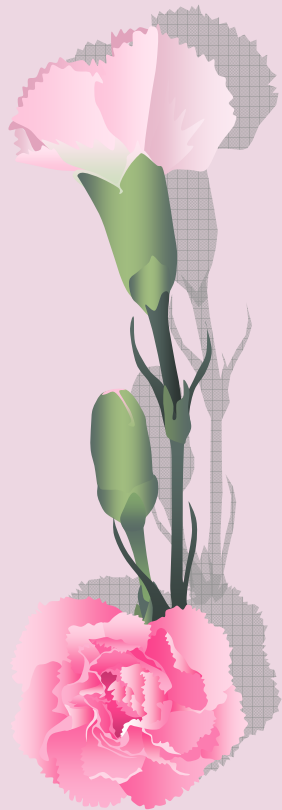


Slow positronを用いた
崩壊における
parityの破れの検証

斎藤 拓也

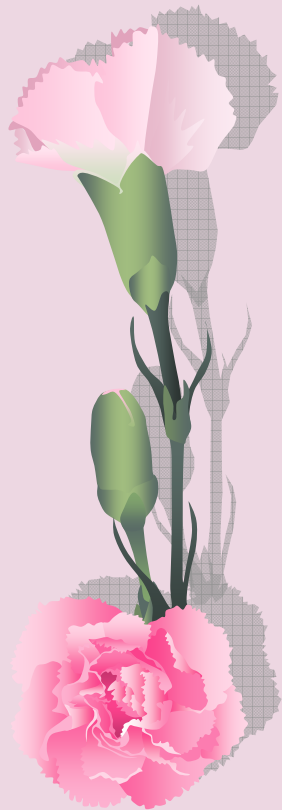
田口 誠

山本 裕明




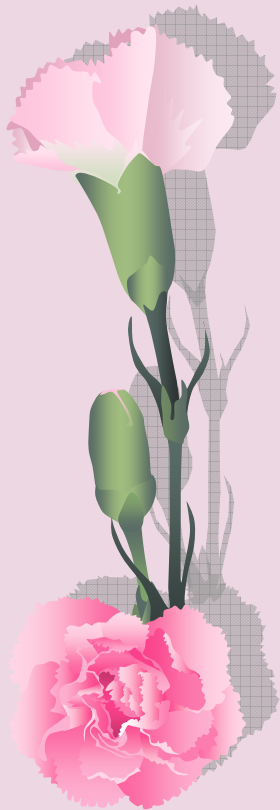
contents

- (1) positroniumを用いたparityの破れの検証
- (2) Slow positron について
- (3) 熱電子を用いたビーム輸送系の確立
- (4) slow positronをtargetに当てる実験
- (5) 結果と考察

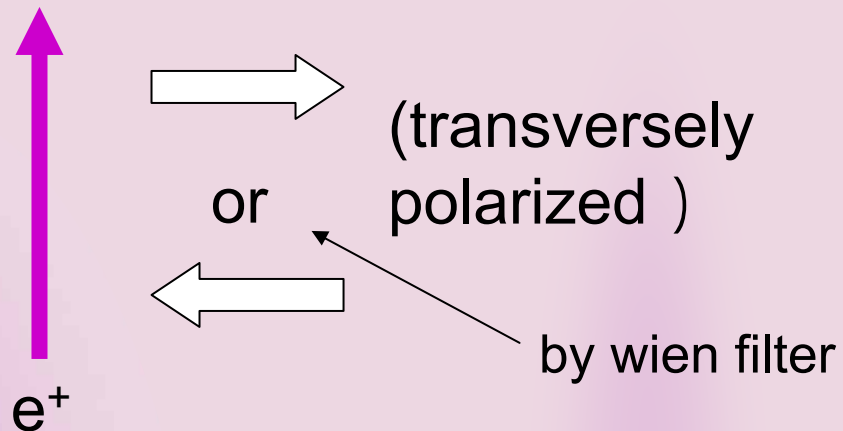
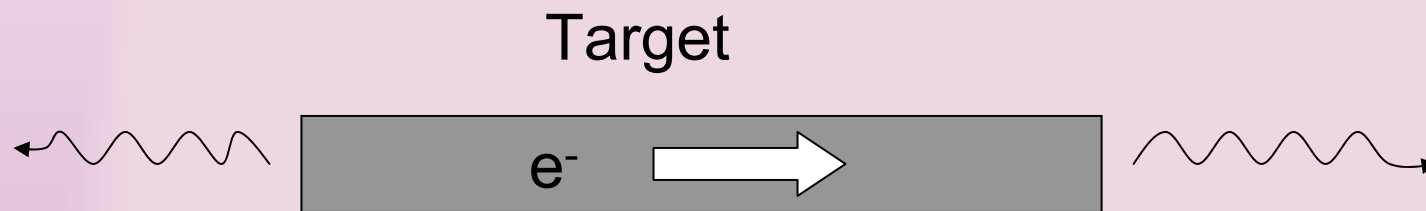


abstract

 ^{22}Na から崩壊によって生じたpositronを Tungsten Moderatorに通すことによって単色のenergyを持つslow positronを生成し、Wien filterによってそのspinの向きを90度回転させる。それを磁化させたtargetに当て、spinがparallelの時とantiparallelの時の2 の生成量を比較し、Parityの破れを検証する。

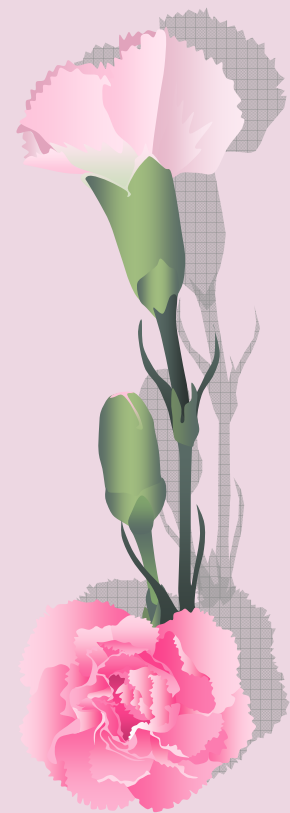


測定概念図

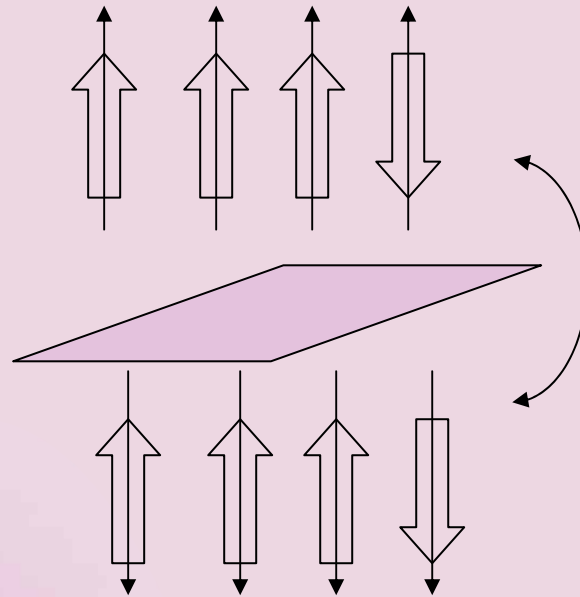


→ : スピンの向き

→ : 運動方向



Parityの破れ



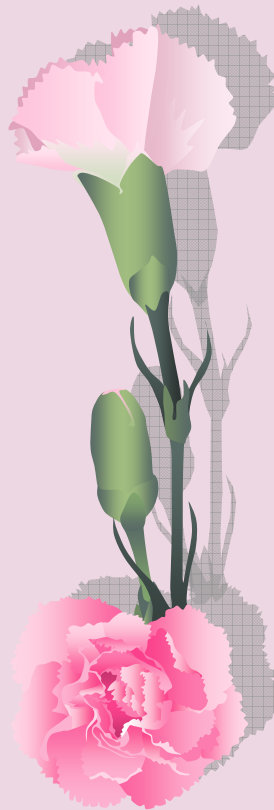
Parity変換

→ : 運動方向

⇨ : スピン方向

Helicity+1が3つ
Helicity-1が1つ

Helicity+1が1つ
Helicity-1が3つ

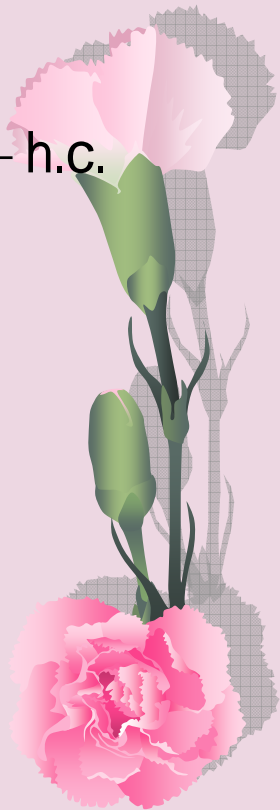


崩壊におけるparityの破れ

$p \rightarrow n + e^+ + e^-$
V-A型弱カレントに基づくLagrangian

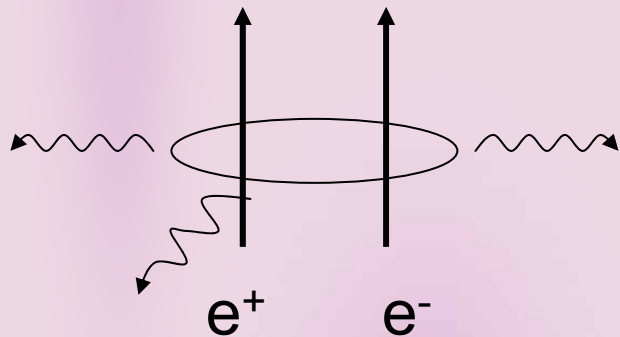
$$L'(x) = -\frac{G}{\sqrt{2}} \bar{p}(x) \begin{pmatrix} 1 - \frac{g_A}{g_V} & 5 \end{pmatrix} n(x) \bar{e}_L(x) \begin{pmatrix} 1 - 5 \end{pmatrix} e_L(x) + \text{h.c.}$$

e_L のみしか現れない \rightarrow Parityの破れ



Positroniumについて

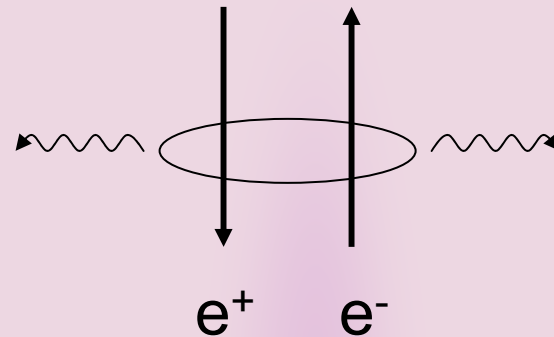
orthopositronium ($S=1$)



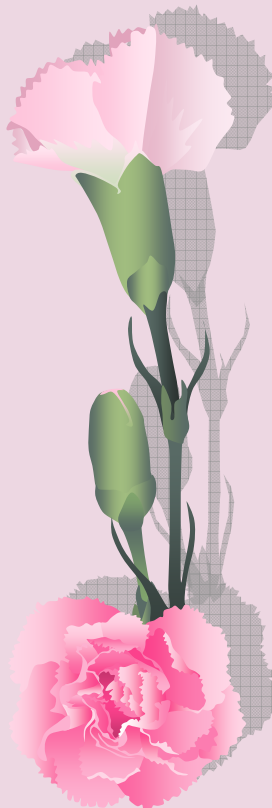
3 にdecay

→ : spin の向き

parapositronium ($S=0$)



2 にdecay



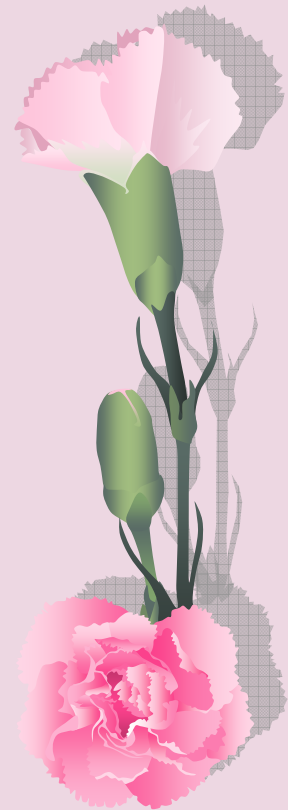
偏極率測定の実理

ターゲットのスピソと入射陽電子のスピソがparallelの場合の2 生成のrateを N_p 、antiparallelの場合の2 生成のrateを N_a とすると、

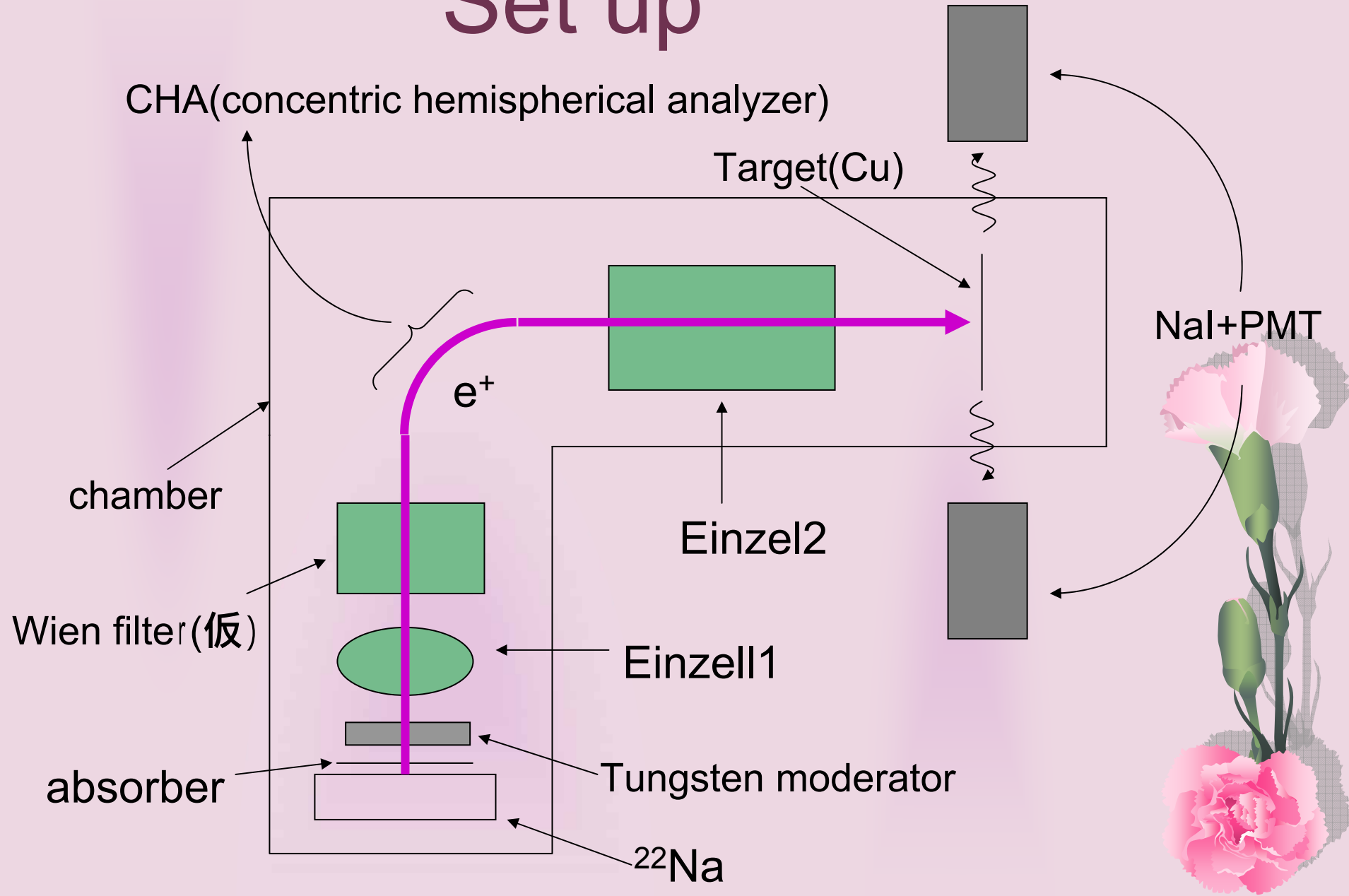
$$\underbrace{\frac{N_a - N_p}{N_a + N_p}}_{\text{測定量}} = \underbrace{\frac{\sigma_a - \sigma_p}{\sigma_a + \sigma_p}}_{\cong 1} \times P_{e^+} \times P_{e^-}$$

