72	6
80-160	84, 96, 108, 120, 132, 144, 156	7
160-240	168, 180, 192, 204, 216, 228, 240	7
240-320	252, 264, 276, 288, 300, 312	6
320-400	324, 336, 348, 360, 372, 384, 396	7

400-480	408, 420, 432, 444, 456, 468, 480	7
480-560	492, 504, 516, 528, 540, 552	6
560-640	564, 576, 588, 600, 612, 624, 636	7
640-720	648, 660, 672, 684, 696, 708, 720	7
720-800	732, 744, 756, 768, 780, 792	6
800-880	804, 816, 828, 840, 852, 864, 876	7
880-960	888, 900, 912, 924, 936, 948, 960	7
960-1040	972, 984, 996, 1008, 1020, 1032	6



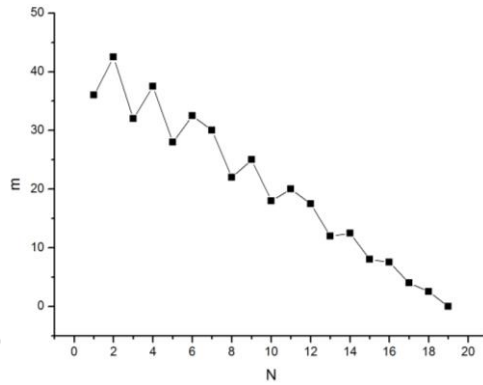
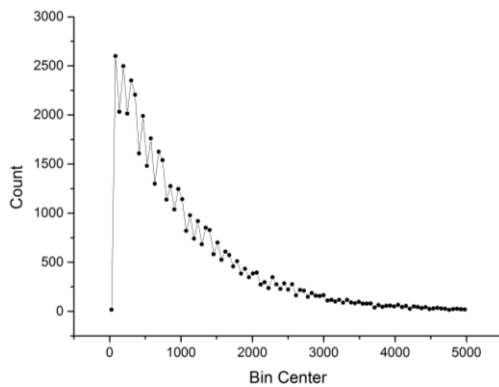
计数器在计数时会均匀地将各个数据归于最接近的 12 的整数倍值，如上表，当以 80 为间隔分组，虽然分组间隔是均匀的，但是被分到每个组的 12 的整数倍的数的数目却不是相等的，按照 6-7-7 的规律排列。如果按照这个分组规律，即使数据为一组连续排列的 12 倍数，得到的“概率-组”关系曲线也不会是一条直线。

如果假设有一组数均匀分组后，每组数按照组号的增加，对应的理论概率（权重）线性减小，但是由于 6-7-7 的排列规律，使得对应组的实际概率等于理论概率周期性地乘以 6-7-7。如上图右是以“每组分得的数据个数和每组理论概率的乘积”为纵坐标，以组号为横坐标做的曲线，与上图左的 $\Delta t=80 \mu s$ 的时间分布曲线的形状趋势基本一致，验证了上述的解释。

例子二： $\Delta t=55 \mu s$

分组范围	被归入的数	数目
0-55	12, 24, 36, 48	4
55-110	60, 72, 84, 96, 108	5
110-165	120, 132, 144, 156	4
165-220	168, 180, 192, 204	5
220-275	216, 228, 240, 252, 264	4
275-330	276, 288, 300, 312, 324	5
330-385	336, 348, 360, 372, 384	5
385-440	396, 408, 420, 432	4
440-495	444, 456, 468, 480, 492	5
495-550	504, 516, 528, 540	4
550-605	552, 564, 576, 588, 600	5
605-660	612, 624, 636, 648, 660	5
660-715	672, 684, 696, 708	4
715-770	720, 732, 744, 756, 768	5
770-825	780, 792, 804, 816	4
880-880	828, 840, 852, 864, 876	5
880-935	888, 900, 912, 924	4

935-990	936, 948, 960, 972, 984	5
990-1045	996, 1008, 1020, 1032, 1044	5

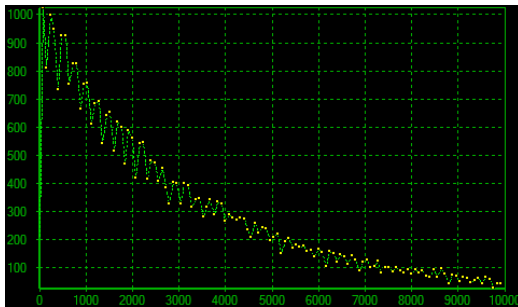


同上述解释，上图左为 $\Delta t=80 \mu s$ 的时间分布曲线。上图右是以“每组分得的数据个数和每组理论概率的乘积”为纵坐标，以组号为横坐标做的曲线，与上图左的形状趋势基本一致，也同样验证了上述的解释。

