



2023年校园宇宙线观测暑期学校

探索宇宙 从宇宙线观测开始

8月24-27日 成都

主办单位

校园宇宙线观测联盟

承办单位

《现代物理知识》编辑部 西南交通大学物理科学与技术学院

支持单位



国科大关心下一代工作委员会



中国科学院大学教育基金会
University of Chinese Academy of Sciences Education Foundation



国家高能物理科学数据中心
National HEP Data Center



校园宇宙线联盟

Campus Cosmic-ray Observation Collaboration

缪子寿命测量--数据分析

中国科学院高能物理研究所

校园宇宙线观测联盟技术组

张笑鹏，刘佳，马玲玲

主要内容

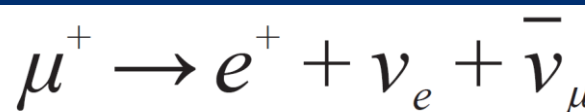
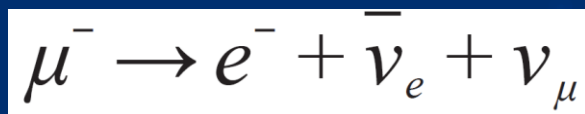
● 缪子的寿命的定义，统计上的特点

● 实验测量缪子的寿命

● 实验数据分析过程

缪子的衰变，统计上的特点

- 缪子的衰变，是自发地转变为其他种类粒子的过程

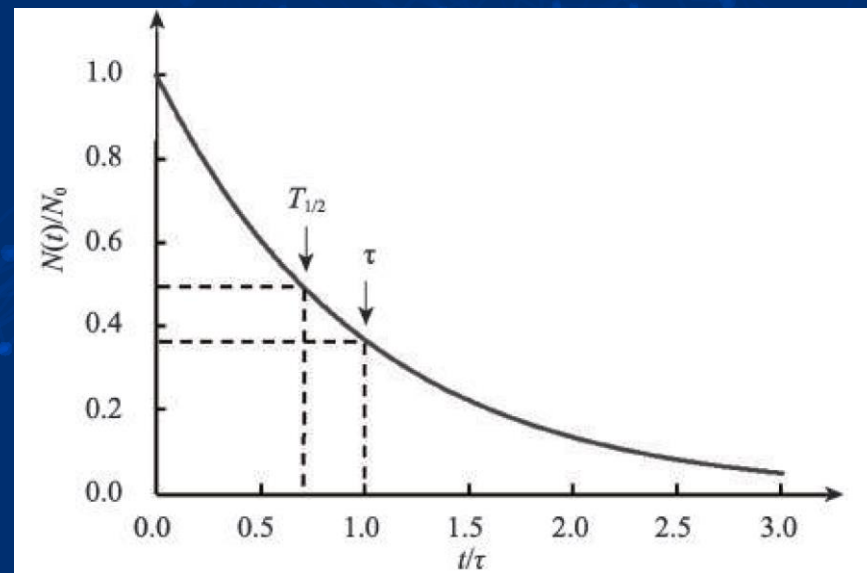


- 指数衰变规律

- 在单位时间内发生衰变的概率 λ 不随时间变化

考虑 $t=0$ 时刻有 N_0 个不稳定粒子，在任意时刻 t 剩余未衰变的粒子数为 $N(t)$ ，那么在 经过一个很短的时间微元 dt 后将会有 $N(t)\lambda dt$ 个粒子发生衰变

- λ 的倒数即为粒子的平均寿命 $\tau=1/\lambda$
- “无记忆性”是指数分布的一个重要特性，即任意选择坐标原点，都得到相同的分布形式
- 不需要知道缪子的出生时间，只需要知道缪子的衰变时间即可