P_{e^+} : positronの偏極率

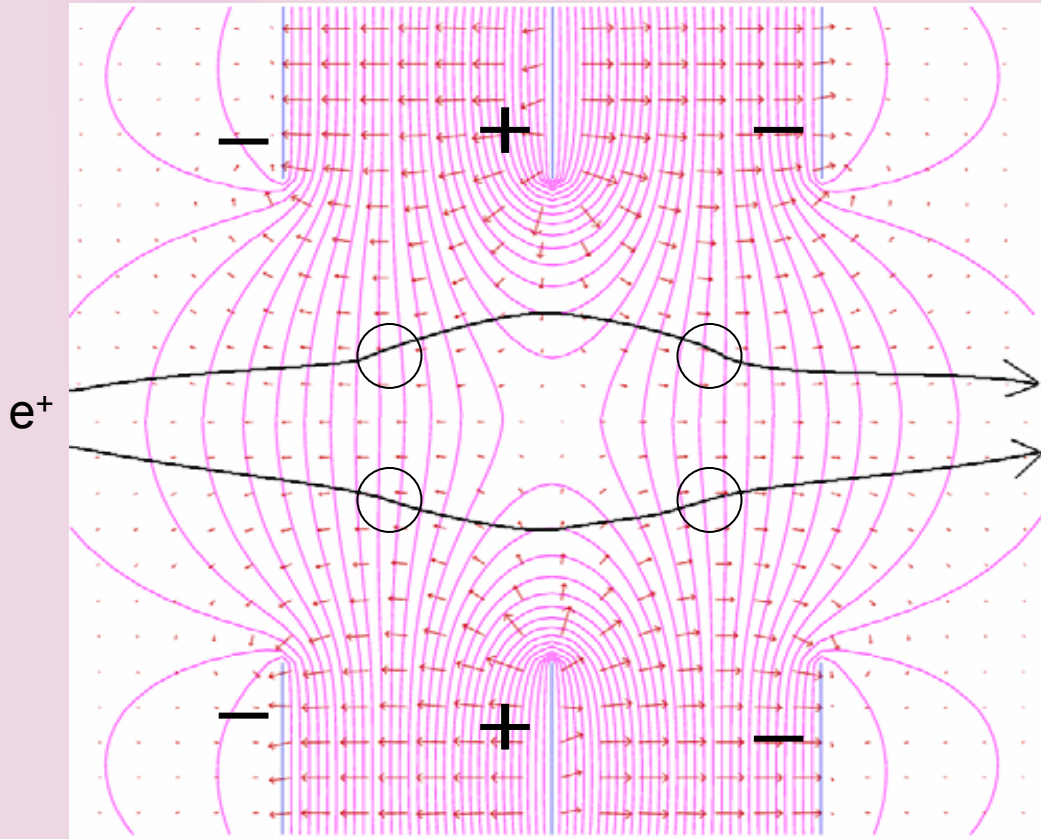
P_{e^-} : electronの偏極率



Set up

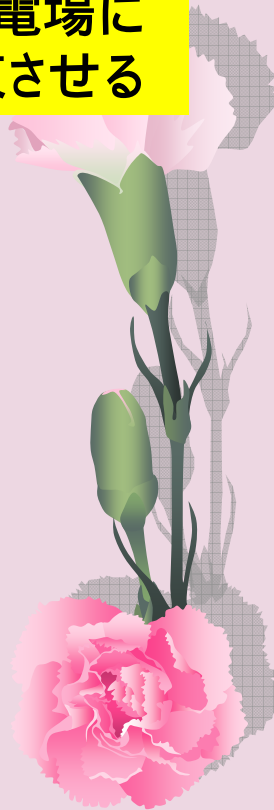


Eintzellens (静電レンズ)

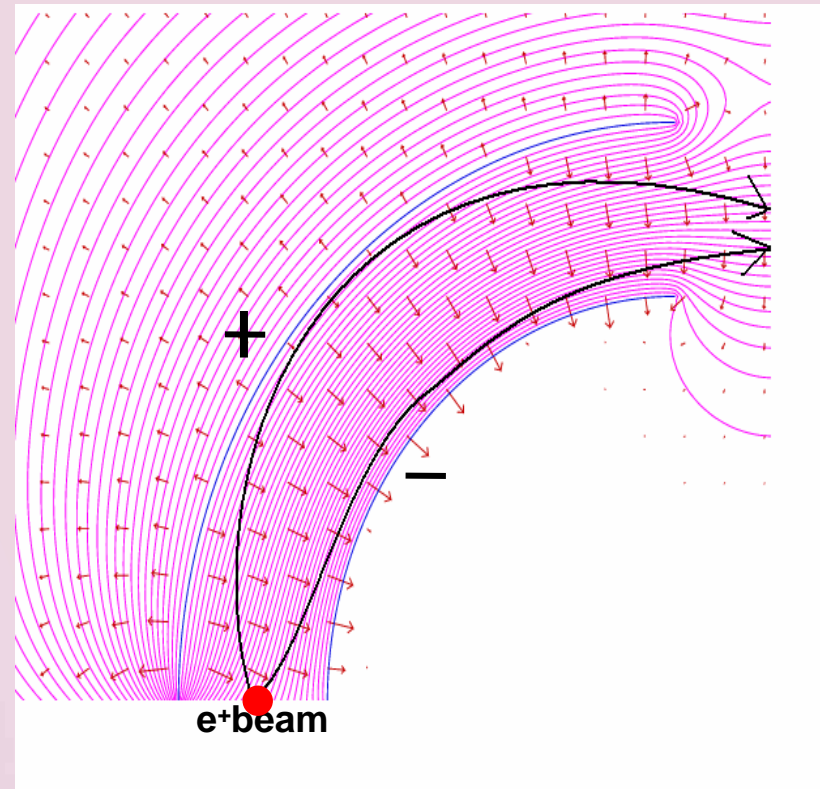
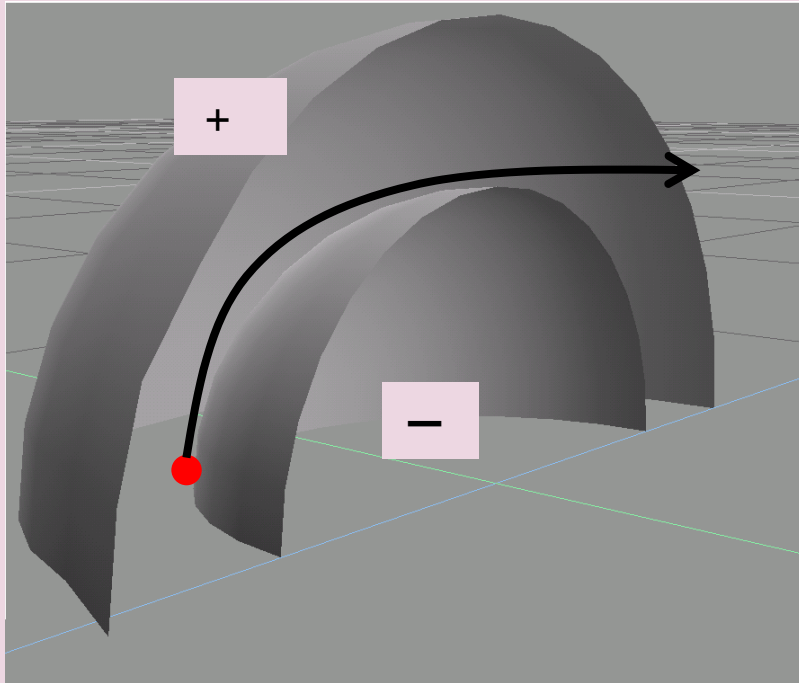


図のように電極を配置し、
の点での斜めの電場によってビームを収束させる

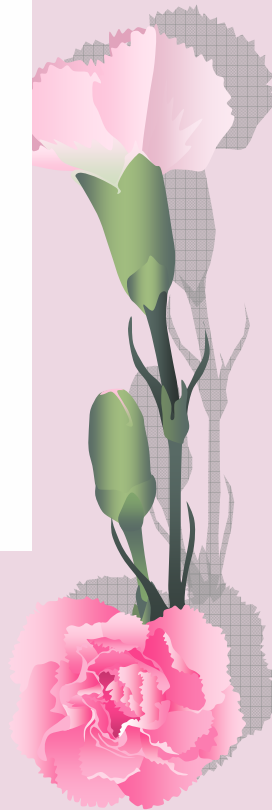
電極



CHA (concentric hemispherical analyzer)

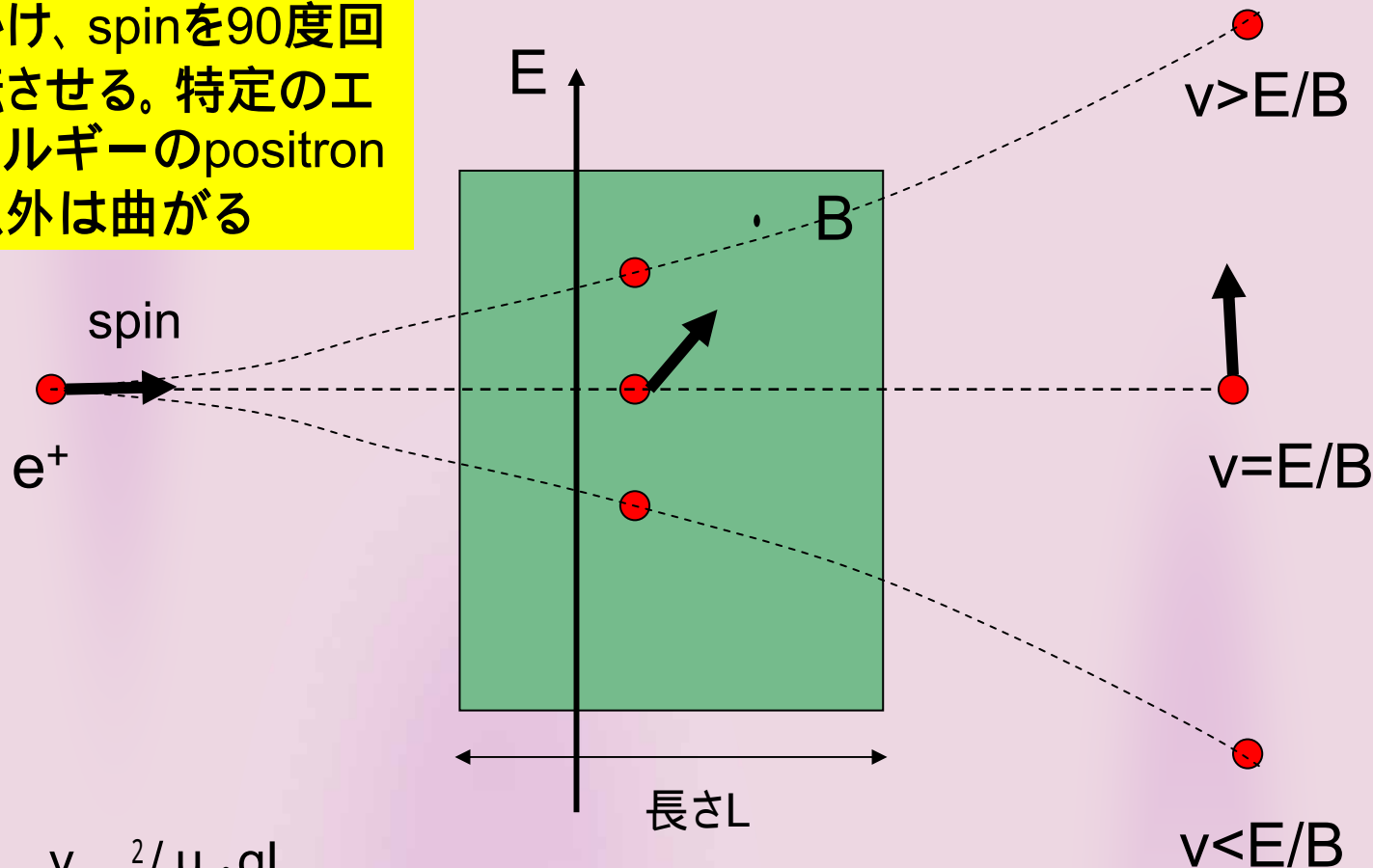


図のように同心円状の2つの1/4球の電極間に電圧をかけ、特定のエネルギーの粒子のみを選ぶ



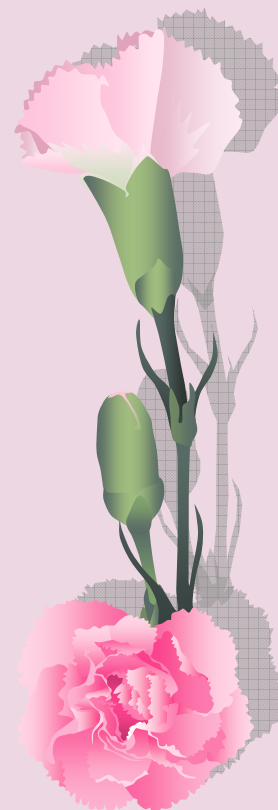
Wien filter

電場と磁場を垂直に
かけ、spinを90度回
転させる。特定のエ
ネルギーのpositron
以外は曲がる



$$B = v \sqrt{\mu_0 g L}$$

$L=5\text{cm}$, Energy=500eV($\gamma=0.1$)の時 $B=70\text{G}$



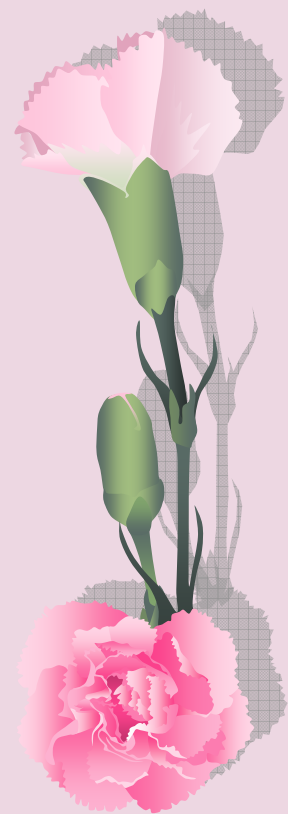
Slow positron

🌸 motivation

- ・ Wien filterの磁場の大きさを考えるとspinを曲げられるのはlow energyのpositronのみ
- ・ energyが大きくなるとCHAの電圧も大きくなり、放電の危険

