



Consi' deviazioni generali

Mov, Gov : 15-19 Mer: 9-13

Laboratorio di Fisica delle Interazioni Fondamentali
Università di Pisa

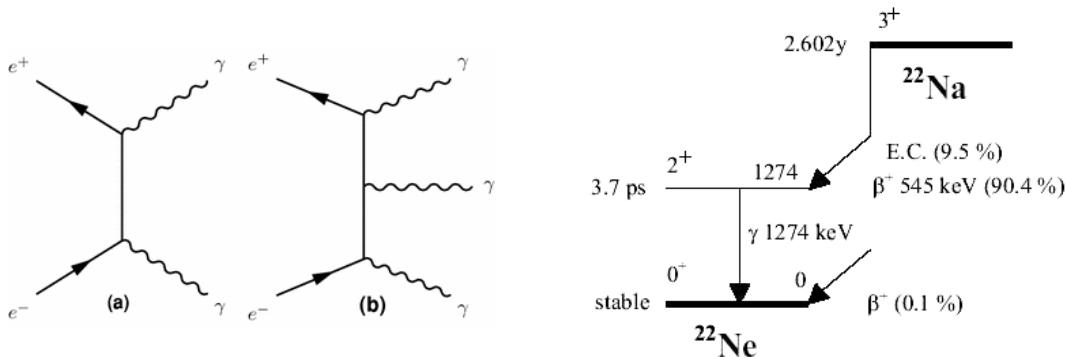
ANNICHLAZIONE DEL POSITRONE

Introduzione

Vari nuclidi radioattivi subiscono il cosiddetto decadimento β^+ , in cui viene emesso un positrone, rappresentando così una sorgente di antimateria facilmente accessibile in laboratorio. Quando un positrone interagisce con la materia, viene prima frenato, quindi annichila nell'interazione con un elettrone della materia ordinaria, producendo fotoni (γ). Il modo con cui questo avviene dipende dall'ambiente circostante, e può passare per uno stato legato intermedio (positronio), e infine produrre 2 o più fotoni nello stato finale.

Questo particolare fenomeno, noto ormai da decenni, è tuttora oggetto di interesse in alcuni laboratori di ricerca ai fini di eseguire test di QED e ricerca di possibili effetti di "nuova fisica". Ha inoltre applicazioni nell'indagine della struttura di materiali speciali, e nella diagnosi medica tramite immagini (Positron-Emission Tomography).

In questa esperienza si utilizza una sorgente di ^{22}Na (vedi schema) e degli scintillatori inorganici (NaI), per misurare le caratteristiche energetiche e temporali dei fotoni γ emessi dalla annichilazione di positroni.



Principali obiettivi da raggiungere

1. Osservare la annichilazione positrone-elettrone in 2 fotoni.
2. Misurare la massa del positrone con la massima precisione raggiungibile con l'apparato.
3. Misurare la probabilità relativa del decadimenti in 3 fotoni $\text{BR}(3\gamma)/\text{BR}(2\gamma)$ e ricavarne una misura della costante di struttura fine α_{EM}
4. Misurare la distribuzione del ritardo temporale tra l'emissione del positrone e la sua annichilazione, per evidenziare la possibile presenza di una componente a vita media non nulla (in relazione al materiale in cui avviene il processo).

Apparato sperimentale

- Sistema di supporto della sorgente ^{22}Na ;
- Sorgenti di calibrazione mobili: ^{22}Na , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs ;
- 3 rivelatori di γ a scintillatore NaI.
- ADC veloce a 14 bit, 250 MS/s (CAEN N6725 a 8 canali)
- Alimentatori HV per i PMT;
- Moduli logici NIM vari: ritardi, coincidenze, timers, contatori.
- PC per l'acquisizione dei dati, dotato di un semplice software (WAVEDUMP) per acquisizione dall'ADC via interfaccia USB.