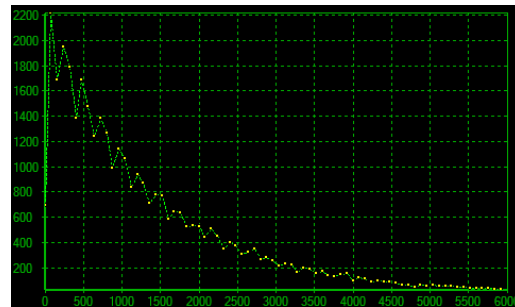
(二) Tmax 对统计的影响

(1) X射线: 0.10mA, 17.0kV; 分析仪: 602V, 5k Ω , 增益 50, 微分 I, 平均计数率<700

$\Delta t=80 \mu s, n=1$



Tmax=10000 μs

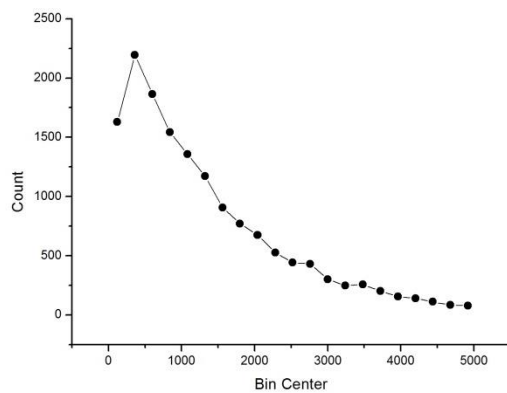


Tmax=6000 μs

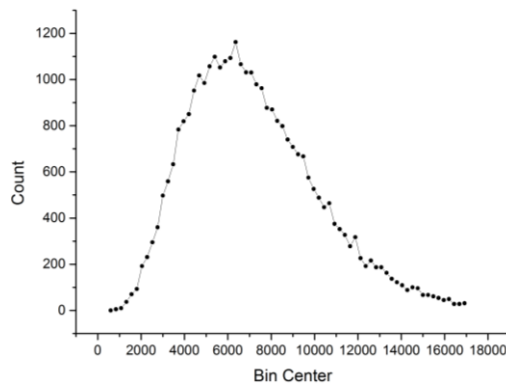
减小平均计数率仍会有波动。

(2) X射线: 0.10mA, 18.0kV; 分析仪: 602V, 5k Ω , 增益 50, 微分 I, 平均计数率 700

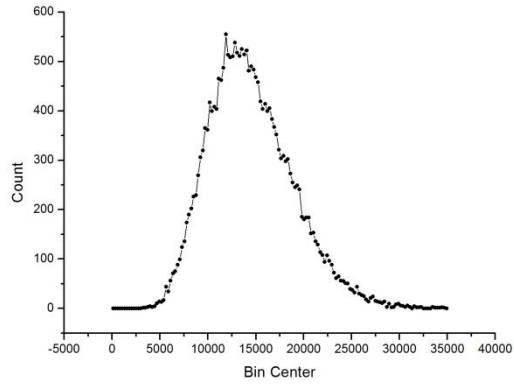
$\Delta t=240 \mu s$



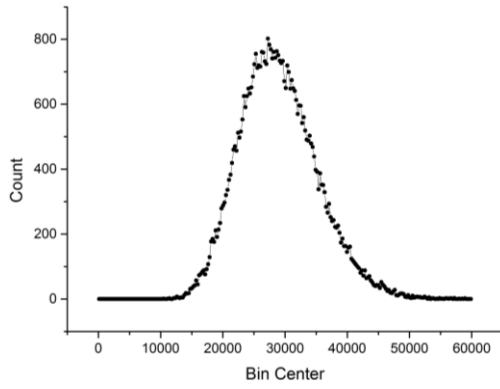
n=1, Tmax=5000 μs