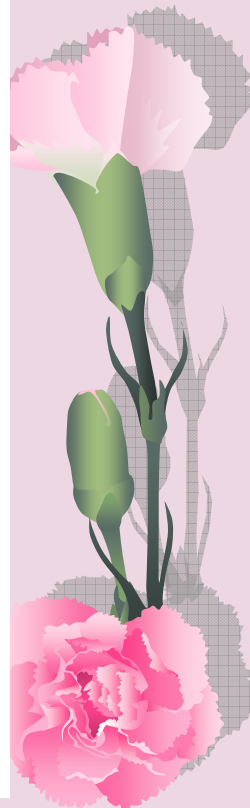
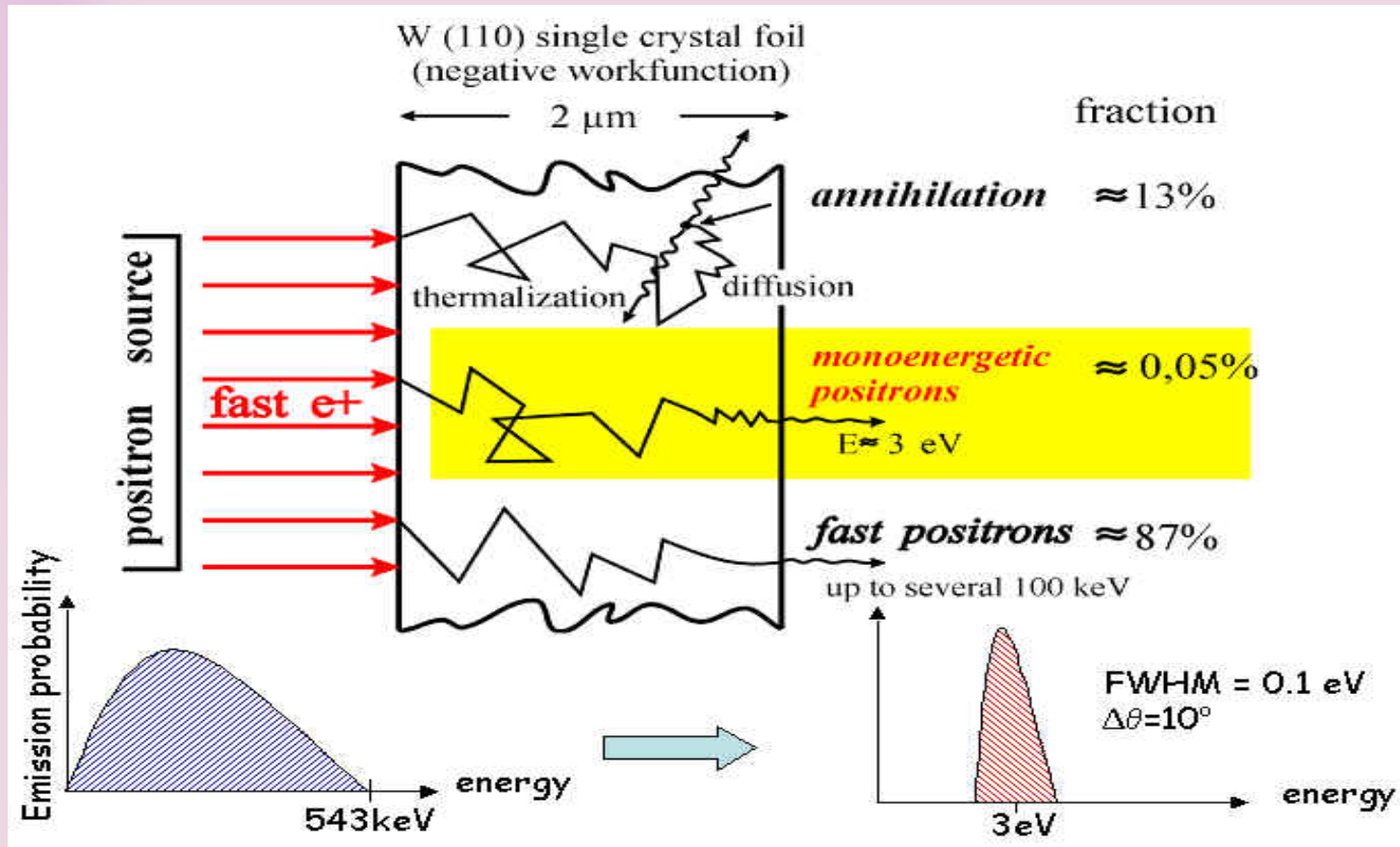
slow positron generatorとしてTungstenをソースの上に置く

- ## 🌸 Tungstenはpositronに対して仕事関数が負($\sim 2\text{eV}$)であるため、Tungstenの結晶に入射したpositronが表面まで到達すると数eVのエネルギーを持って再放出される(slow positron)



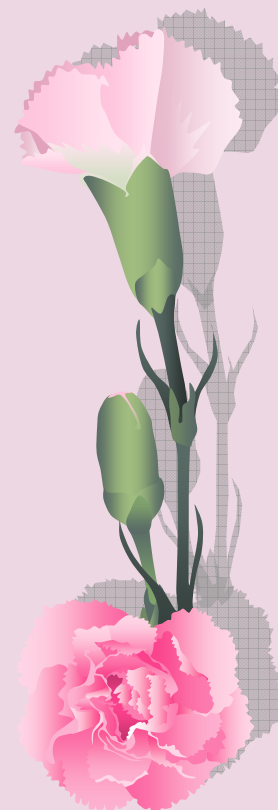
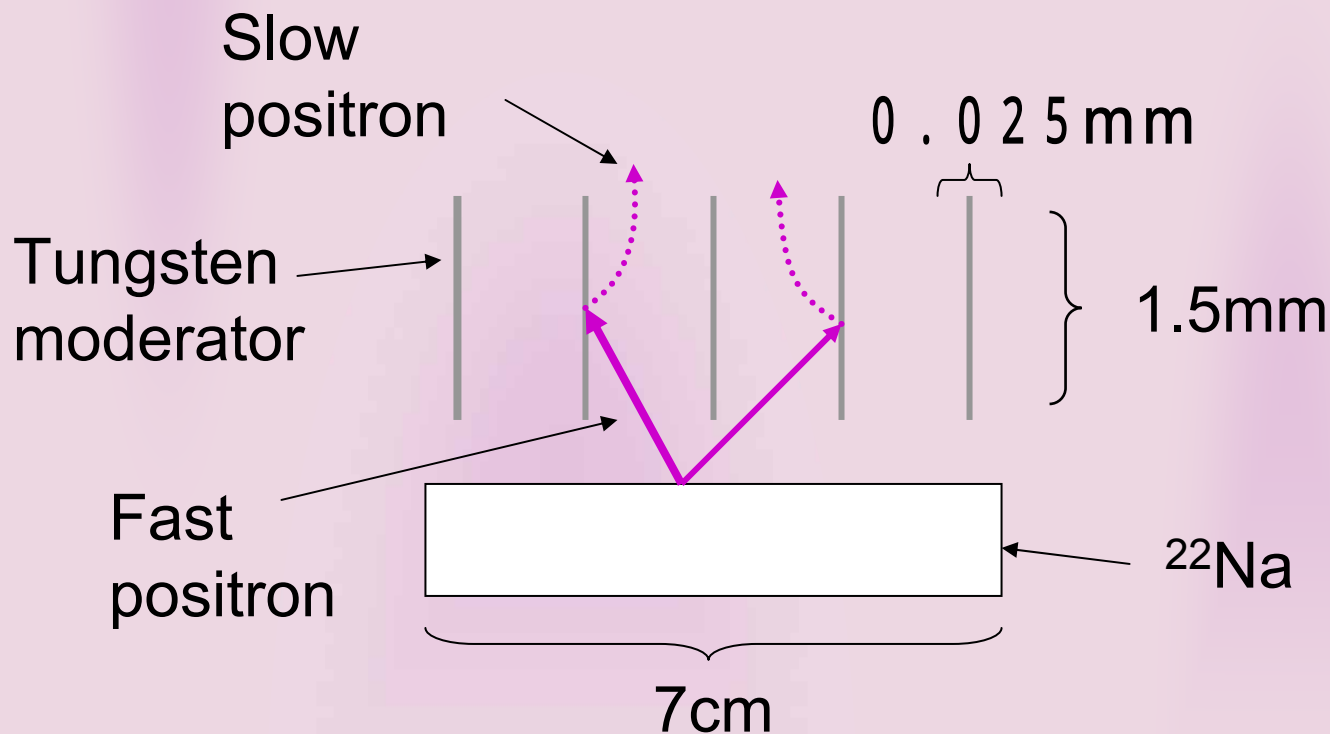
Tungsten moderator (transmission mode)

❁ 入射面と再放出面が反対



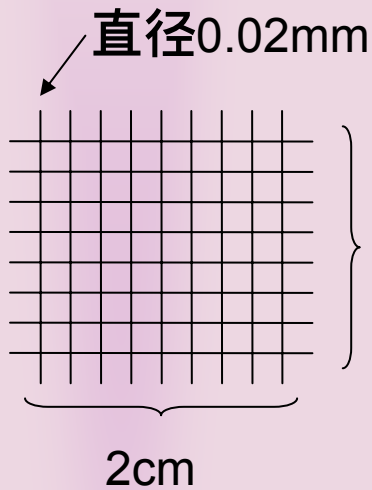
Tungsten moderator (reflection mode)

入射面と再放出面が同じ



Tungsten moderator(Mesh)

今回はtransmission mode とreflection mode の両方の性質をもつtungsten meshを用いた

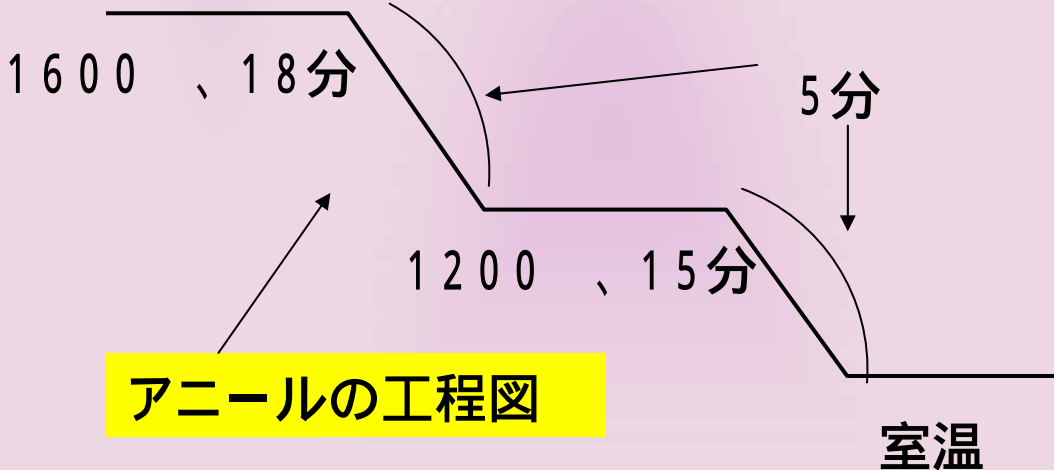


2cm

アセトンに20分つける

1600 で18分真空中でアニール
(表面の不純物を除去)

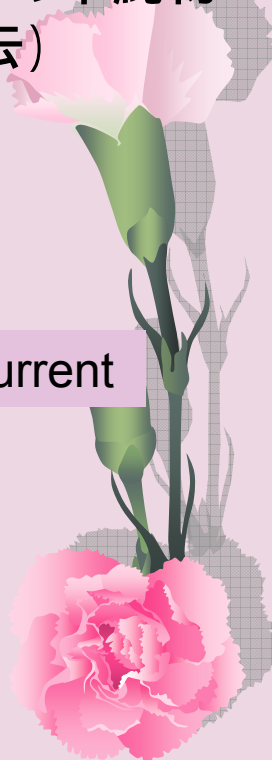
真空度 1.5×10^{-5} Torr



Tungsten electrode

moderator

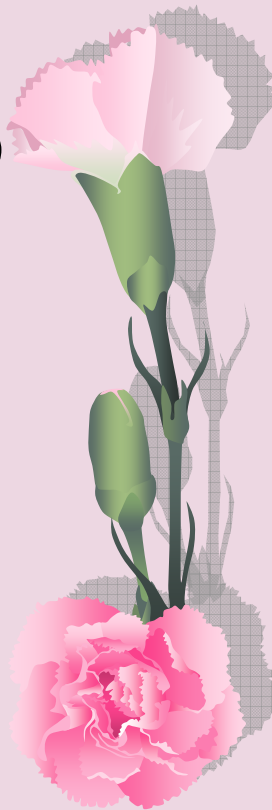
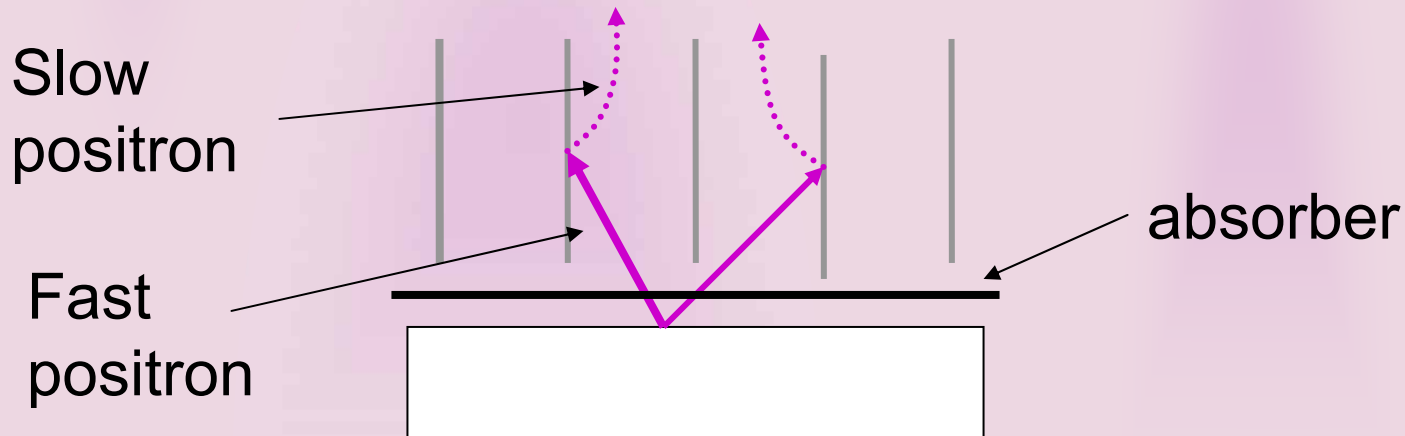
Current



absorber

- ❁ Moderatorを通してslow positronに寄与するのは入射エネルギーが \sim 数十keVのもの(~ 0.1)

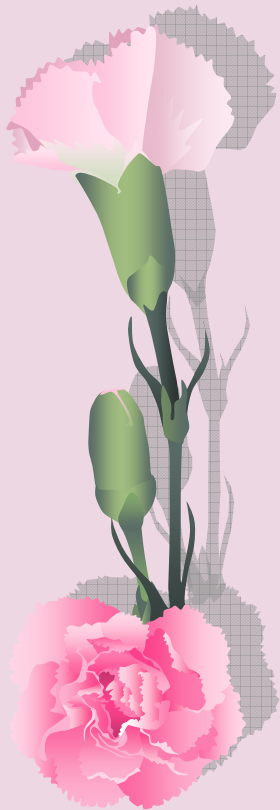
Positronの偏極度を大きくするためmoderatorの前に厚さ0.1mmのBeでできた吸収体(absorber)を置くと入射エネルギーが数百keVのものslow positronに寄与する