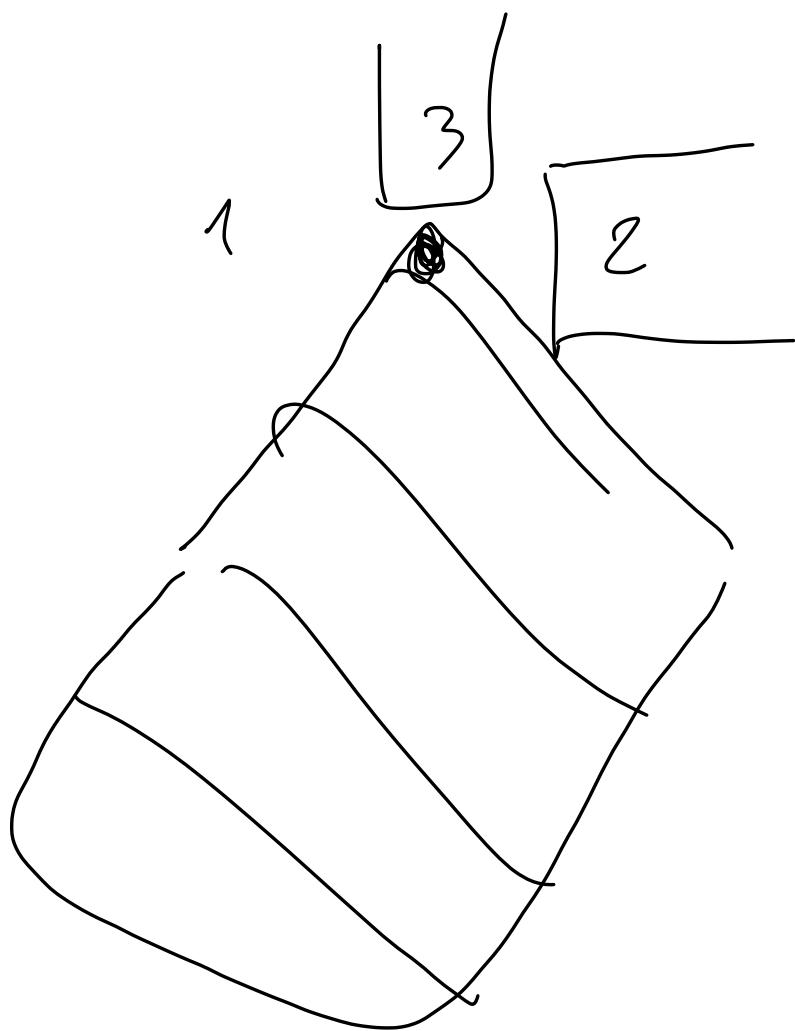
Procedure suggerite

- ✓ 0. Informatevi dal tecnico di laboratorio sulle procedure corrette da seguire per operare in sicurezza sul vostro apparato, e seguitene scrupolosamente le indicazioni;
- ✓ 1. Posizionate uno dei vostri rivelatori a NaI su un supporto stabile, quindi alimentate il fotomoltiplicatore, sulla base delle prescrizioni date dal tecnico di laboratorio, e visualizzate il segnale all'oscilloscopio. Vedete gli eventi di fondo ?
- ✓ 2. Ottenete dal tecnico la scatola delle sorgenti di calibrazione, seguendo le procedure apposite. Disponete una sorgente opportuna davanti al vostro rivelatore. Prestate sempre la massima attenzione a rispettare le necessarie precauzioni durante tutto il periodo in cui utilizzate sorgenti radioattive.
- ✓ 3. Osservate all'oscilloscopio il segnale di uscita del rivelatore, e verificatene le caratteristiche temporali e la frequenza media. Confrontatele con le caratteristiche del modulo ADC a vostra disposizione (CAEN N6725, di cui avrete esaminato la documentazione prima di venire in laboratorio), e decidete se e' direttamente compatibile o se e' necessario qualche step intermedio (es. attenuazione del segnale, aggiustamento dei setting del ADC...).
- ✓ 4. Collegate il segnale del rivelatore a uno degli input del modulo ADC. Assicuratevi che il modulo sia in modalita' self-triggering, per cui possa sincronizzare l'acquisizione sui segnali di input senza l'ausilio di un segnale di trigger esterno. Avviate il software di acquisizione sul PC a vostra disposizione (di cui avrete letto la documentazione in anticipo). [usare 'wavedump' da terminale]. Se disponibile, utilizzate una funzione di visualizzazione per controllare in tempo reale che gli impulsi che avete visto all'oscilloscopio siano correttamente digitalizzati, entro il range dello strumento.
- ✓ 5. Una volta raggiunta la confidenza nella correttezza di tutti i settings, acquisite un campione di dimensioni ragionevoli, salvandolo su un file locale. Potete esportare il file anche su un dispositivo esterno a vostra scelta, per analizzarlo successivamente off-line.
- ✓ 6. I files acquisiti contengono, in corrispondenza di ogni evento rivelato dal trigger interno, una sequenza temporale di valori letti sui canali di ADC del modulo. Dovrete ora scrivere un programma software (con il sistema che preferite) che vi fornisca per ogni evento registrato una misura della energia totale rilasciata all'interno del cristallo NaI, e crearne poi degli istogrammi. Questo puo' essere fatto a diversi livelli di sofisticazione, e si raccomanda di iniziare con il metodo piu' semplice possibile, per ritornarci eventualmente solo in secondo tempo per raffinamenti. Il primo obiettivo deve essere quello di individuare correttamente lo spettro di una sorgente di calibrazione opportuna.

7. Raggiunto l'obiettivo del punto precedente, utilizzerete delle prese dati eseguite con altre sorgenti a disposizione, in modo da misurare un numero sufficiente di picchi di riferimento, per poter calibrare con precisione la scala di energia e la risoluzione del vostro sistema di rivelazione. Farete questo per tutti i rivelatori NaI di cui avrete necessita'.
8. Utilizzate uno (o piu') dei rivelatori calibrati al punto precedente per ricavare uno spettro dettagliato delle emissioni del nuclide ^{22}Na , da una sorgente di calibrazione. Verificate la presenza dei picchi attesi, e commentate le caratteristiche dello spettro nella relazione.
9. Realizzate ora un sistema per acquisire simultaneamente due rivelatori in linea (a 180°) con il vostro ADC. Fate in modo da poter operare sia un trigger indipendente su ciascuno dei due, che un trigger sulla loro coincidenza temporale (entro limiti da stabilire). Potete realizzare questo con i moduli NIM a disposizione, e inviare poi il segnale al modulo ADC, che avrete predisposto per il funzionamento con trigger esterno. Questo sistema puo' essere usato per varie delle misure che seguono.
10. Chiedete al tecnico di laboratorio di installare nella postazione fissa la sorgente primaria di ^{22}Na . Potete opzionalmente chiedere che vengano inseriti anche campioni di specifici materiali nei quali intendete studiare il processo di annichilazione.
11. Realizzate una prima misura dell'energia dei fotoni emessi nella annichilazione, sfruttando i parametri di calibrazione precedentemente ottenuti. Questa fornisce una misura della energia totale del sistema che annichila, da cui potete dedurre una stima del valore della massa del positrone. Confrontatela con il valore tabulato della massa dell'elettrone e discutete i risultati.
12. Ponetevi ora l'obiettivo di compiere una misura della massa del positrone(/elettrone) con la massima precisione ottenibile dal vostro apparato. Riflettete su quali fattori possono influenzare maggiormente l'incertezza, e trovate il modo di eliminarli o ridurli.
13. Uno dei fattori che possono influire sulla incertezza della misura del punto precedente e' la variabilita' della risposta dei rivelatori nel tempo. Determinate se questo e' un fattore significativo nel vostro caso, e in caso affermativo trovate in modo di compensare queste variazioni e ottimizzare la precisione. Se vi sembra necessario, considerate anche la possibilita' di organizzare la presa dati in modo da avere un riferimento di calibrazione continuo, che sia presente per tutta la durata della acquisizione.
14. Ci si aspetta che una certa frazione delle annichilazioni avvengano in tre fotoni anziche' due¹. Realizzate una configurazione sperimentale dei rivelatori che vi permetta di cercare efficacemente per l'evidenza di decadimenti in 3 fotoni. Ponete attenzione alla geometria, accettanza, e schermatura dei rivelatori. Acquisite quindi dati in questa configurazione, piu' eventualmente altre configurazioni di controllo in cui non vi aspettate segnale che possano servire per confronto.
15. Misurate quindi il rate di eventi con tre fotoni prodotti, o ponetevi un limite superiore.
16. Se siete riusciti a rivelare il decadimento di cui al punto precedente, utilizzatelo per realizzare una misura della costante di struttura fine α_{EM} piu' precisa che vi riesce.
17. Estendete ora il vostro programma di analisi degli impulsi, in modo che determini anche il tempo di arrivo del segnale oltre alla sua ampiezza. Questo puo' essere fatto in una varieta' di modi; di nuovo si suggerisce di iniziare con un metodo il piu' possibile semplice, rimandando eventuali raffinamenti ad una seconda fase. Determinate la risoluzione temporale che avete ottenuto.
18. Utilizzate ora il programma realizzato al punto precedente per eseguire misure della differenza tra i tempi di arrivo dei due fotoni ricostruiti, e determinate cosi' la risoluzione temporale del vostro sistema, eventualmente ottimizzando l'algoritmo per massimizzarla.

¹vedi ad esempio: A. Ore and J. L. Powell, Phys. Rev. 75, 1696

19. Utilizzate ora il programma realizzato al punto precedente per eseguire misure della differenza temporale tra il fotone emesso inizialmente dal ^{22}Ne e quelli prodotti dalla annichilazione del positrone. Scegliete la configurazione geometrica dei rivelatori che vi pare piu' vantaggiosa per questa misura. Discutete quindi i risultati ottenuti e il confronto con le vostre aspettative. C'e' una dipendenza dal materiale in cui il positrone si annichila ? C'e' una dipendenza delle caratteristiche del decadimento dal tempo a cui avviene ?