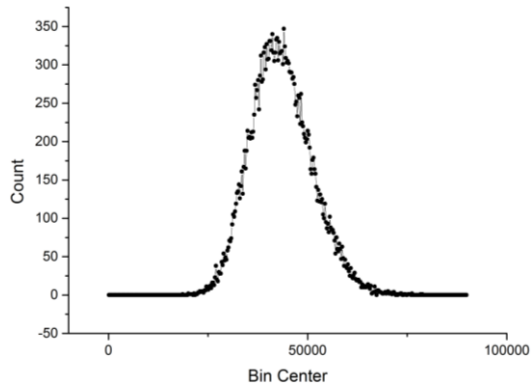
n=5, Tmax=17000 μs



$n=10, T_{max}=35000 \mu s$

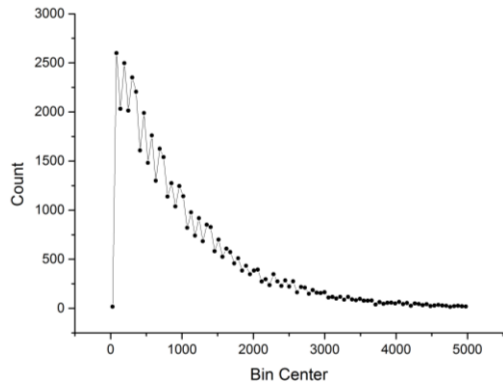


$n=20, T_{max}=60000 \mu s$

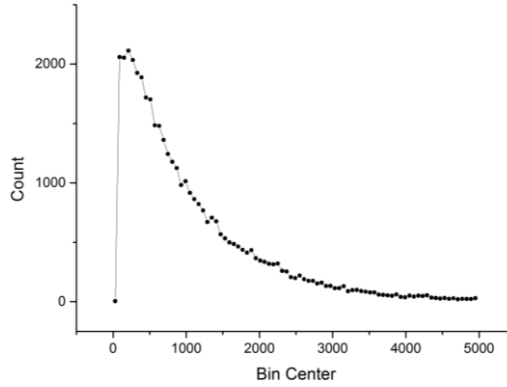


$n=30, T_{max}=90000 \mu s$

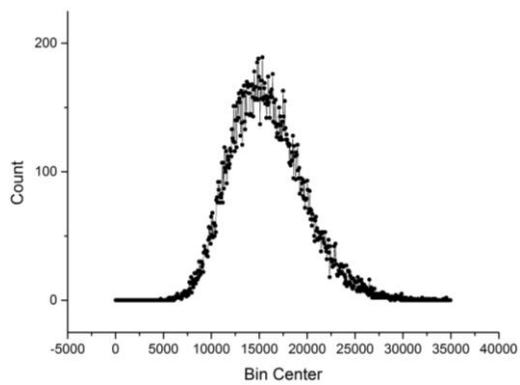
(二) 正态分布、泊松分布检验



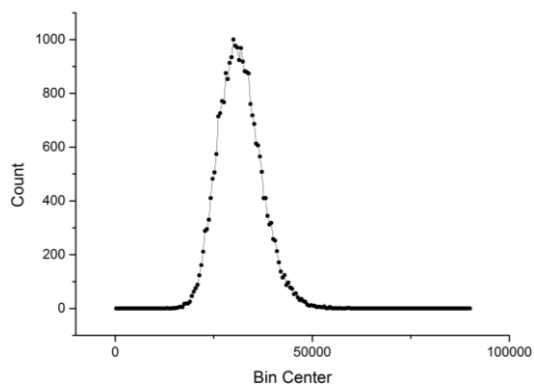
$n=1, \Delta t=55$



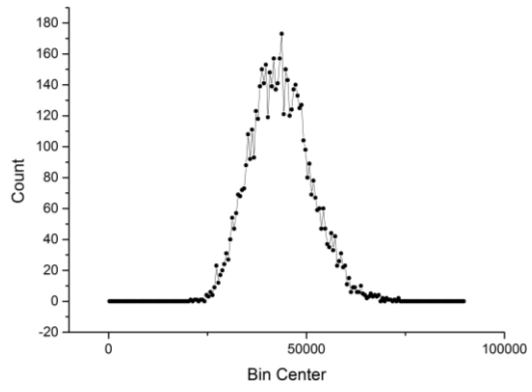
$n=1, \Delta t=60$



$n=15, \Delta t=60$



$n=30, \Delta t=480$



$n=30, \Delta t=500$