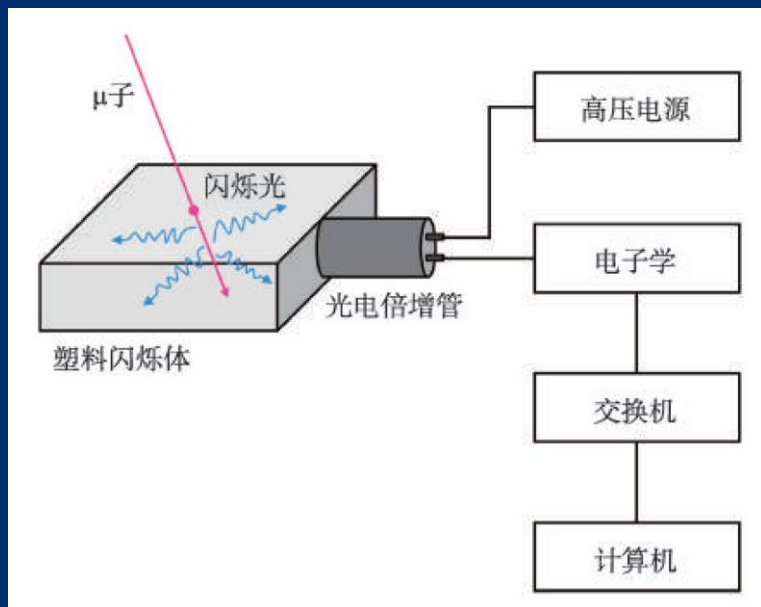
$$-dN(t) = N(t)\lambda dt,$$

$$-\frac{dN(t)}{N(t)} = \lambda dt.$$

积分

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

实验测量缪子的寿命



时间序列

E1
E1
E1
.....
E1
E21
E22
E1
E1
.....

第一类事例（噪音），
如何去掉？

第一类事例

大部分缪子能量都很高，可以轻松穿过闪烁体，产生一个事例（E1）

第二类事例

少部分缪子能量比较低，会在闪烁体中损失全部能量，产生第一个事例（E21），之后停留在闪烁体中，并在一段时间之后发生衰变。

衰变产生的中微子具有极强的穿透性，无法被有效探测，但米歇尔电子会与闪烁体发生相互作用，发出闪烁光从而使探测器产生第二个事例（E22）。

实验数据分析过程

1

- 得出前后两个事例的时间差DT
- 如何去掉第一类事例的影响

2

- 将时间差DT填入柱状图

3

- 得到事例数与时间差DT之间的趋势线
- 根据趋势线得到缪子的平均寿命

实验数据介绍

$1\text{s}=10^6\text{微秒}=10^9\text{纳秒}$

国际原子时单位s
从1970年1月1日开始计时

	A	B	C	D	E	F	G
1	ev_time_s	ev_time_ns	trg_num	ch0_t2	ch0_w	ch1_t2	ch1_w
2	1.64E+09	8.79E+08	5241	108	40	0	0
3	1.64E+09	9.17E+08	5242	98	78	106	8
4	1.64E+09	9.6E+08	5243	114	6	0	0
5	1.64E+09	6858560	5244	112	24	106	56
6	1.64E+09	9723104	5245	114	46	110	40
7	1.64E+09	37716224	5246	0	0	106	18
8	1.64E+09	72001344	5247	0	0	116	84
9	1.64E+09	1.02E+08	5248	0	0	108	30
10	1.64E+09	1.3E+08	5249	0	0	112	88
11	1.64E+09	1.34E+08	5250	110	28	104	48
12	1.64E+09	3.3E+08	5251	0	0	110	60
13	1.64E+09	3.73E+08	5252	124	12	0	0
14	1.64E+09	3.95E+08	5253	114	4	0	0
15	1.64E+09	4.16E+08	5254	0	0	100	42
16	1.64E+09	4.22E+08	5255	0	0	102	10
17	1.64E+09	4.23E+08	5256	110	38	104	46

单位(ns)

得出前后两个事例的时间差DT 1

I1

⋮

✕

✓

*f*_x

=A1-1644203557

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ev_time_s	ev_time_ns	trg_num	ch0_t2	ch0_w	ch1_t2	ch1_w		#VALUE!
2	1644203557	8.79E+08	5241	108	40	0	0		0
3	1644203557	9.17E+08	5242	98	78	106	8		0
4	1644203557	9.6E+08	5243	114	6	0	0		0
5	1644203558	6858560	5244	112	24	106	56		1
6	1644203558	9723104	5245	114	46	110	40		1
7	1644203558	37716224	5246	0	0	106	18		1
8	1644203558	72001344	5247	0	0	116	84		1