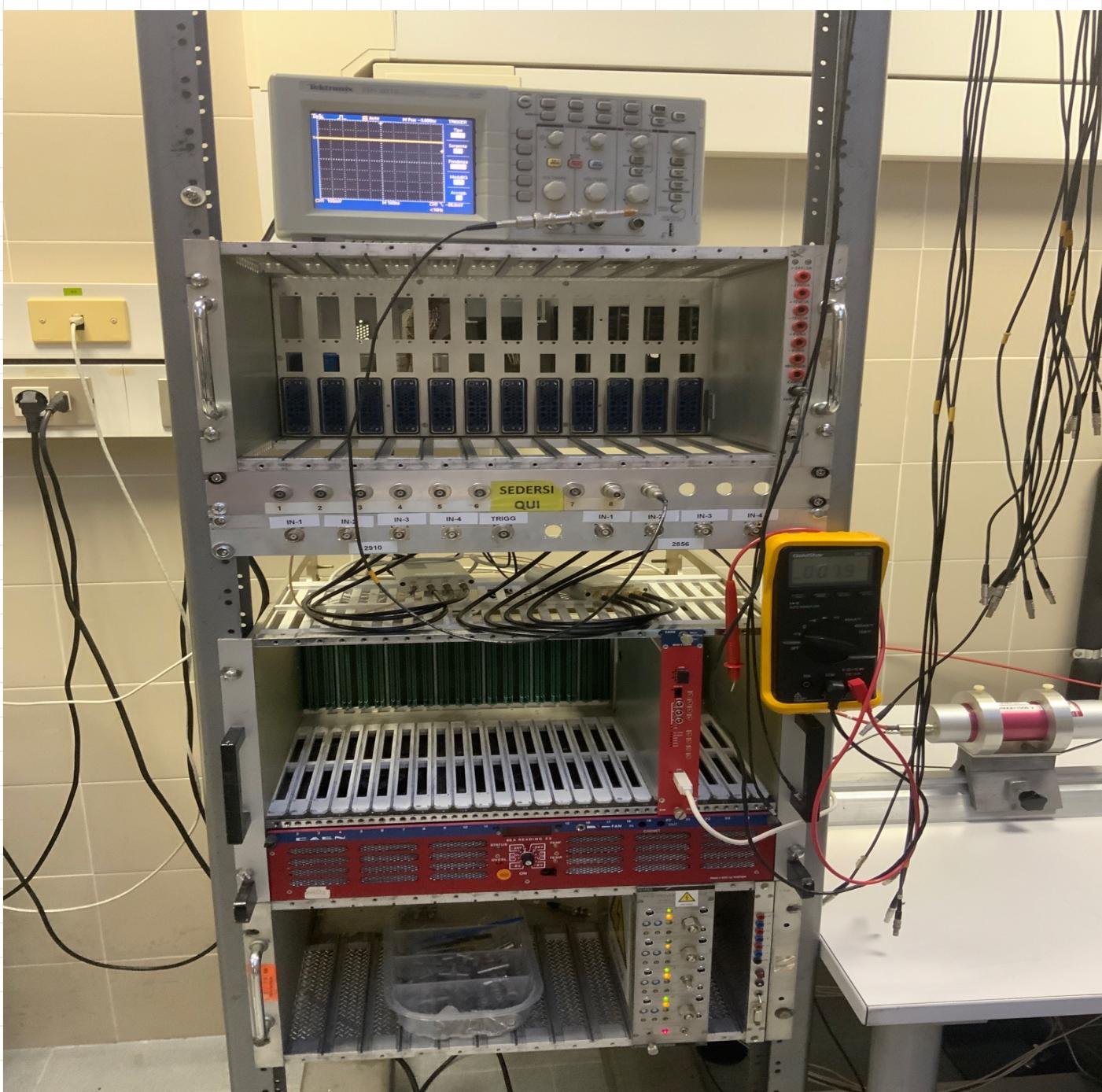


Possibili fattori da ricordare più in dettaglio

- Tensione di alimentazione PMT così da messurazione con FOM
 - Sottrarre il fondo allo spettro complessivo per ottenere veri picchi
 - Segnale somma fotografico da sostituzione (probabilmente somma e coincidenza)
 - Emette sistema nell'over suppose i punti Gaussoiani → entrode GOF
 - Problema backscatter coincidenti su Co
 - Uso del Compton edge e vera distribuzione per Compton Pleasan
 - Problema ∝ sulle sole spettre
 - Si ritiene che μ dello Gauss è l'alone nella Fig. anzidetto
-
- Problema efficienza dei singoli pmt
 - Variazione di scala calibrazione di un pmt nel tempo, come stimarla? Come misurarla? In teoria questo effetto svanisce con la calibrazione in tempo reale?
-
- Mettere un limite superiore ai vari effetti sistematici
 - Problema termine noto non nullo nei fit lineari
 - Sorgente non è a simmetria sferica

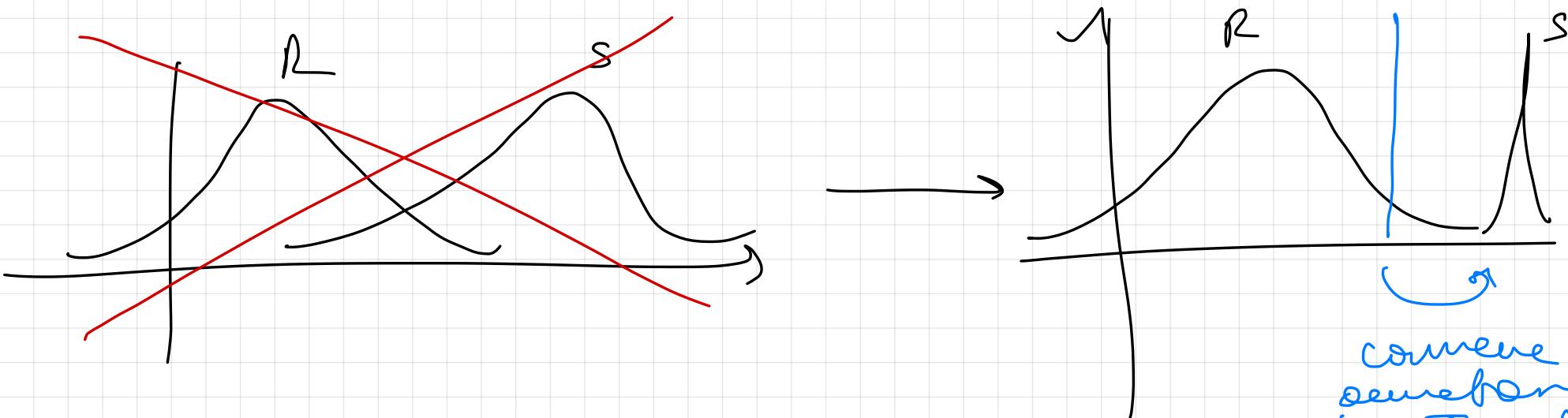
22/02

- Corriamo chi Oliverde cosa
- Verifichiamo con un oscilloscopio come funzionano gli discriminatori MV