熱電子を用いた輸送系の確認

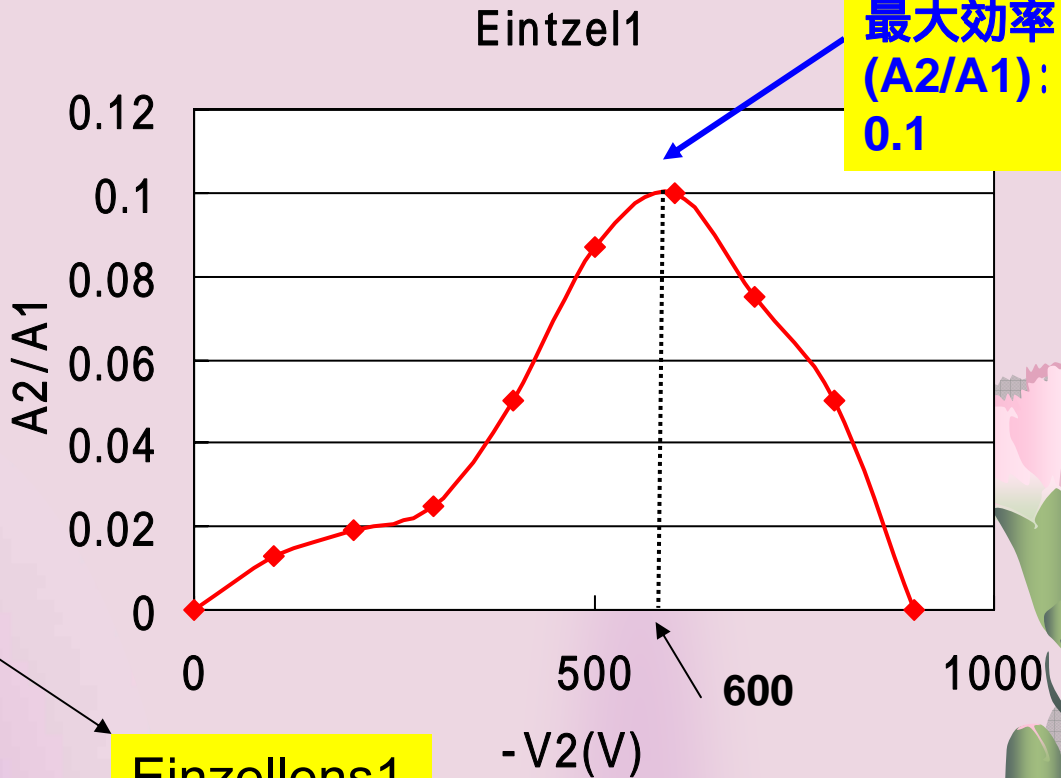
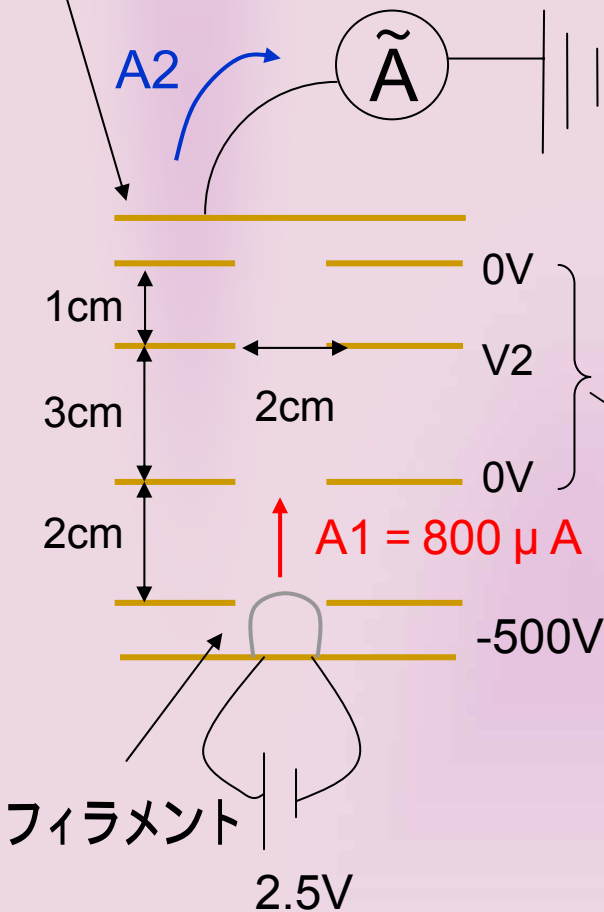
Slow positronで実験する前に同じSet upで熱電子を使ってEinzellens,CHAの効果を確認した

- ❁ 熱電子放出とは、金属導電材料を高温にすると固体内電子の一部が仕事関数より大きな熱エネルギーを得て表面から数meV ~ 数百meVのエネルギーを持って表面から飛び出す現象
- ❁ 熱電子放出源として豆電球のタングステンフィラメントを用い、輸送した熱電子をファラデーカップと蛍光板でモニターする

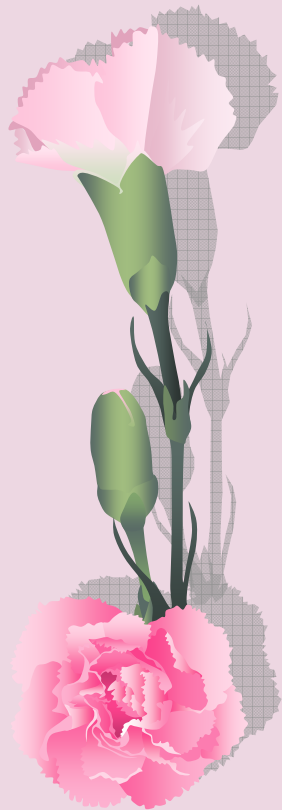
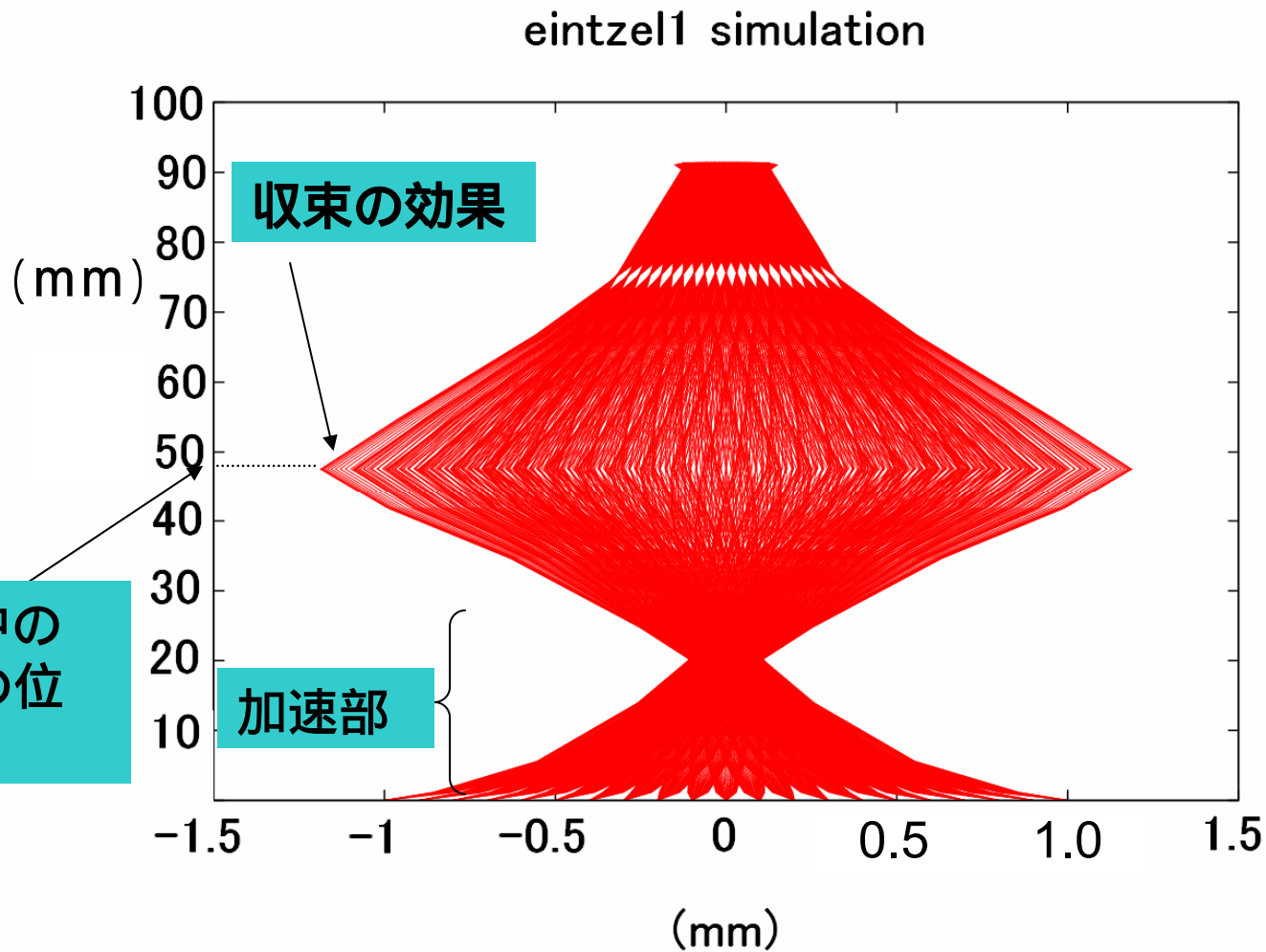


Eintzel1の効果の確認

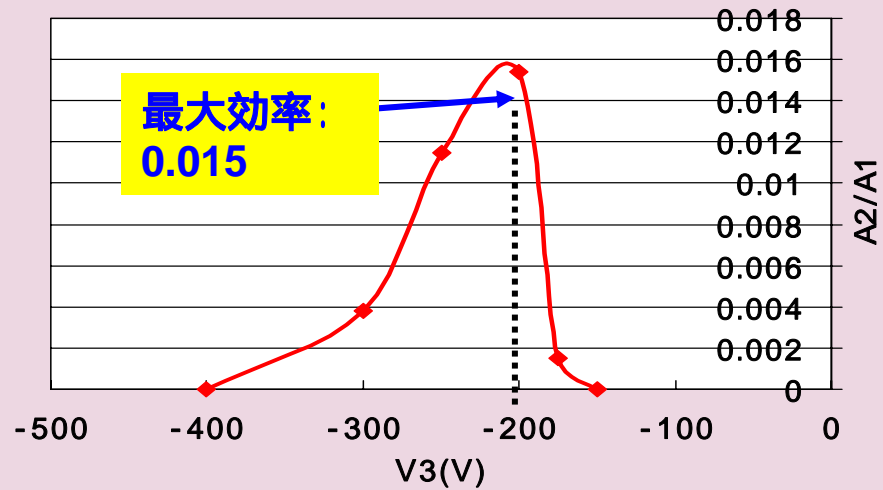
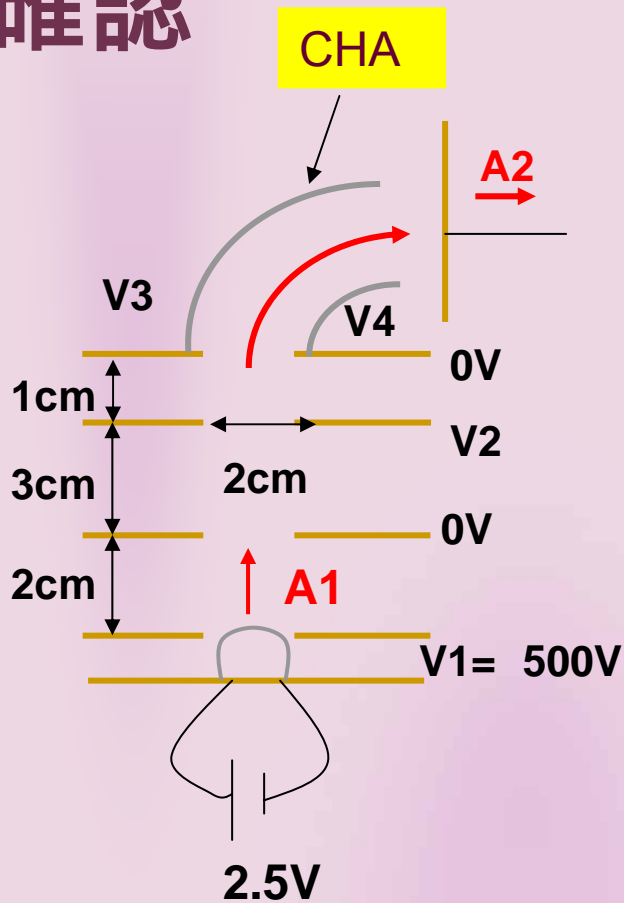
電流モニター
用極板



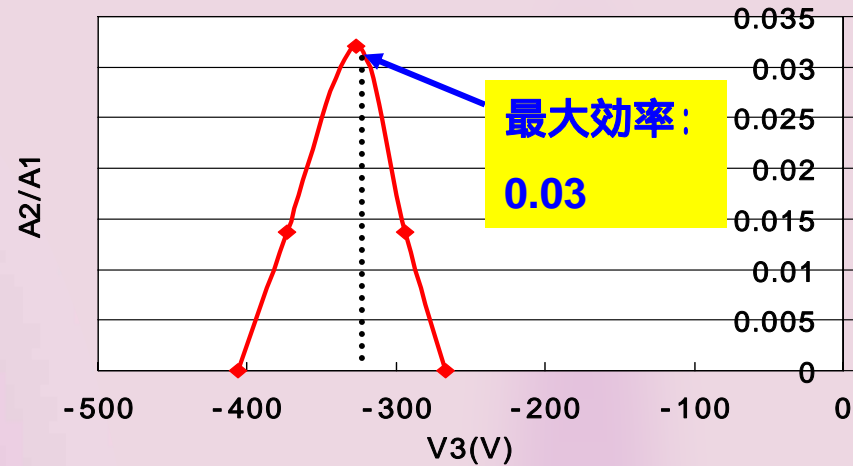
Einzel1の軌道simulation ($V_2 = -600V$ の時)



CHAの効果の確認

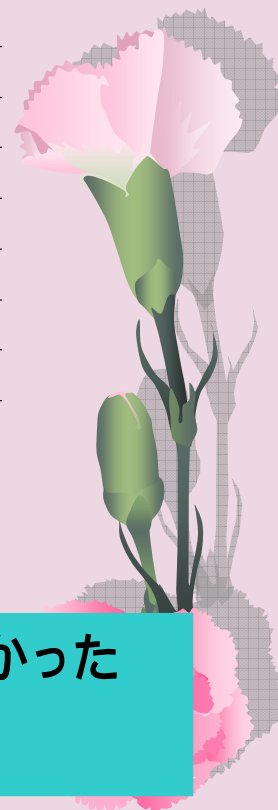


$A1=1300 \mu A, V2=-543V, V4=+200V$



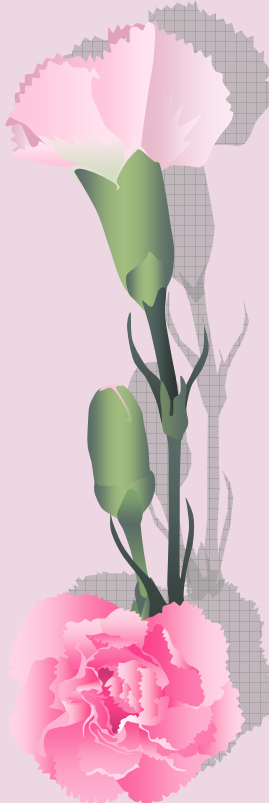
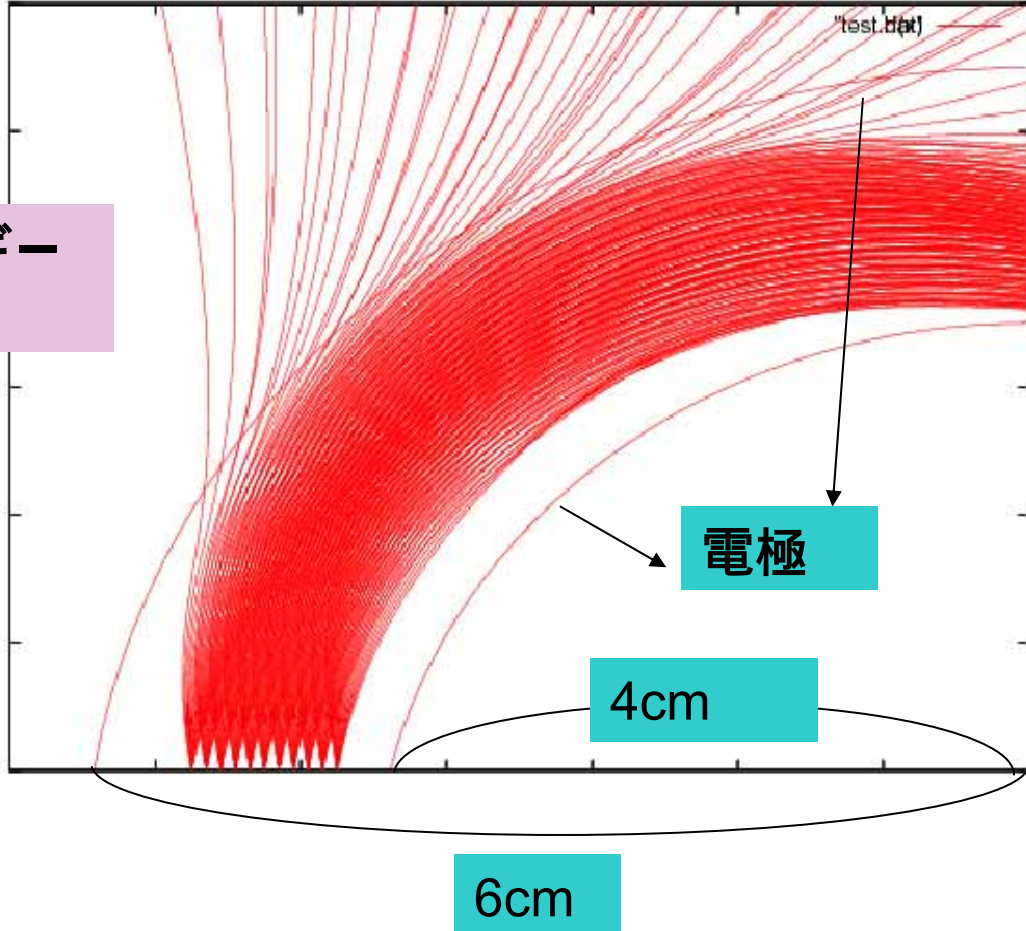
$A1=1089 \mu A, V2=-540V, V4=0V$