A+B=事例的时间

将A中的数据变得更具可读性，
观测开始时，开始计时，单位为秒

得出前后两个事例的时间差DT 2

J1 ✕ ✓ fx

$$=(B1/10000000000+I1)*1000000$$

得到每个事例的细时间，并将时间单位转化为微秒， 放入J列

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ev_time_s	ev_time_ns	trg_num	ch0_t2	ch0_w	ch1_t2	ch1_w		time_s	#VALUE!	
2	1644203557	8.79E+08	5241	108	40	0	0		0	879247.968	
3	1644203557	9.17E+08	5242	98	78	106	8		0	917479.456	
4	1644203557	9.6E+08	5243	114	6	0	0		0	959548.768	
5	1644203558	6858560	5244	112	24	106	56		1	1006858.56	
6	1644203558	9723104	5245	114	46	110	40		1	1009723.104	
7	1644203558	37716224	5246	0	0	106	18		1	1037716.224	
8	1644203558	72001344	5247	0	0	116	84		1	1072001.344	
9	1644203558	1.02E+08	5248	0	0	108	30		1	1101557.44	
10	1644203558	1.3E+08	5249	0	0	112	88		1	1130329.024	

每个事例的时间单位为微秒

得出前后两个事例的时间差DT 3

K1											
=J2-J1											
Ctrl+enter											
得到前后两个事例的时间差， 并放入K列											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ev_time_s	ev_time_ns	trg_num	ch0_t2	ch0_w	ch1_t2	ch1_w		time_s	#VALUE!	#VALUE!
2	1644203557	8.79E+08	5241	108	40	0	0		0	879247.968	38231.488
3	1644203557	9.17E+08	5242	98	78	106	8		0	917479.456	42069.312
4	1644203557	9.6E+08	5243	114	6	0	0		0	959548.768	47309.792
5	1644203558	6858560	5244	112	24	106	56		1	1006858.56	2864.544
6	1644203558	9723104	5245	114	46	110	40		1	1009723.104	27993.12
7	1644203558	37716224	5246	0	0	106	18		1	1037716.224	34285.12
8	1644203558	72001344	5247	0	0	116	84		1	1072001.344	29556.096
9	1644203558	1.02E+08	5248	0	0	108	30		1	1101557.44	28771.584
10	1644203558	1.3E+08	5249	0	0	112	88		1	1130329.024	3201.216
11	1644203558	1.34E+08	5250	110	28	104	48		1	1133530.24	196134.528
12	1644203558	3.3E+08	5251	0	0	110	60		1	1329664.768	43299.68
13	1644203558	3.73E+08	5252	124	12	0	0		1	1372964.448	21814.88
14	1644203558	2.05E+08	5253	114	4	0	0		1	1204770.228	21606.432

前后两个事例的时间差 单位：微秒

如何去掉第一类事例的影响

大部分前后两个事例的时间差远远大于缪子的寿命**2.2 微秒**
只挑选前后两个事例时间差非常小的事例，就可以去掉第一类事例

第一类事例的污染是多少??

第一类事件的事例率：

第一个事例到第1百万个事例，所用的时间为：**33000秒**；
事例率为：**30个/秒**

在**5微秒**内，出现一个第一类事件的概率非常小

问题：事例率为**30**的缪子，在**5 微秒**内出现一个或多个的概率是多大，或者**1**个都没有的概率是多大？

K
#VALUE!
38231.488
42069.312
47309.792
2864.544
27993.12
34285.12
29556.096
28771.584
3201.216
196134.528
43299.68
21814.88
21606.422

如何去掉第一类事例的影响

泊松分布

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, k = 0, 1, \dots$$

泊松分布的参数 λ 是单位时间(或单位面积)内随机事件的平均发生次数, k 为发生 k 次此类事件。

单位事件内(如1秒)测量到的缪子的事例率服从泊松分布,

问题: 事例率为30个/秒的缪子, 平均到5微秒, 事例率为 ($\lambda = 1.5e^{-4}$ 个/5微秒) 在5 微秒内出现一个或多个第一类缪子事件的概率是多大, 或者1个都没有 ($k=0$) 的概率是多大?