- Abbiamo la tensione VA dei PMT a $\sim 800\text{V}$
- Vediamo cosa funziona l'ADC
- Vediamo di ottocore FM1 e FM2 ci sono e CH1 dell'ADC vengono le spine, in ingresso nessuna è obbligata al segnale di conseguenza (frequenza e V_{pp})
- Rivediamo di apprezzare delle singole segnalazioni condivise con l'espansione in pulsazione con il funzionamento di wave dump

- Vedremo subito che le frequenze di trigger dell'oscilloscopio sono state notevolmente variate
- FM 1 è quella di tensione ho freq molto più alta di FM 2 \rightarrow altre frequenze V_{A1} per cui o meno a questo punto delle variazioni nel circuito segnale, che è ~delta rispetto al canale



come
sempre
la Thr (obbligato)
 \sqrt{A})

titolo avrà
un po' più
di segnale

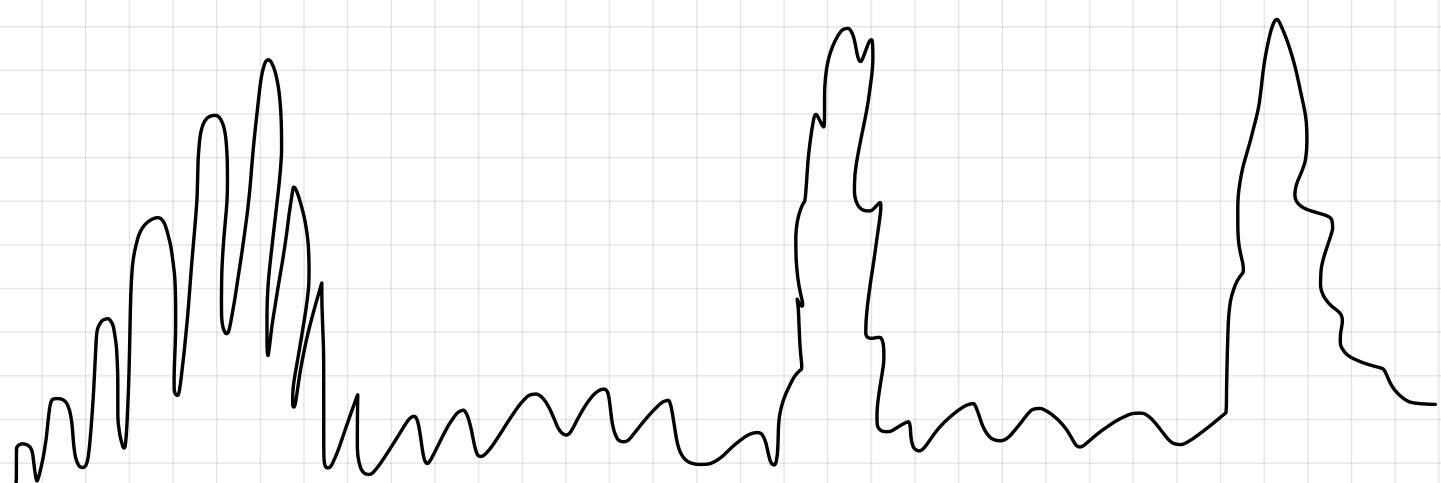
Inoltre molto è
segnale dopo queste
variazioni

$\approx 10\text{Hz}$ sotto song
 $\approx 100\text{Hz}$ con song

Notiamo $V_{A1} \approx 690\text{V}$, $V_{A2} \approx 960\text{V}$

\rightarrow all'oscilloscopio

- Istruzioni per la calibrazione per destra del Colpitts con baseline = 10 e soglie trigger 3200 $\rightarrow V_{TRIG} \approx -200\text{mV}$ rispetto al segnale, non baseline Sul PM 1



PMT 1	ω_1	$\sim 15 \text{ Hz}$ (sensibilità $\lesssim 1 \text{ Hz}$)
PMT 2	ω_2	$\sim 20 \text{ Hz}$
PMT 1	$N\omega$	$\sim 5 \text{ Hz}$ (sensibilità $\lesssim 1 \text{ Hz}$)