- ・V3=200Vより、V4 = 0Vとした方が効率がよいことがわかった
- ・V4=0V, V3= - 3 2 0Vで最大効率0 . 0 3

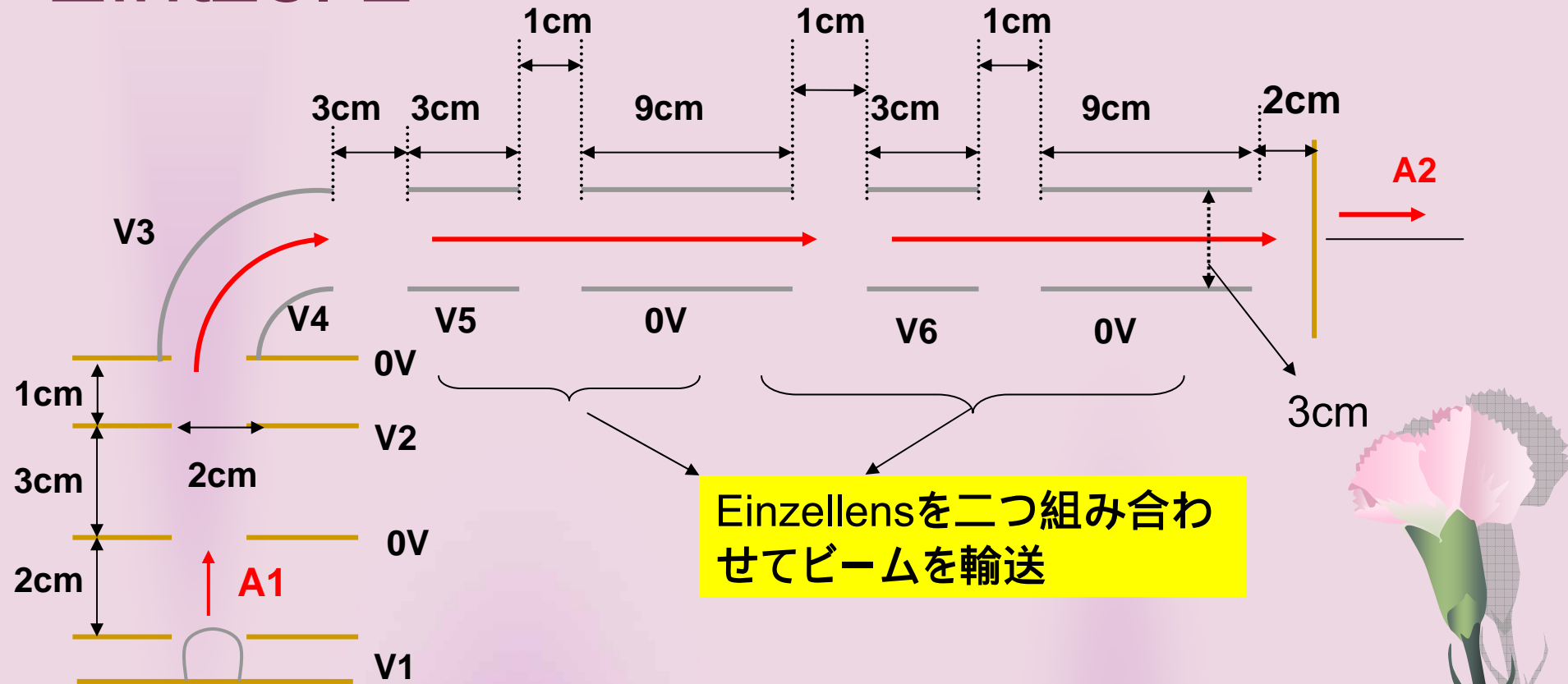


CHAの軌道simulation (V3=-320Vの時)

入射エネルギー
500eV

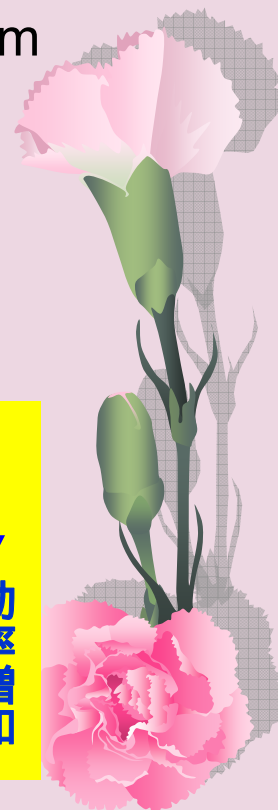


Eintzel 2



	V1(V)	A1(μ A)	V2(V)	V3(V)	V5(V)	V6(V)	A2(μ A)	効率
V4=0V	-500	1442	-594	-305	-402	-375	20	0.014
	-1000	1486	-1275	-572	-795	-790	70	0.047
	-1500	1443	-1774	-825	-1195	-1110	130	0.09
	-2000	1431	-2316	-1015	-1440	-1400	160	0.11
最大効率	-2500	1373	-2840	-1275	-1816	-1700	180	0.13

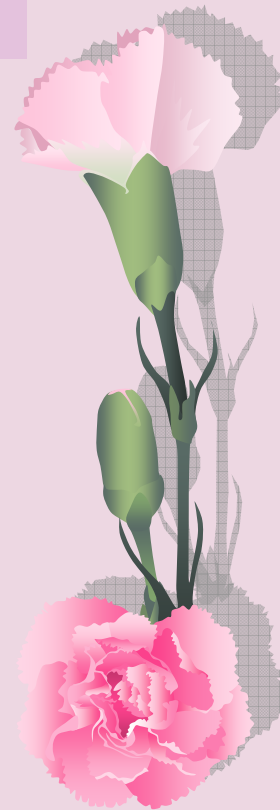
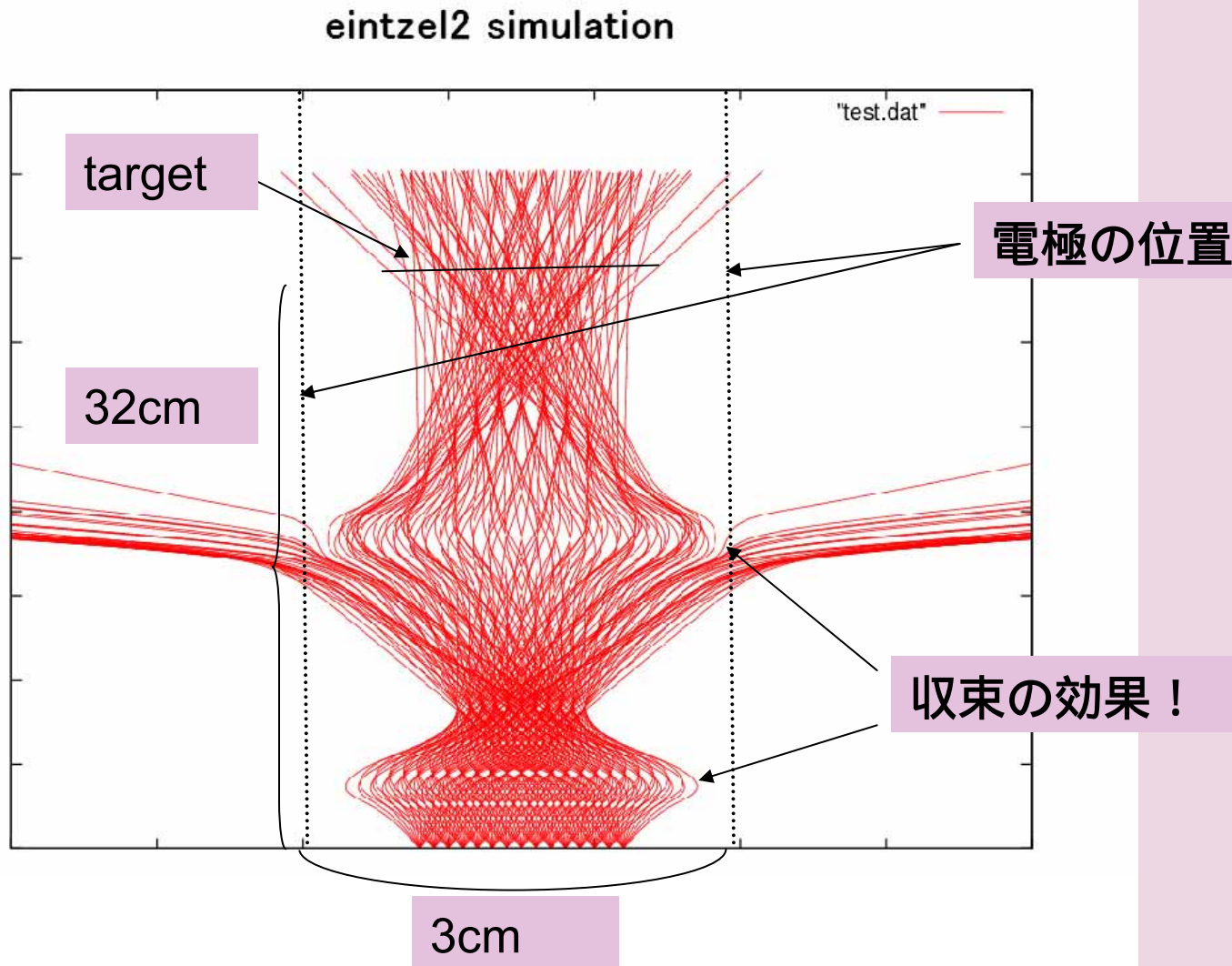
↓
効率増加



→ この電圧の値を参考にpositronで実験を行った

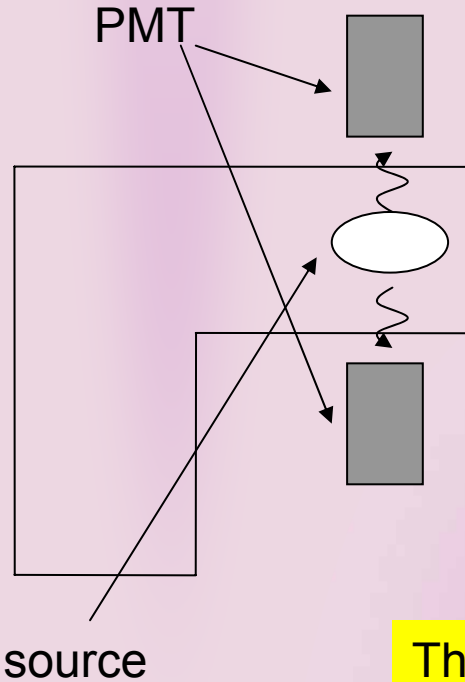
Eintzel 2 の軌道simulation (最大効率のもの)