一个都不出现的概率: **0.99985**

出现一个或多个的概率:

$1 - 0.99985 = 0.00015$

1百万个第一类缪子事件中, 会有150个缪子事件相邻时间差在5微秒以内, 是对第二类事件的污染数。

将DT填入柱状图 1

COUNTIF X ✓ fx =FREQUENCY(K2:K1000000,L1:L11)

FREQUENCY(data_array, bins_array)

Ctrl+shift+enter
利用FREQUENCY 得到每个DT间隔内的事例数

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ev_time_s	ev_time_nstrg_num	ch0_t2	ch0_w	ch1_t2	ch1_w			time_s	time (微秒)	DT (微秒)	0	FREQUENCY(K2:K1000000,L1:L11)			
2	1644203557	8.79E+08	5241	108	40	0	0		0	879247.968	38231.488	0.5	FREQUENCY(data_array, bins_array)			
3	1644203557	9.17E+08	5242	98	78	106	8		0	917479.456	42069.312	1	551			
4	1644203557	9.6E+08	5243	114	6	0	0		0	959548.768	47309.792	1.5	404			
5	1644203558	6858560	5244	112	24	106	56		1	1006858.56	2864.544	2	370			
6	1644203558	9723104	5245	114	46	110	40		1	1009723.104	27993.12	2.5	288			
7	1644203558	37716224	5246	0	0	106	18		1	1037716.224	34285.12	3	211			
8	1644203558	72001344	5247	0	0	116	84		1	1072001.344	29556.096	3.5	170			
9	1644203558	1.02E+08	5248	0	0	108	30		1	1101557.44	28771.584	4	153			
10	1644203558	1.3E+08	5249	0	0	112	88		1	1130329.024	3201.216	4.5	110			
11	1644203558	1.34E+08	5250	110	28	104	48		1	1133530.24	196134.528	5	88			
12	1644203558	3.3E+08	5251	0	0	110	60		1	1329664.768	43299.68					
13	1644203558	3.73E+08	5252	124	12	0	0		1	1372964.448	21814.88					
14	1644203558	3.95E+08	5253	114	4	0	0		1	1394779.328	21606.432					
15	1644203558	4.16E+08	5254	0	0	100	42		1	1416385.76	5753.44					
16	1644203558	4.22E+08	5255	0	0	102	10		1	1422139.2	362.912					
17	1644203558	4.23E+08	5256	110	38	104	46		1	1422502.112	51491.808					

以0.5微秒为
间隔，设置柱
状图的横坐标

将DT填入柱状图 2

文件 开始 **插入** 绘图 页面布局 公式 数据 审阅 视图 帮助 告诉我想要做什么

数据透视表 推荐的数据透视表 表格 图片 联机图片 形状 图标 3D 模型 获取加载项 我的加载项 推荐的图表 地图 数据透视图 三维地图 折线 柱形 盈亏 切片器 日程表 链接