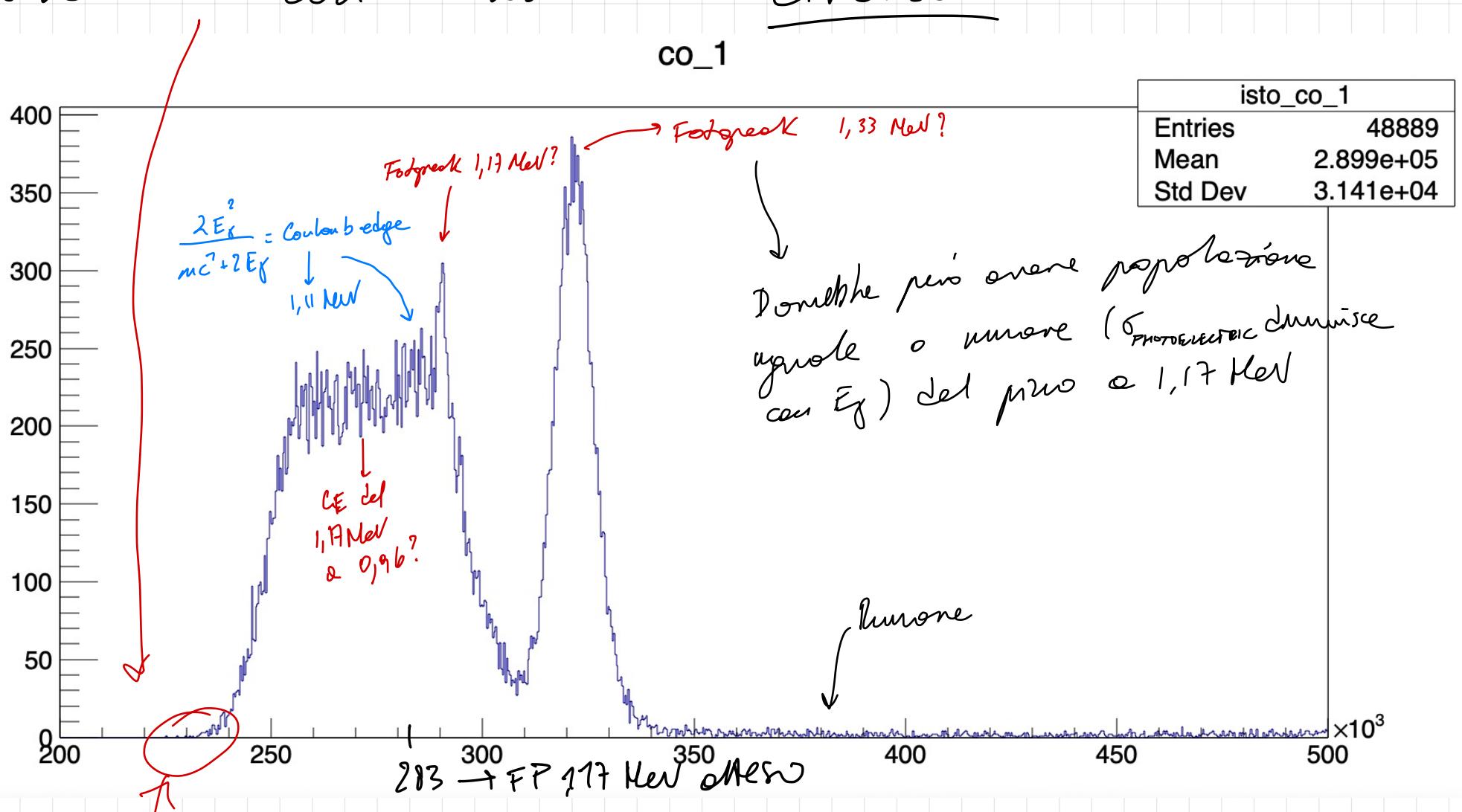
↓

con stesse Th e $\sqrt{\lambda}$

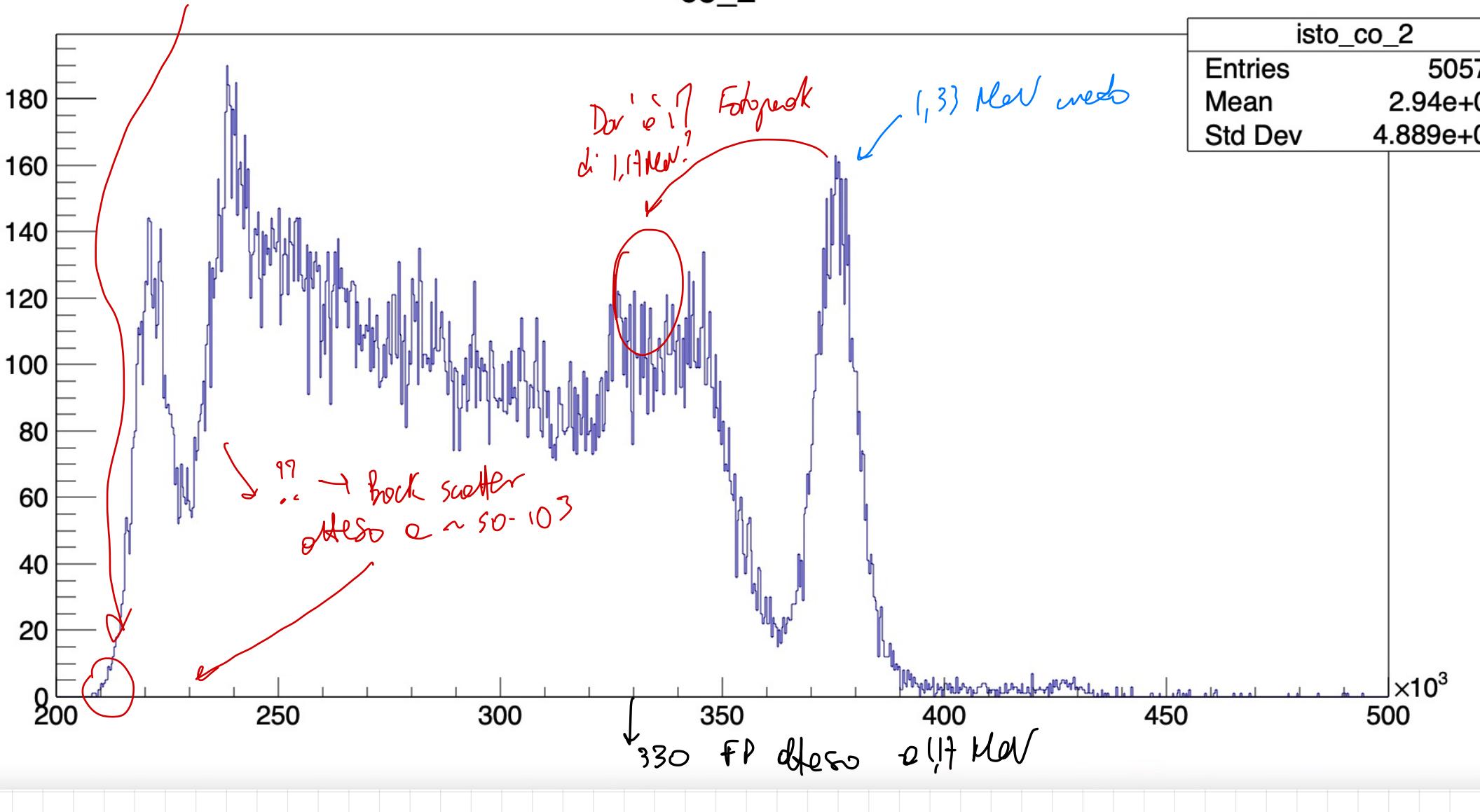
Interessante che troviamo una freq di eventi
maggiormente monodattile ove siamo scelti a PM 1
per equilibrare la freq di Fondo con PM 2
→ forse non si tratta di sensibilità:
dovendo PM 1 ha più rumore internamente

Connessione a qualche si osservato (Colabhi
per incarico Difetti Russi 01/03/22)