入射エネルギー
2500eV

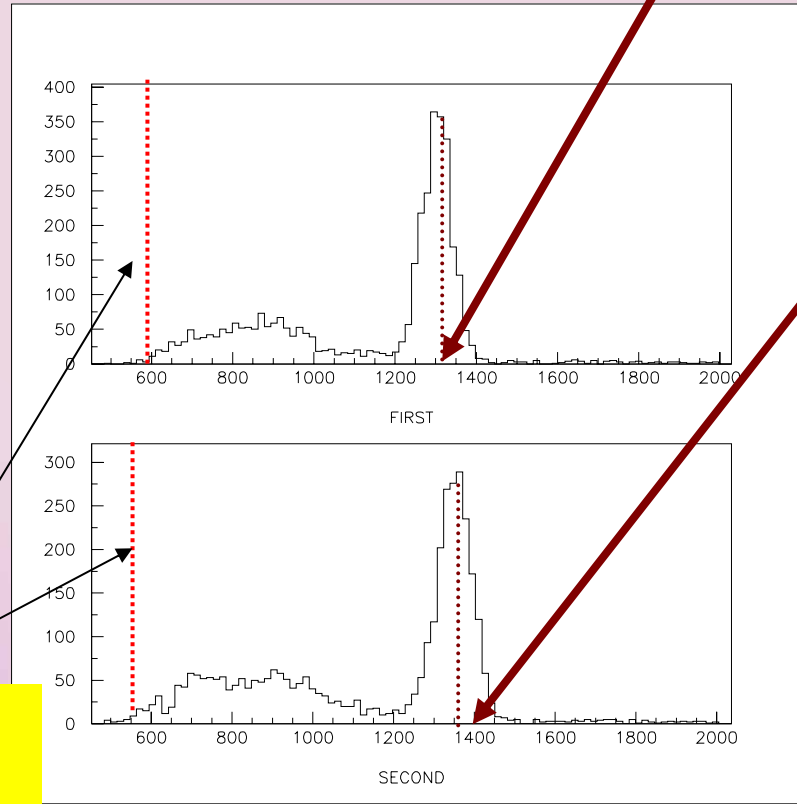


Energy calibration

ピーク位置ADC
カウント1300

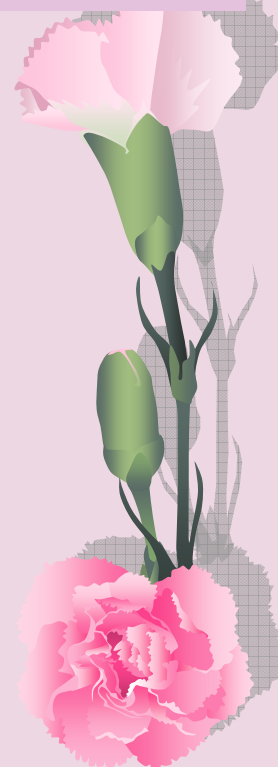


Threshold
13mV

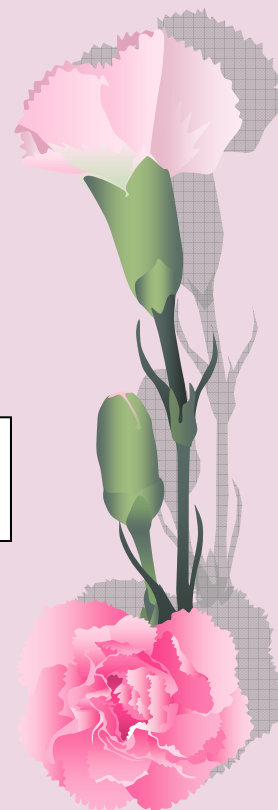
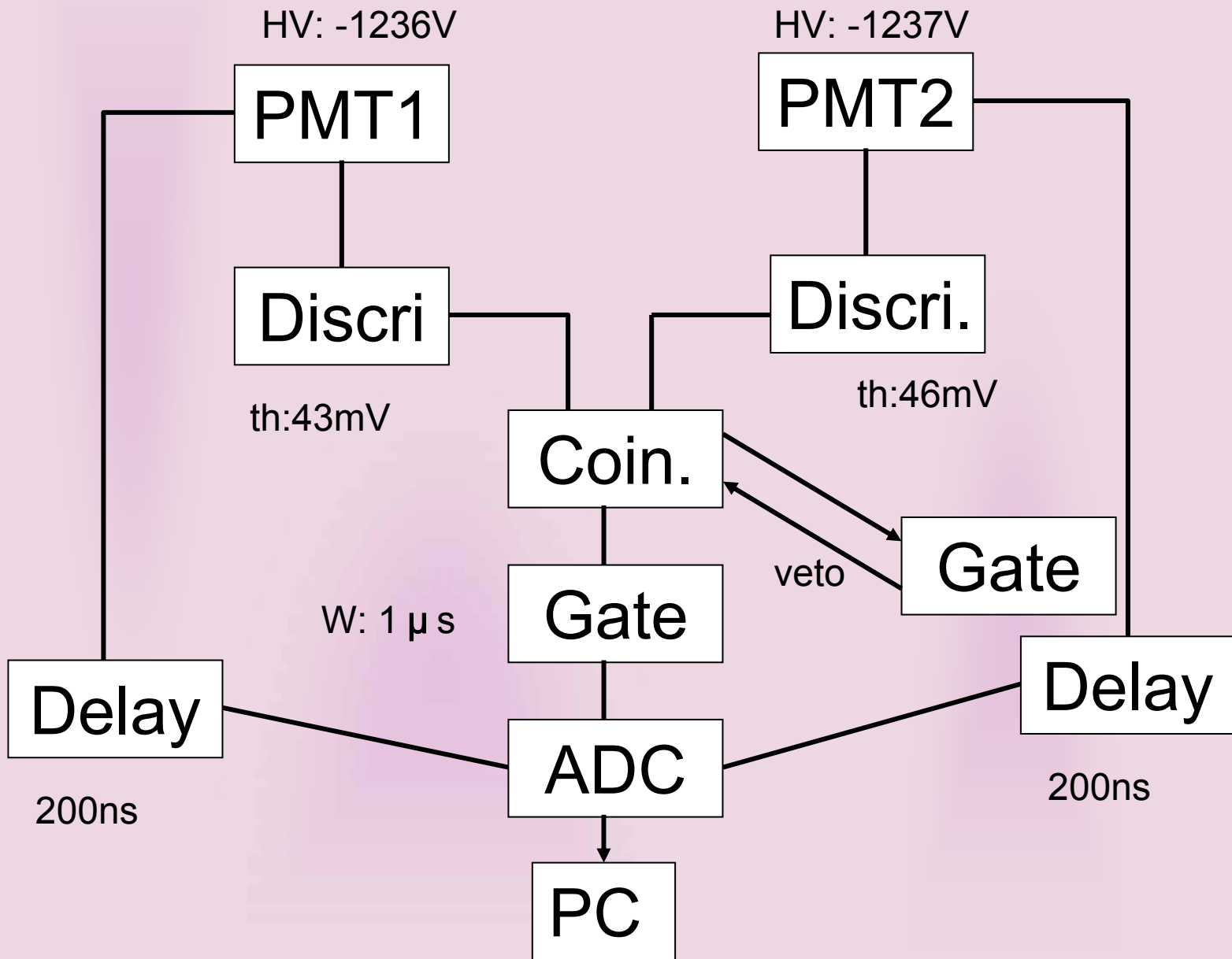


ピーク位置
ADCカウン
ト1400

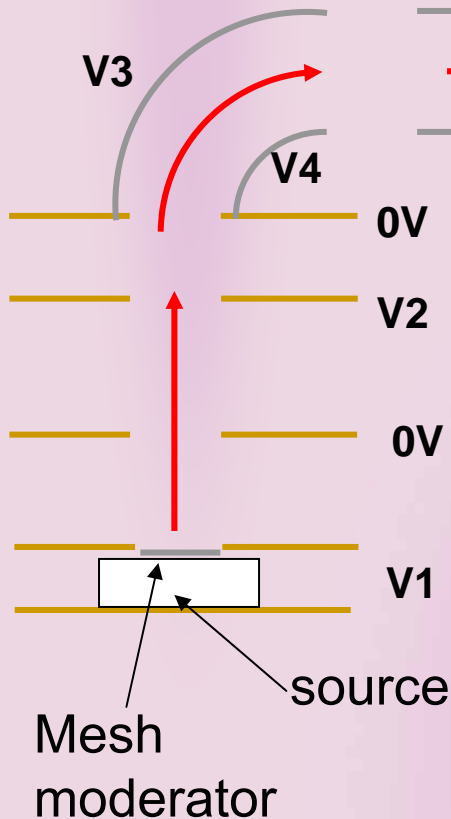
511kevの光電ピーク
でcalibration



回路图



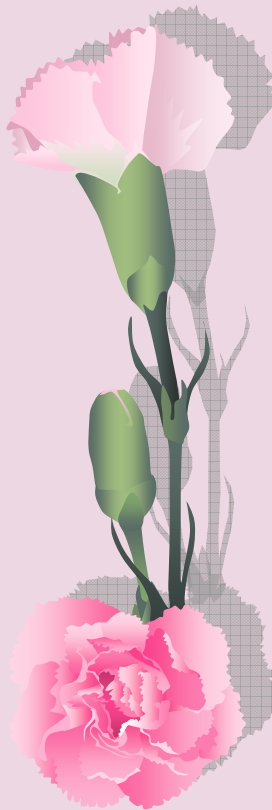
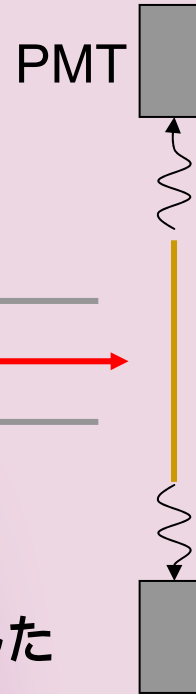
Positronを用いた実験



・今回は $V1=2500V$, $V4=0V$ で実験をした

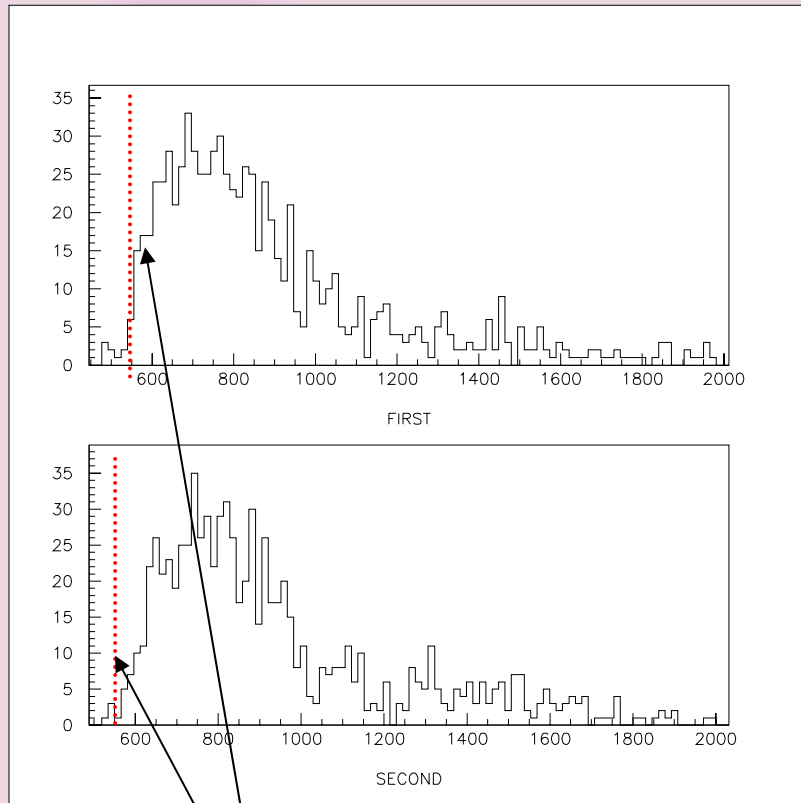
・ $V3=0V$ (background), $1100V$, $1150V$, $1200V$, $1250V$, $1300V$ とscanして、
 $V2, V5, V6$ は熱電子の時の値を参考に調節した。

・slow positronのsignalがmoderatorによるものであることを確かめるため、moderatorを外して
 $V3=1200V$ と $0V$ で測定した