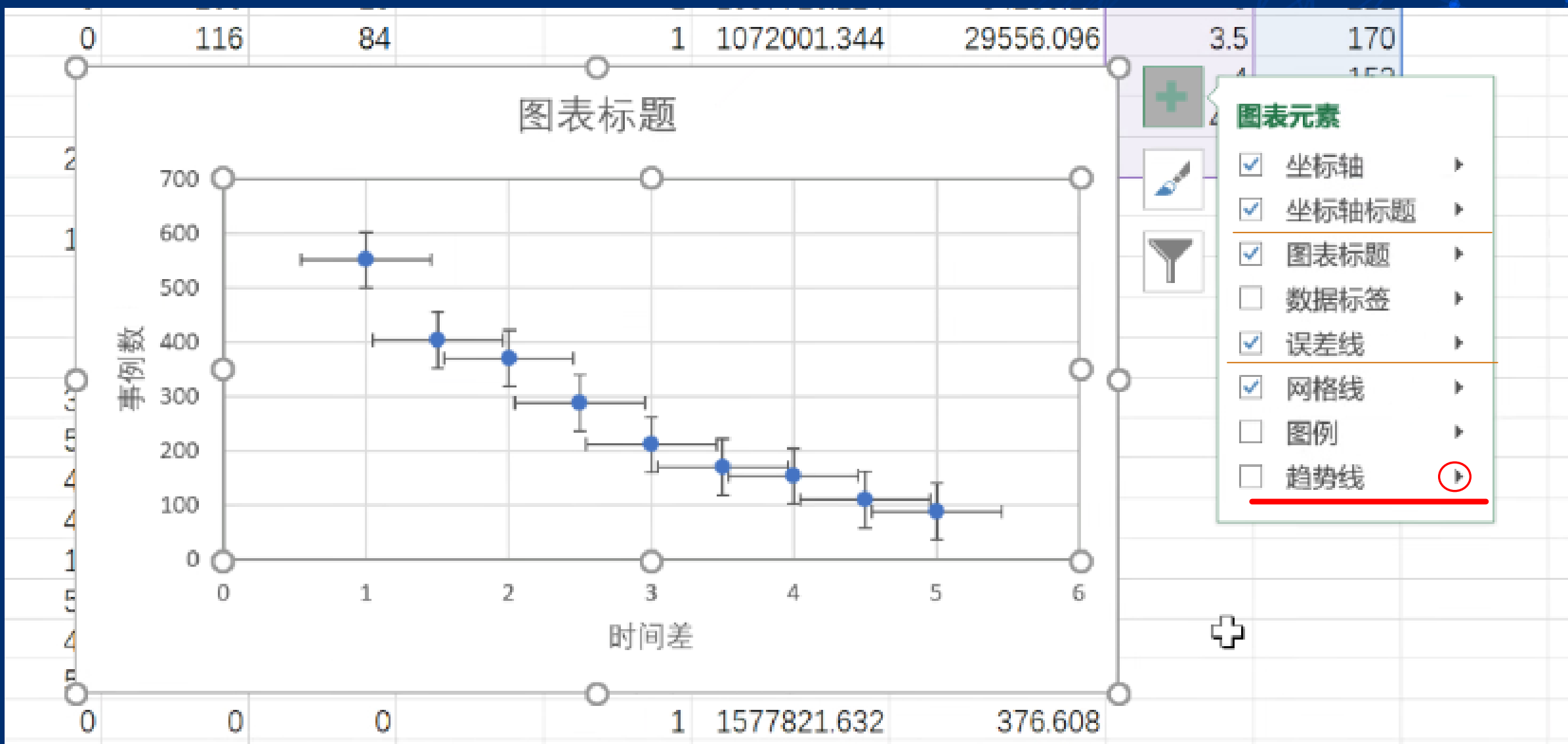
表格 插图 加载项 演示 迷你图 筛选器 链接

0.5

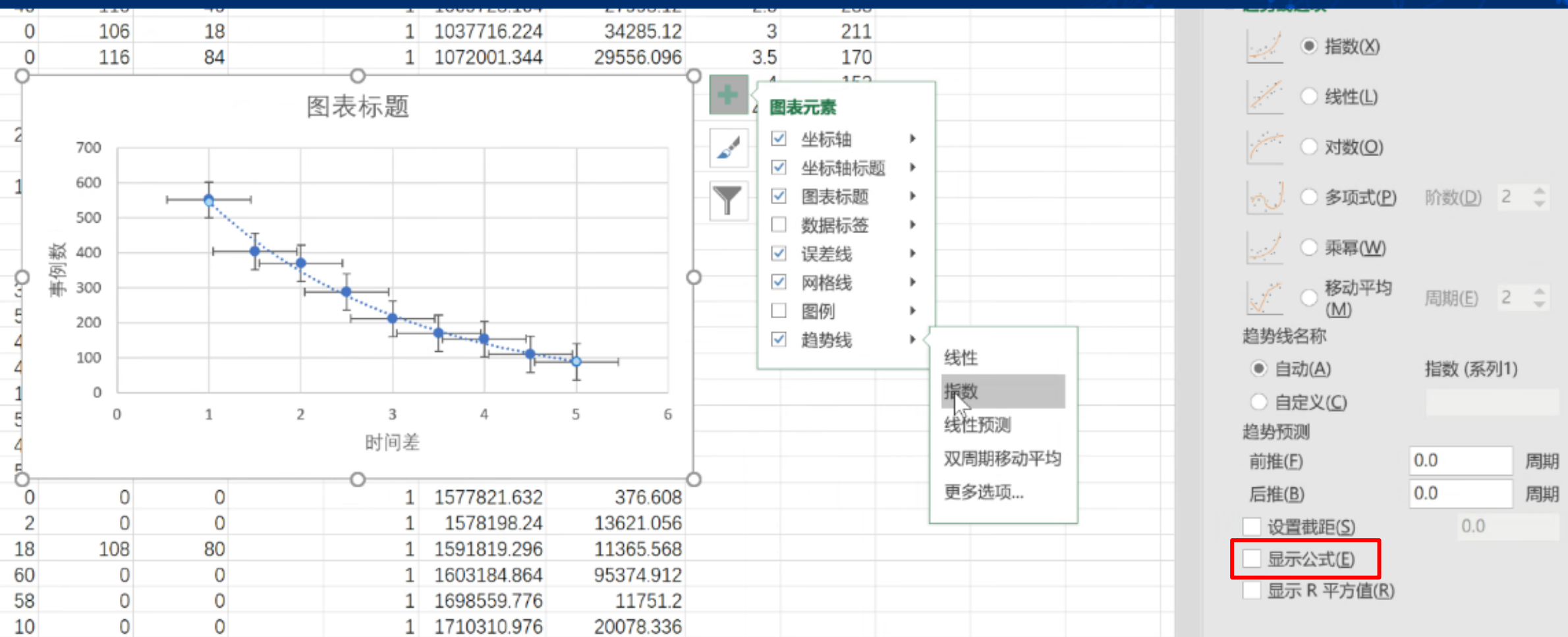
编辑栏

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ev_time_s	ev_time_nstrg_num	ch0_t2	ch0_w	ch1_t2	ch1_w			time_s							
2	1644203557	8.79E+08	5241	108	40	0	0						0.5		1965	
3	1644203557	9.17E+08	5242	98	78	106	8						1		551	
4	1644203557	9.6E+08	5243	114	6	0	0						1.5		404	
5	1644203558	6858560	5244	112	24	106	56		1	1006858.56	2864.544		2		370	
6	1644203558	9723104	5245	114	46	110	40		1	1009723.104	27993.12		2.5		288	
7	1644203558	37716224	5246	0	0	106	18		1	1037716.224	34285.12		3		211	
8	1644203558	72001344	5247	0	0	116	84		1	1072001.344	29556.096		3.5		170	
9	1644203558	1.02E+08	5248	0	0	108	30		1	1101557.44	28771.584		4		153	
10	1644203558	1.3E+08	5249	0	0	112	88		1	1130329.024	3201.216		4.5		110	
11	1644203558	1.34E+08	5250	110	28	104	48		1	1133530.24	196134.528		5		88	
12	1644203558	3.3E+08	5251	0	0	110	60		1	1329664.768	43299.68					
13	1644203558	3.73E+08	5252	124	12	0	0		1	1372964.448	21814.88					
14	1644203558	3.95E+08	5253	114	4	0	0		1	1394779.328	21606.432					
15	1644203558	4.16E+08	5254	0	0	100	42		1	1416385.76	5753.44					