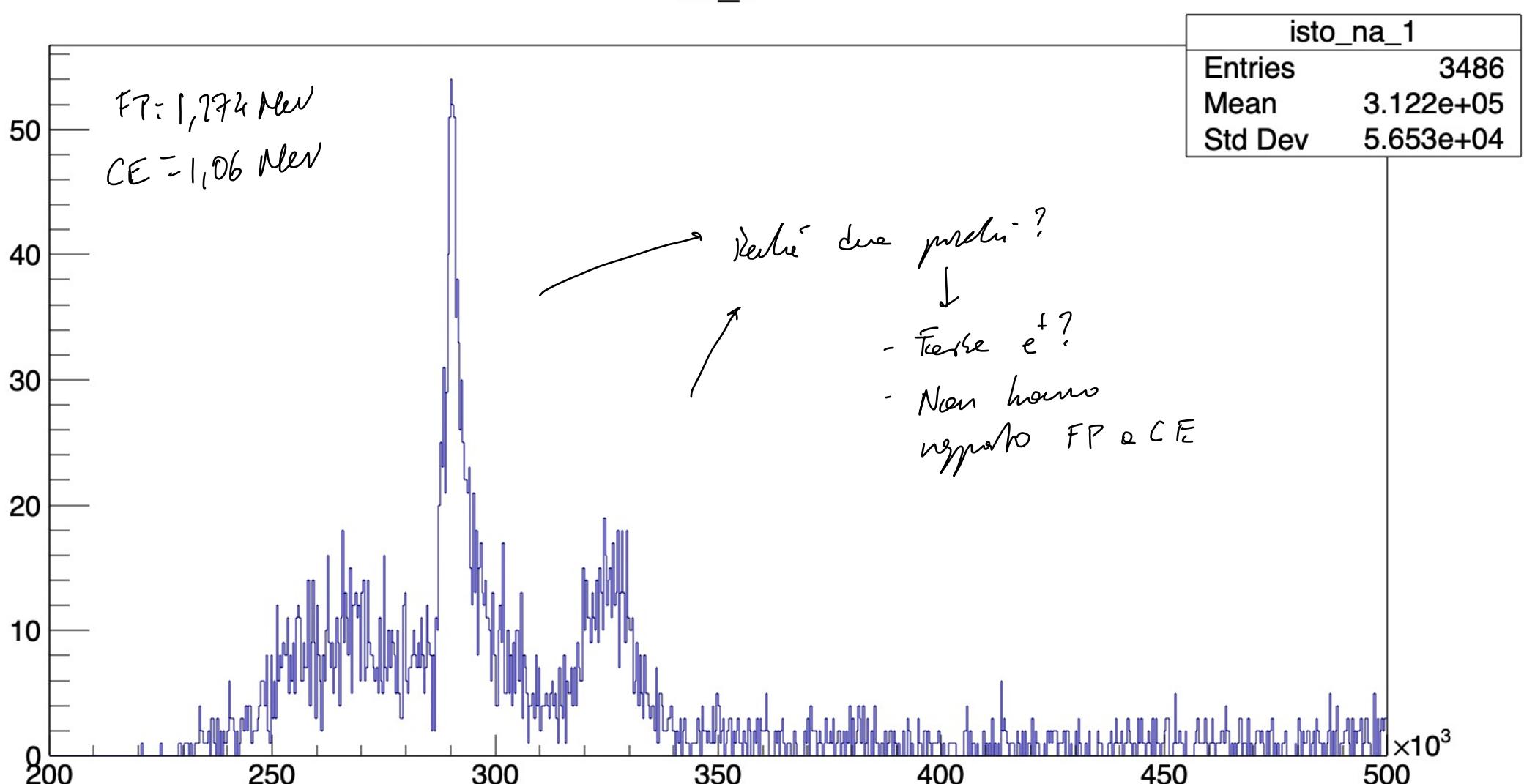
- Differenze tra ω_1 e ω_2
- Potenziali molto simili per il taglio di trigger
- Problemi con le minime diverse



co_2



na_1



Problema Risoluzione → sono dell'ordine di 1-2%, troppo piccolo rispetto a quello ottenuto (e.g. si chiede NEL dire ~7% time)

De fore

- Provone le sì
- Dove m' pesh proth —
- Provone con dahi noe proth me di fond
- Combinare eventualmente l'obbligo di change

01/03/22

$$\approx V_{THC} = 100 \text{ bit}$$

Abbiamo messo CS_1 e CS_2 \checkmark (frequenze segnale 4 e 5 kHz risp, fondo $\sim 100 \text{ Hz}$) e PMT1 - NULL, cioè triggere sul PMT2 per tracce even fi \sim per PMT1

02/03/22

Prendiamo IP fondo su PMT1 e PMT2 a $V_{THC} = 100 \text{ bit}$
(come già detto a questo V_{THC} fondo $\sim 100 \div 200 \text{ Hz}$)

Prendiamo anche PMT2 - NULL \sim

Prendiamo Cobalto su 1 con $V_{THC} = 100$ ($f \sim 1 \text{ kHz}$) e
N° 1 con $V_{THC} = 100$ ($f \sim 400 \text{ Hz}$)

Prendiamo Cobalto su 2 con $V_t = 100$ ($f \sim 1,3 \text{ kHz}$)
e N° 2 con $V_t = 100$ ($f \sim 400 \text{ Hz}$)

03/03/22

Nuove posizioni \rightarrow Problema: a 960V one PMT2 ha segnale con $V_{PP} > 2 \rightarrow$ non va bene \rightarrow ottimizziamo e DSIV \rightarrow bisogna riprenderne calibrazioni.

(PMT1 a 691V non fa questo scherzo)

Nel calibro si sono ottenuti anche con sorgenti non superrispondenti $V_{PP} > 2$ (come che non erano visitate nell'altra storia)

PMT2 - CS_100_851 : $\sim 4 \text{ kHz}$

PMT2 - m_100_851 : $\sim 300 \text{ Hz}$

PMT2 - CO_100_851 : $\sim 1,2 \text{ kHz}$

PMT2 - BKG_100_851 : $\sim 90 \text{ Hz}$

Abbiamo fatto l'audioso con PMT1 a 690 V per PMT1
con i vari materiali

PMT1 - CS - 100 - 690 : ~ 4 kHz

PMT1 - no - 100 - 690 : ~ 300 Hz

PMT1 - CO - 100 - 690 : ~ 1,2 kHz

PMT1 - BKG - 100 - 690 : ~ 90 Hz

Abbiamo poi messo il solo potente NA in cassetta E6 e abbiamo messo PMT1 e PMT2 separata e in coincidenza, con un modulo NIM discriminatore -32,3 mV e -20,6 mV con durata ~25ns e ~50ns

PMT1 - NA - E6 - 100 - 690

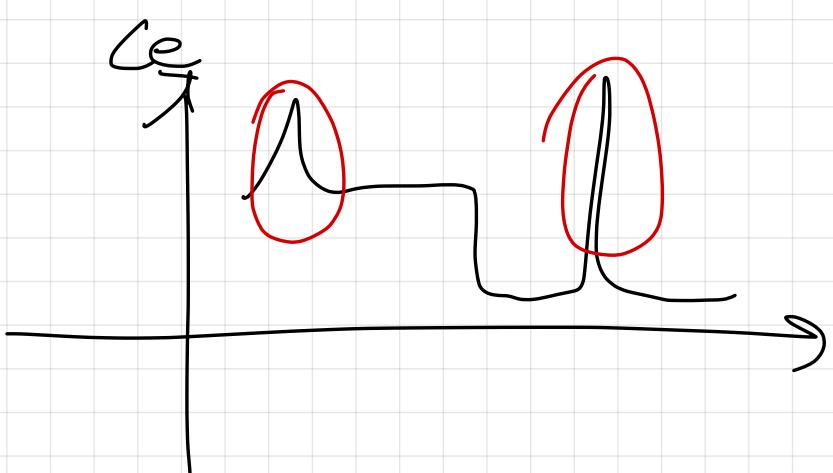
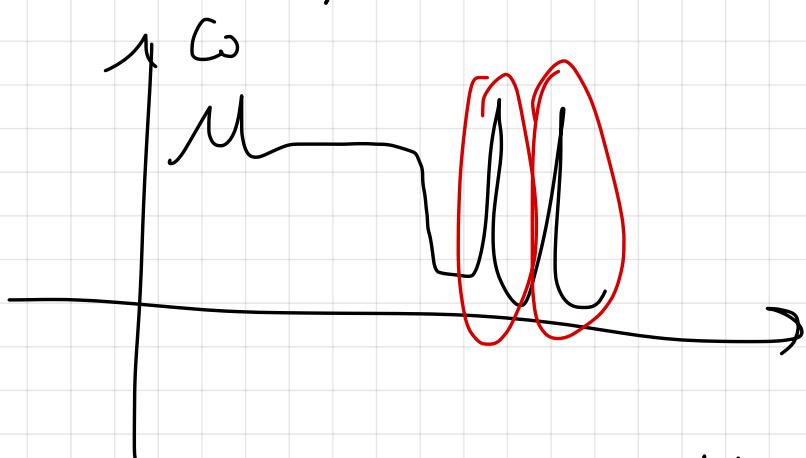
coincidence - pmt1