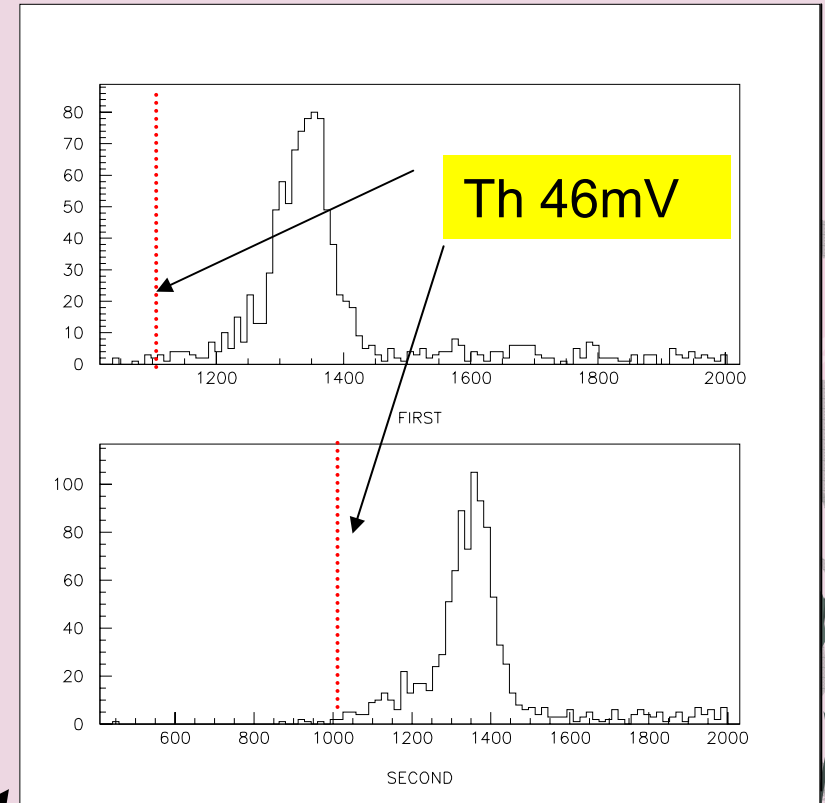
Background($V_3=0V$) の spectrum

0.226counts/s



th 13mV

0.02counts/s



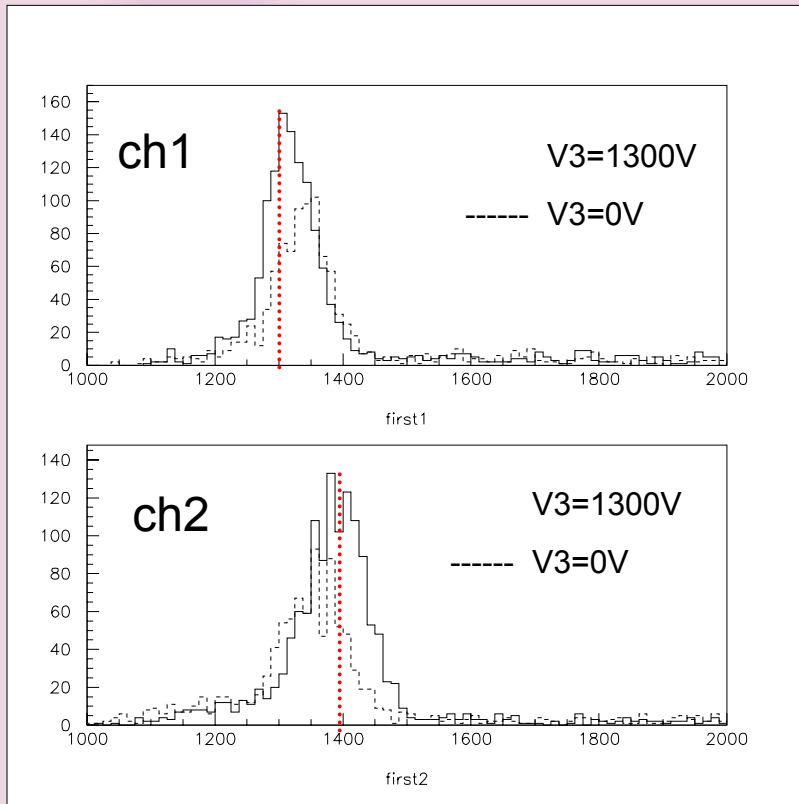
Thを46mVにして
backgroundをcut



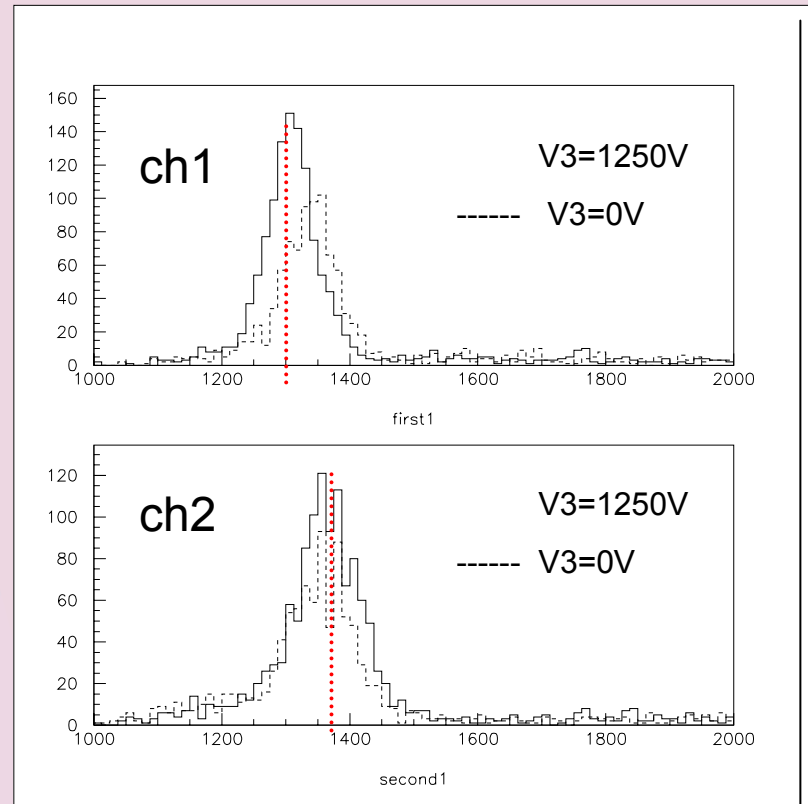
Background のrateは
1/10になった

V3の値を変えていった時のenergy spectrum

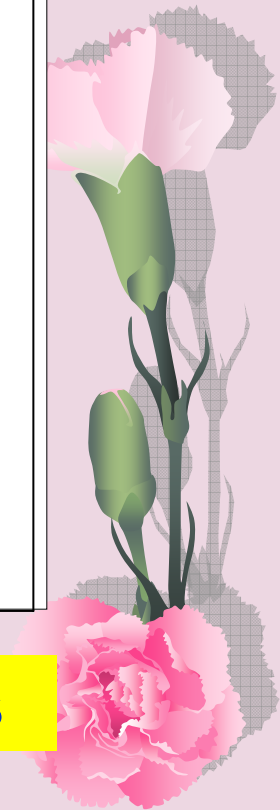
V3=0V:1080 counts



V3=1300V :1368 counts



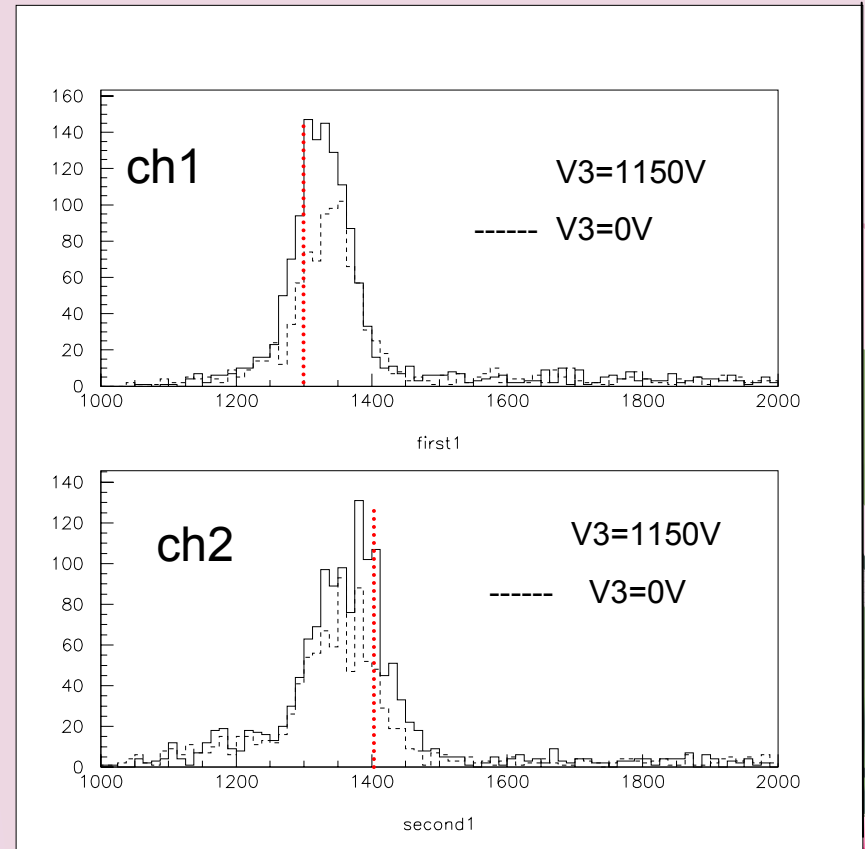
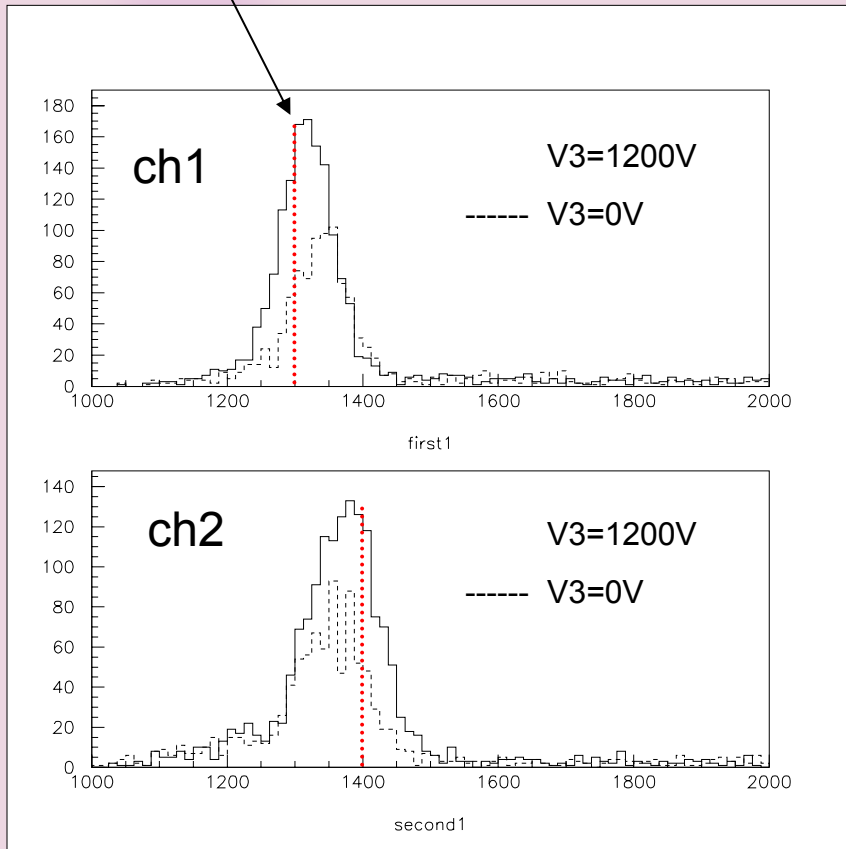
V3=1250V :1309 counts



V3の値を変えていった時のenergy spectrum

Calibrationでの
ピーク的位置

V3=0V :1080 counts

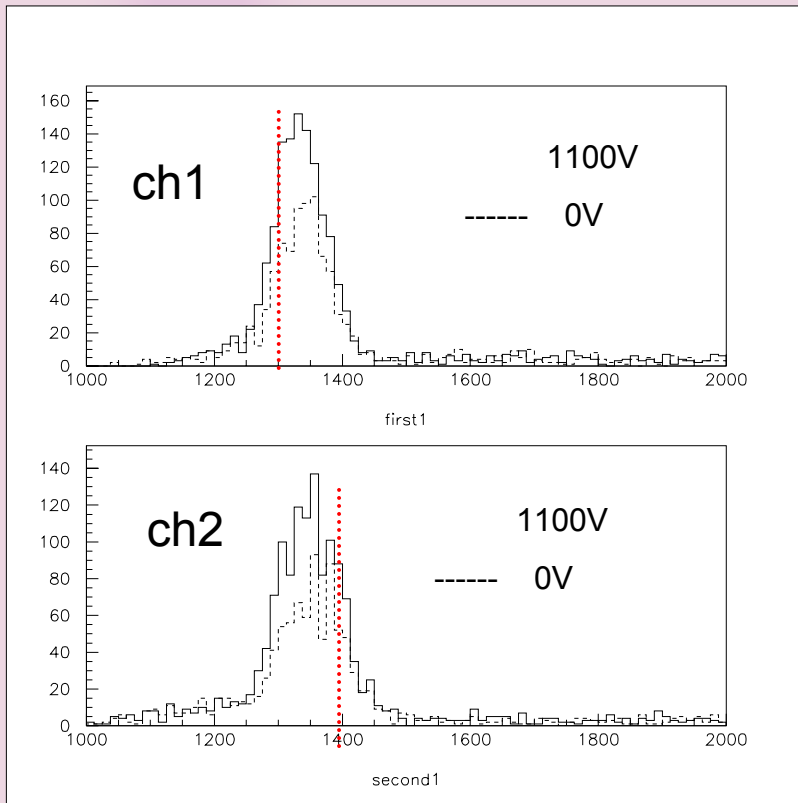


V3=1200V :1604 counts

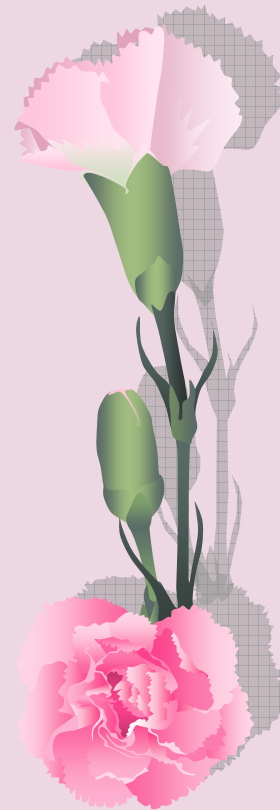
V3=1150V:1409 counts

V3の値を変えていった時のenergy spectrum

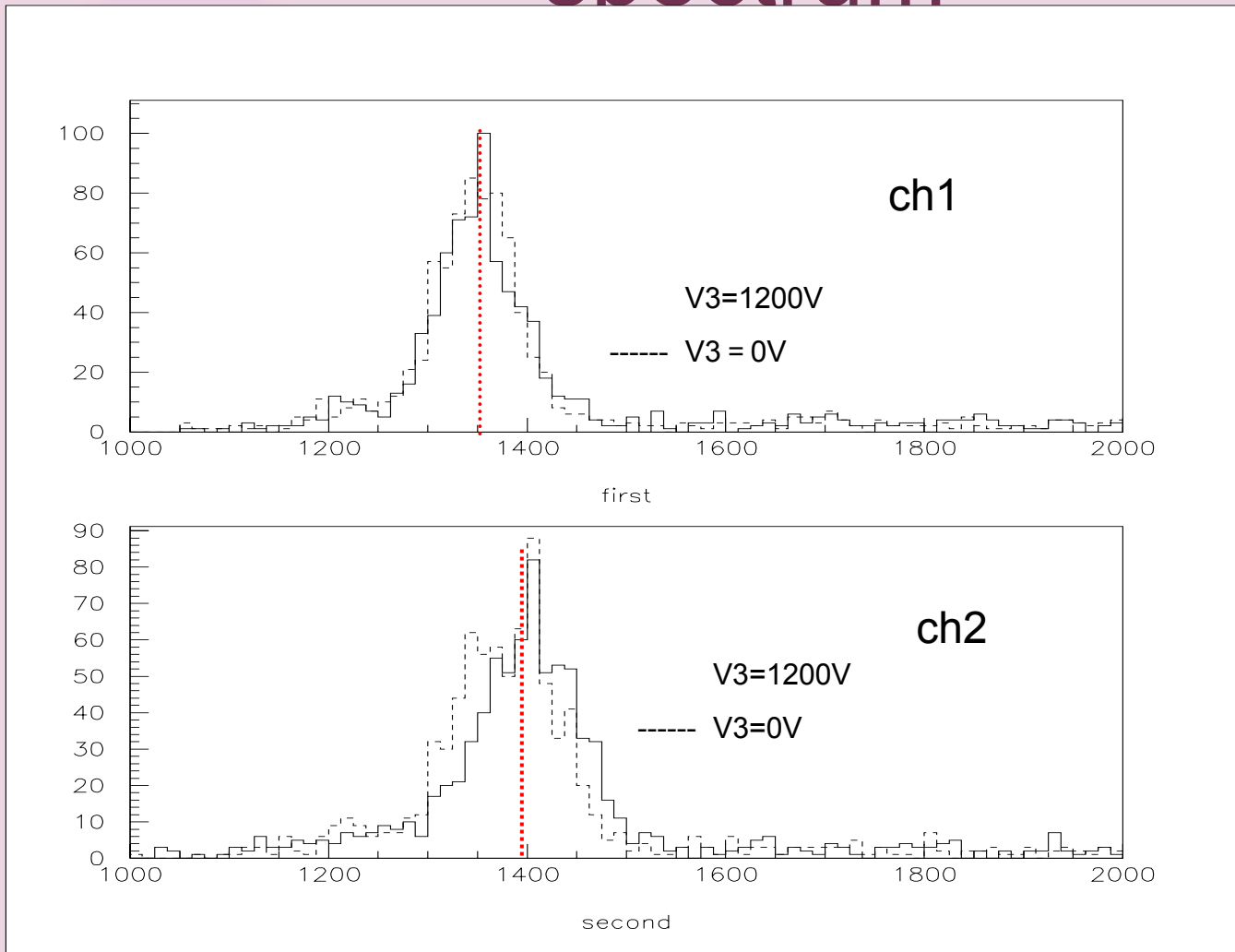
V3=0V :1080 counts/50000s



V3=1100V :1455 counts



Moderatorなしのときのenergy spectrum

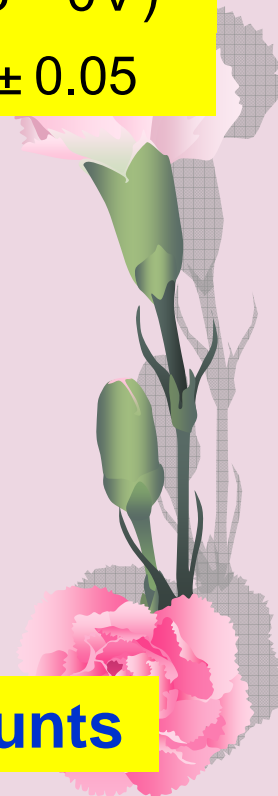


$$\frac{N(V3 = 1200V)}{N(V3 = 0V)} = 1.02 \pm 0.05$$

V3=1200V:843 counts

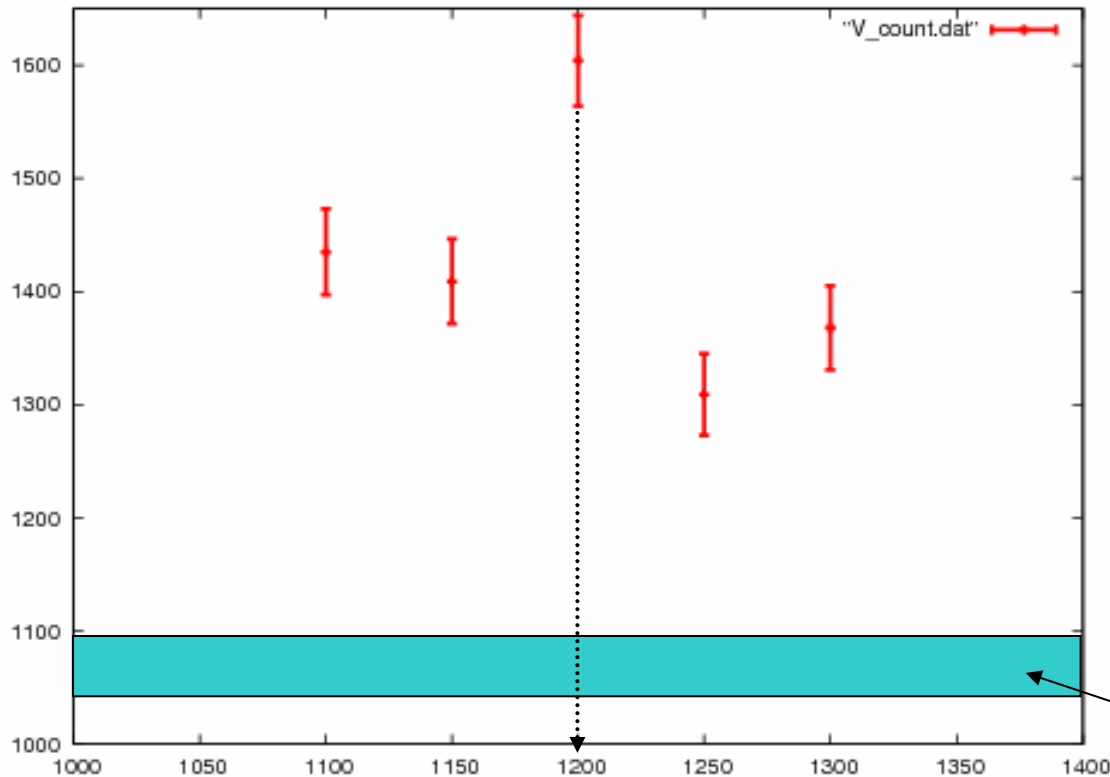
変化なし

V3=0V:829 counts



V3の値を変えていったときのcount数の変化(errorは統計誤差のみを考慮)

count



V3(V)

・明らかにcount数は増加している！

$$\frac{N(V3 = 1200V)}{N(V3 = 0V)} = 1.49 \pm 0.06$$

・熱電子の時は
V3=1275Vで最大効率

V3=0Vの時の
count (± 1)