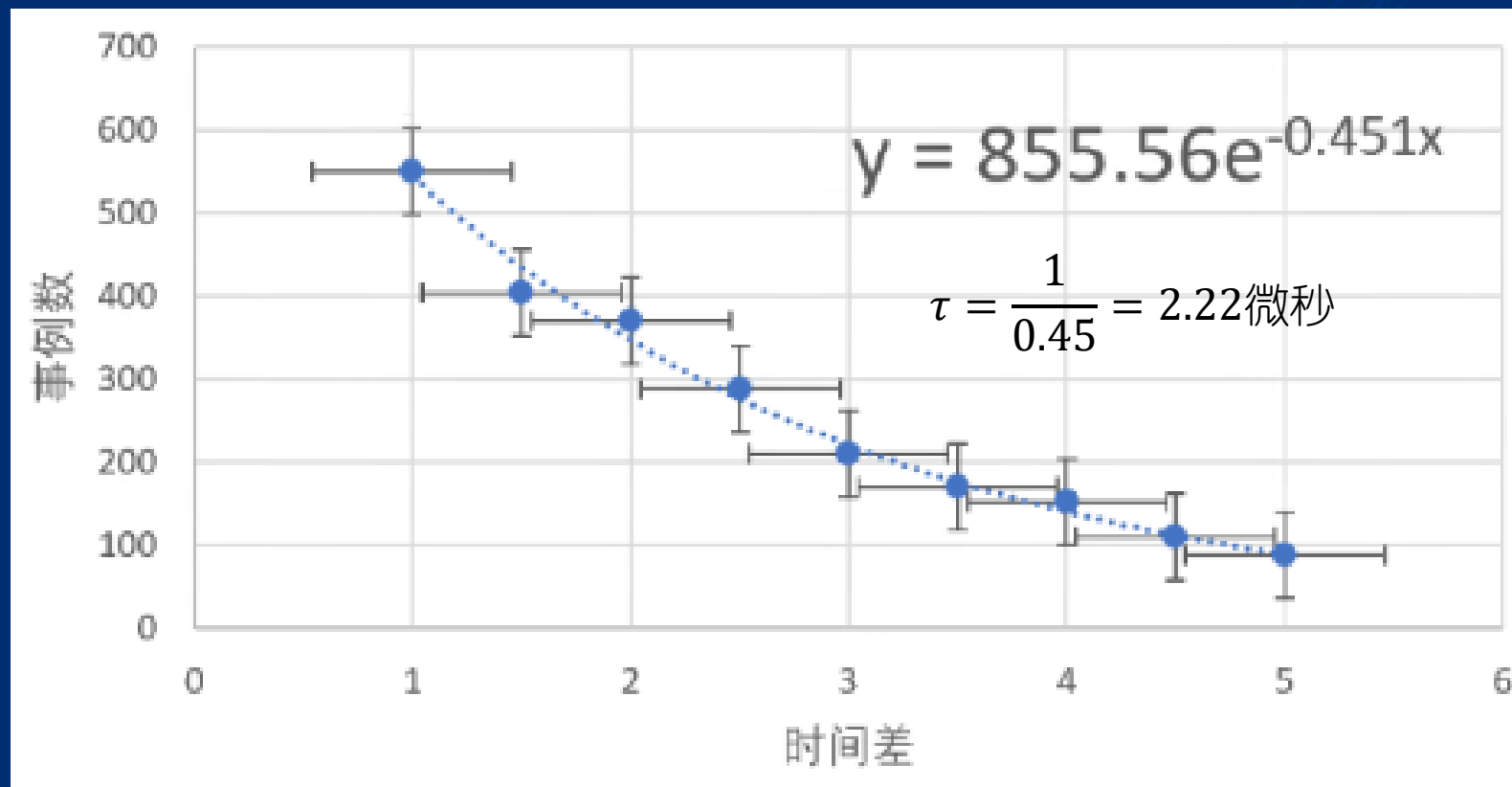
将DT填入柱状图 2



得到事例数与DT之间的趋势线



通过趋势线得到缪子寿命的平均值



时间差在5微秒以内的事例数有2345，第一类缪子的污染约为6%。

总结

得到前后两个事例的时间差

- 每个事例的时间有整秒和小数秒两部分构成，二者相加为完整时间
- 前后两个事例相减，得时间差
- 分析了第一类缪子事件的污染

将时间差填入柱状图

- 设置柱状图的横坐标，0.5微秒为一个时间bin
- 用**FREQUENCY**函数，获取每个时间间隔bin内的事例数

获取趋势线

- 采用时间bin与事例数两列，插入散点图
- 采用“指数”获取趋势线
- 通过 $\tau = 1/\lambda$ 获取缪子的寿命



谢谢大家