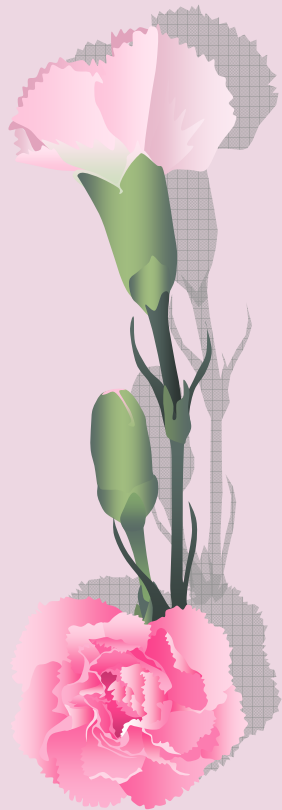


結果と考察 1

- ❁ $V_3=1200V$ の時のデータを用いるとbackgroundの個数を差し引いて、slow positronのrateは600個/50000sとなる。

これが統計的揺らぎによる確率は0

- ❁ $V_3=1200V$ の時、simulationにより2500eVのpositronはCHAで曲がることがわかった。加速電圧が2500Vなのでmoderatorから出たlow energyのslow positronのsignalを見ることができたと思われる。



結果と考察 2

Slow positron
のrate

輸送効率(熱電子の時の値)

$$600/50000 = 1.85 \times 10^6 \times 0.13 \times 1/4 \times 1/6 \times 0.75 \times (\text{moderatorの効率})$$

ソース強度 =
100 μ Ci/e (半減期)

Parapositronium
のfraction

Detectorの
acceptance

Chamber
での減衰

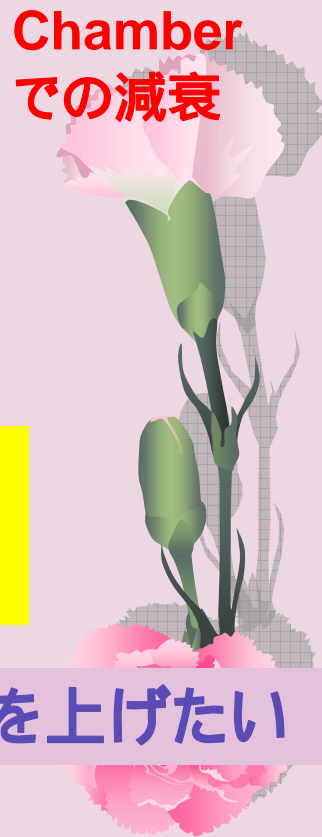
$$(\text{moderatorの効率}) = 1.6 \times 10^{-6}$$

Wien filterを用いてParityの破れを見るには明らかに数が足りない！

参考論文の値は 10^{-4}



Moderatorの効率を上げたい



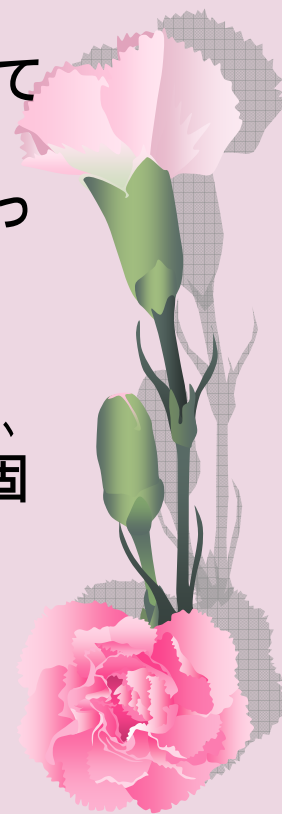
discussion

- ❁ 今回我々が行ったアニールにおいて真空度はreferenceの値よりかなり低かった(我々の 10^{-4} Torrに対してreferenceの値は 10^{-9} Torr) 真空度が低いと表面が酸化してyieldが小さくなる。

真空度を上げるには専用の炉が必要

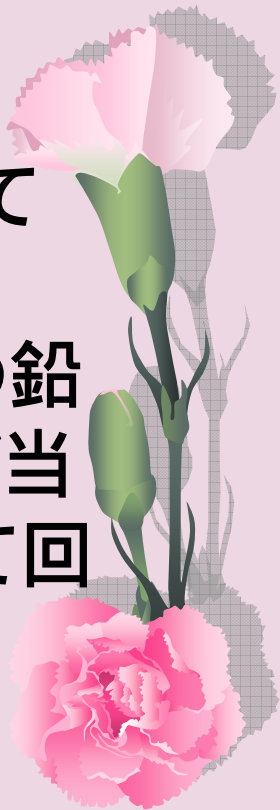
- ❁ アニール温度が高ければ高いほどyieldは大きくなることがわかっている。今回は、アニールするときのmoderatorの抵抗によってmoderatorに流せる電流が制限された。抵抗を小さくすることによって温度は上げられる可能性がある。

Reflection moderator(meshより抵抗は小さい)を試したところ、2000度ぐらいまで加熱することができた。しかし、非常にもろくなり、使うことができなかった。室温に戻す速度をもっと緩やかにしたり固定の方法をきちんと考えると使うことができる？

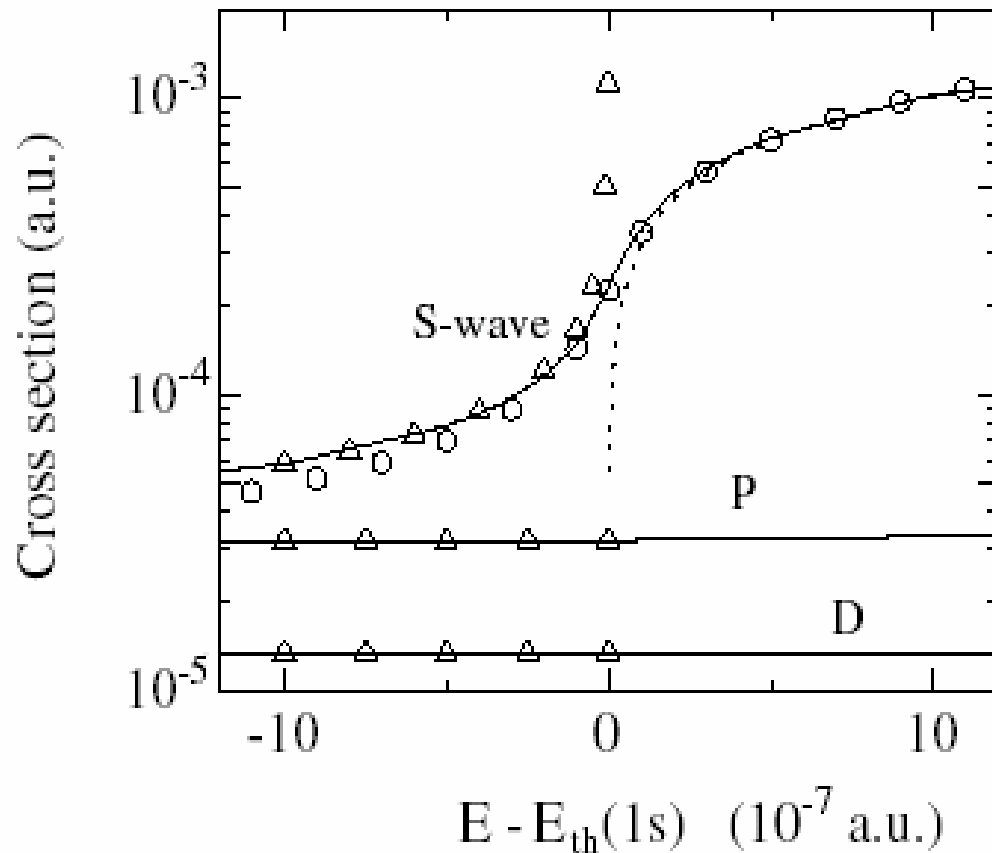


改善点

- ❁ Chamber内に鉛を入れて、backgroundを減らす
- ❁ 真空を切らずに熱電子とpositronで同時に測定できるようにする (sourceの上にフィラメントを置く)
- ❁ アニール方法の改善 (温度、真空度を上げる)
- ❁ 今回、positronがtargetに当たったことは要求していない。Parityの破れを見る時には磁化させたtargetに当てる必要がある。真空チェンバー内の鉛でビームをcollimationする、あるいはpositronが当たると二次電子を放出する素子(CEMA)を使って回路にその情報を組み込む？



Unified treatment of positron annihilation and positronium formation

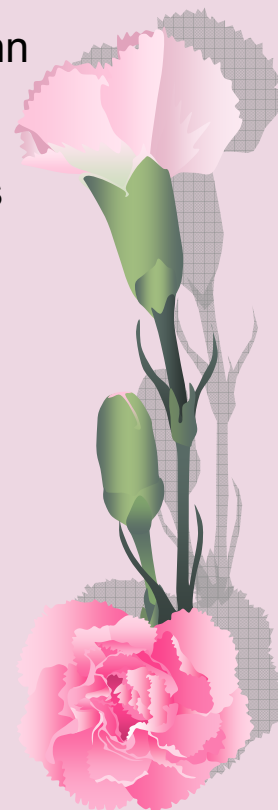


実線:

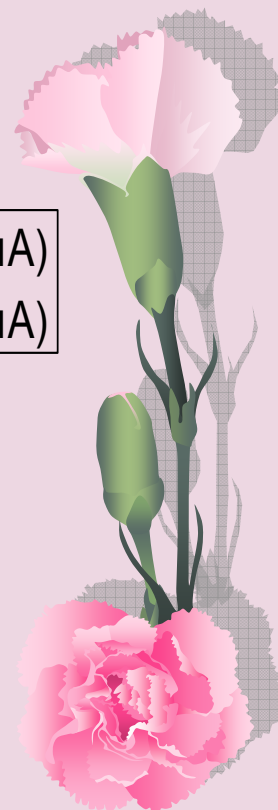
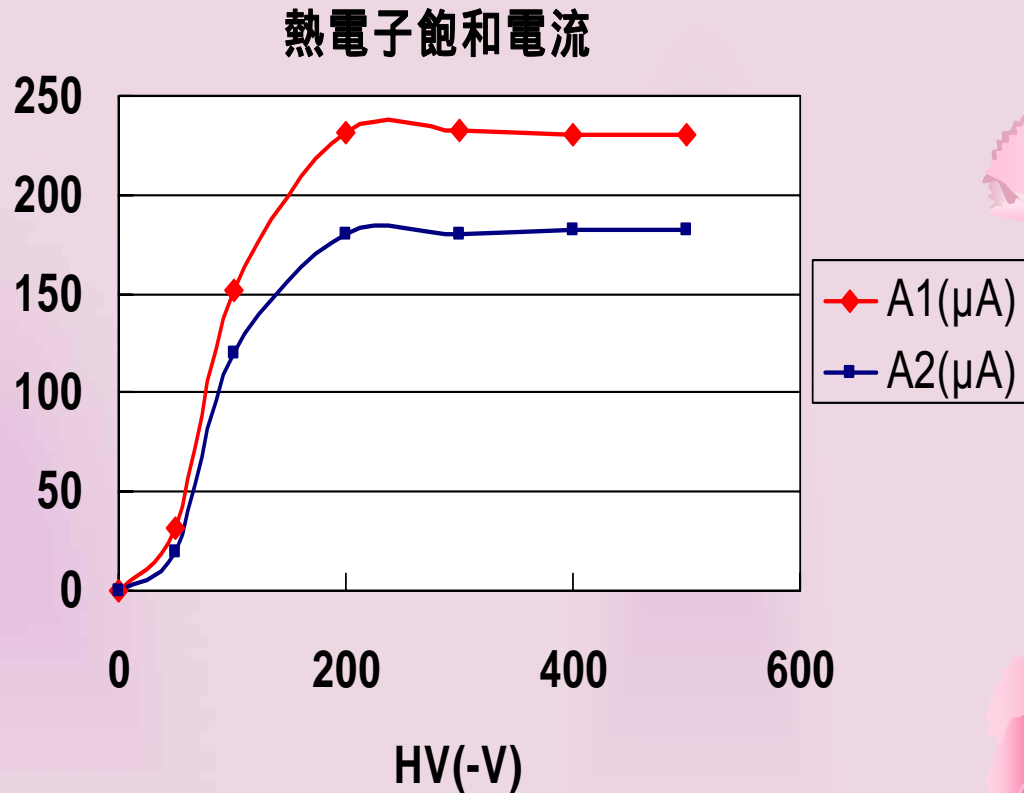
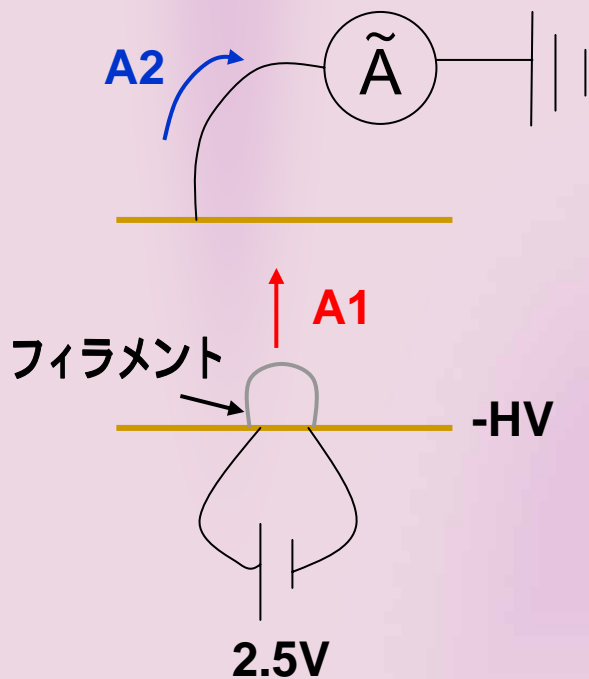
ann

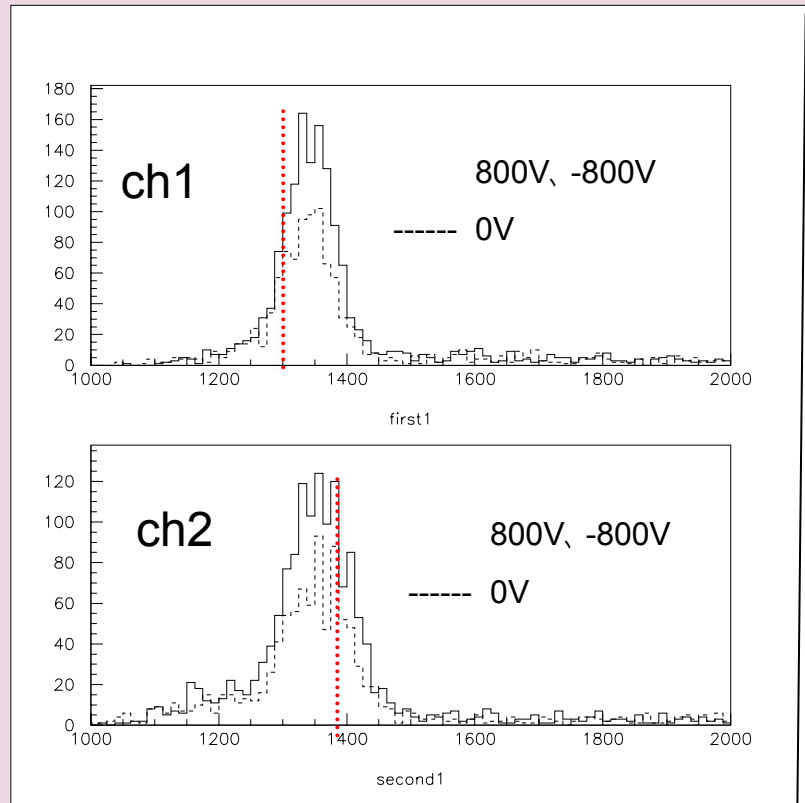
点線:

ps



熱電子飽和電流の測定





V3=800V ,V4=-800V:1382 counts