PMT2 - NA - E6 - 100 - 851

coincidence - pmt2

Ren' è coincidente o $\frac{3}{\text{TRGEXT}(\omega(n)) \text{ OR CH1 OR CH2}}$

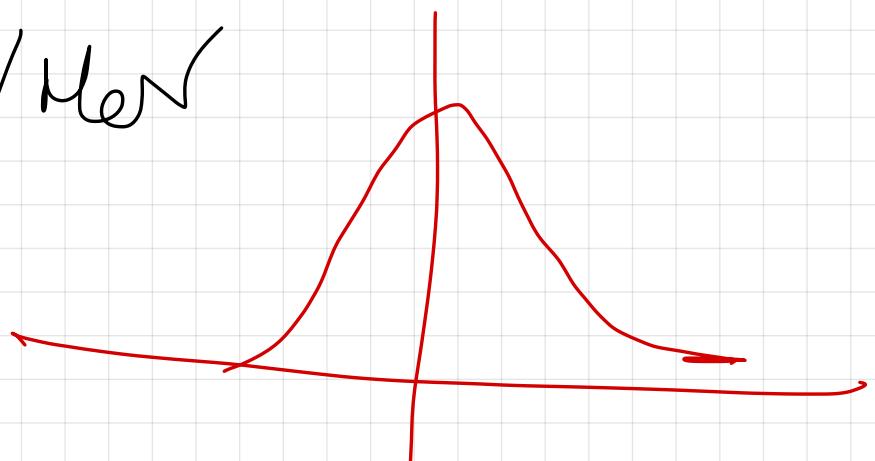
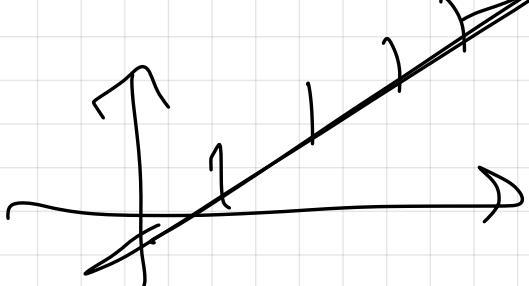
Abbiamo messo come picchi di calibrazione



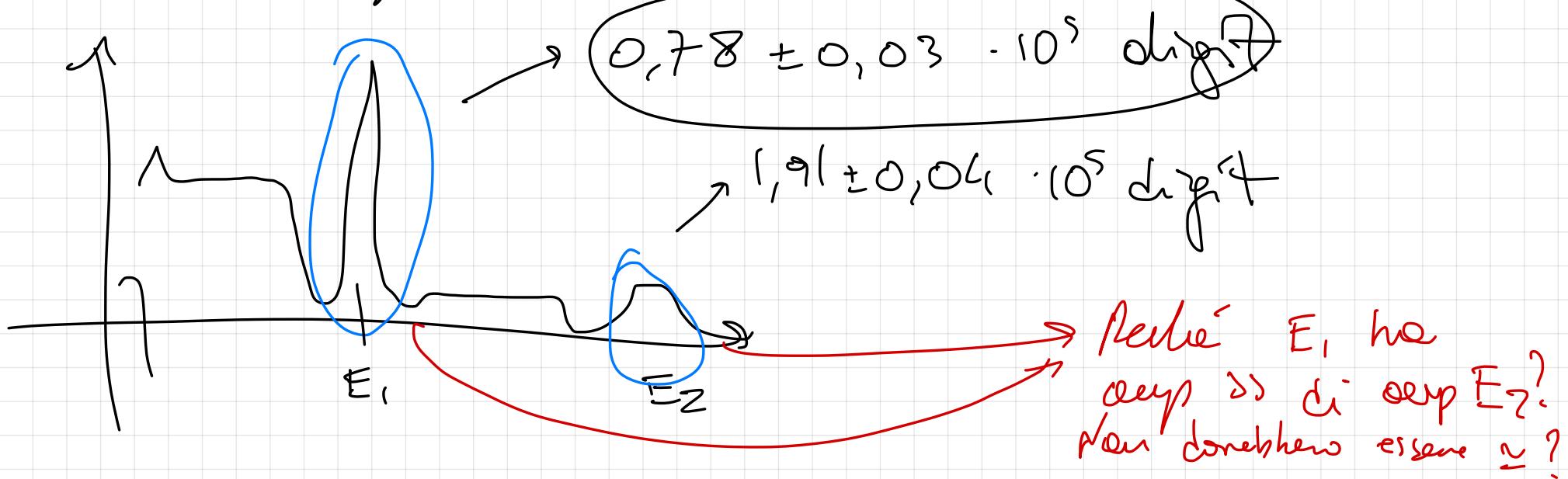
dei 4 punti

Fit lineare con C++ (funzione Fit) da
come risultato:

$$\xi = 1,45 \pm 0,05 \cdot 10^5 \text{ digit/MeV}$$



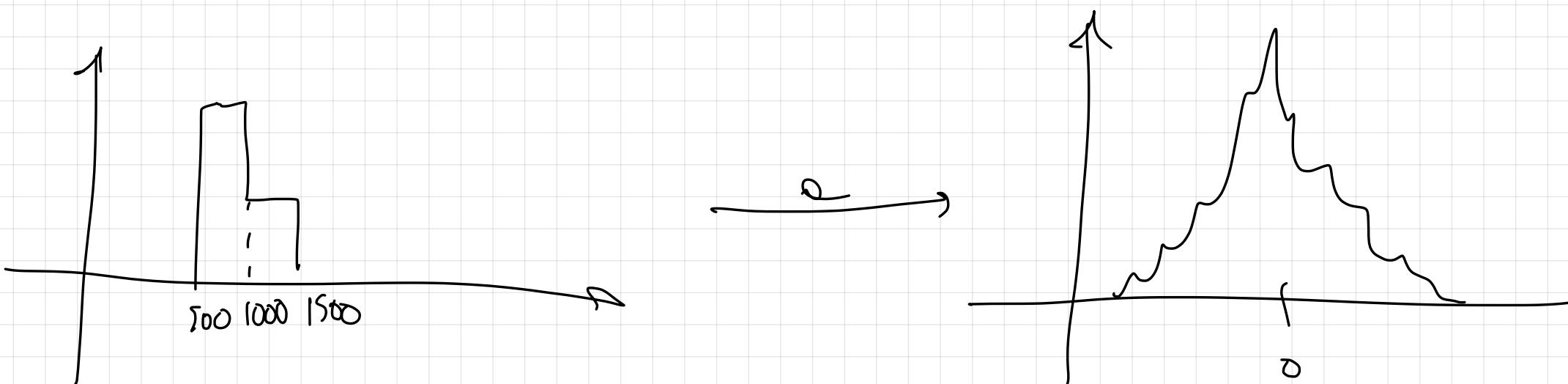
Bremstroem = 2 pulsazioni del sonar



$$\Rightarrow E_1 = 0,54 \pm 0,03 \text{ MeV} \quad (\beta^+ \text{ ha } E \text{ atteso } 545 \text{ keV})$$

$$E_2 = 1,32 \pm 0,05 \text{ MeV} \quad (E_\gamma \text{ atteso } 1,274 \text{ MeV})$$

Usando invece di ped-amp / \rightarrow ped-amp il molto
(null) va da



Quindi se si usa ped-amp lo spettro does actually
risponde a $E=\phi$ entro l'entore

Incontro 08/03/21

- Problema χ^2 troppo ruolo
- Ogni volta si calcola perché $E_{\text{BACKSCATTER}}$ e E_{CE} dipendono da me
- Va bene trigger e 3 → selezione in software
- Fatto sotto E totale del fotomoltiplicatore, non solo
Oggetti
- Modifica layout così le frapposizioni
sulle coincidenze
- Sezione più grande comune a 3
e scatter plot per vedere correlazioni
→ si può estrarre le soglie
- Come trovare eventualmente illuminazione
e inoltre sui punti delle calibrazioni
(χ^2 show ed esigo)
- Come poi duplicare punti diversi
- Dimostrazione l'annullamento in due fotoni

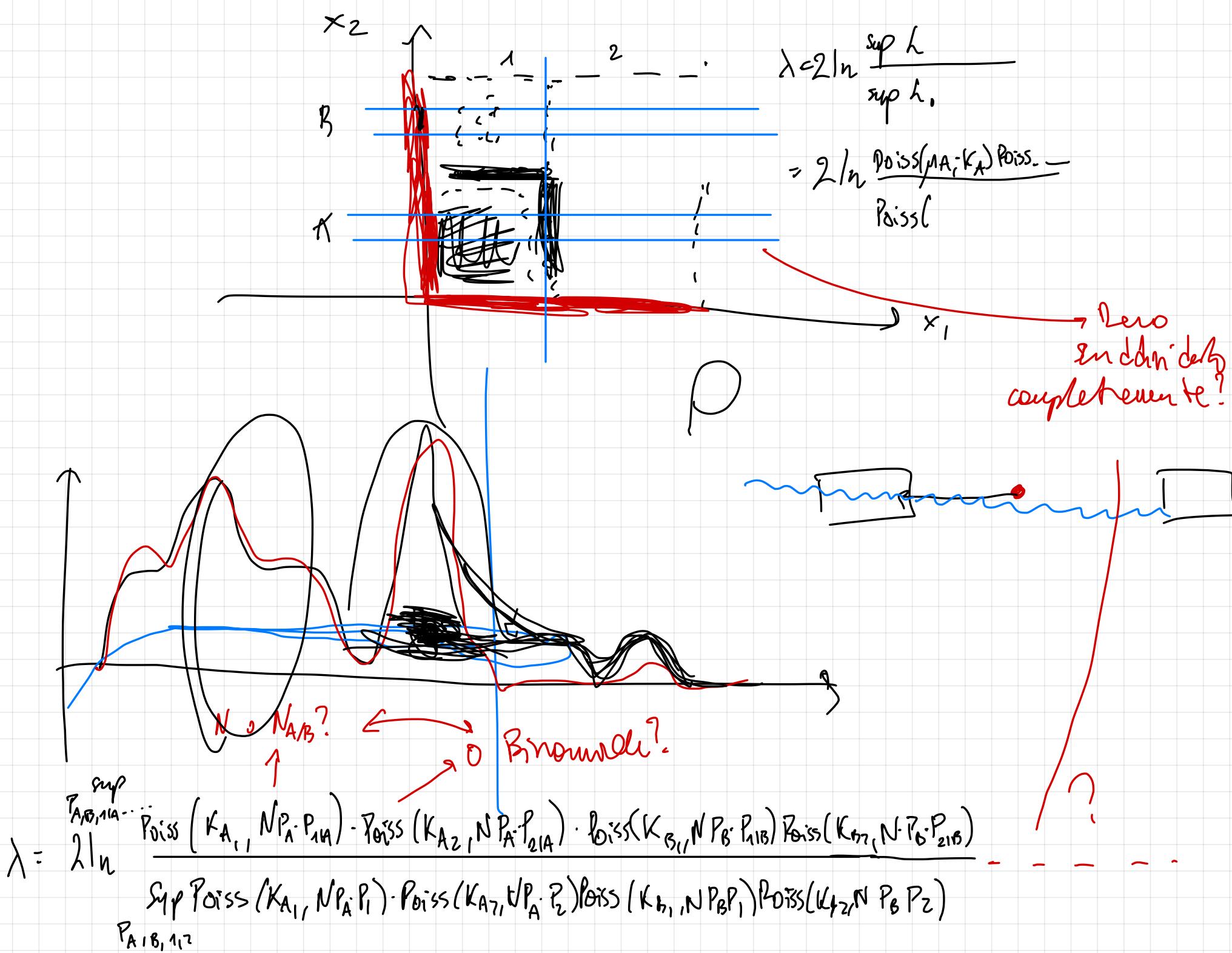
08/03/22

- Abbiamo modificato mondeep per avere solo TGC EXT (coincidere) e useremo come prime trigger $\text{EXT} \text{ OR } \text{PMT1 OR } \text{PMT2}$
- Abbiamo usato un dual timer per ogni uno dei due segnali di PMT1 e PMT2 discrinuiti così se non avete risposte entro $(\Delta T_{\text{discr}} \approx 100 \text{ ns})$ mentre i segnali analogici saranno subito 500ns

Coincidenza - pmt1-ext

Coincidenza - pmt2-ext

Come soffre sui discriminatori abbiamo usato regimi $-37,3 \text{ mV}$ e $-20,6 \text{ mV}$



$$P_{11A} = P_{11B}, P_{21A} = P_{21B}$$

$$6 - 4 - 1 = 1 \quad \text{DDF} \longrightarrow \chi^2_1$$

P_A, P_B, P_{11A}, \dots

N gauso?!

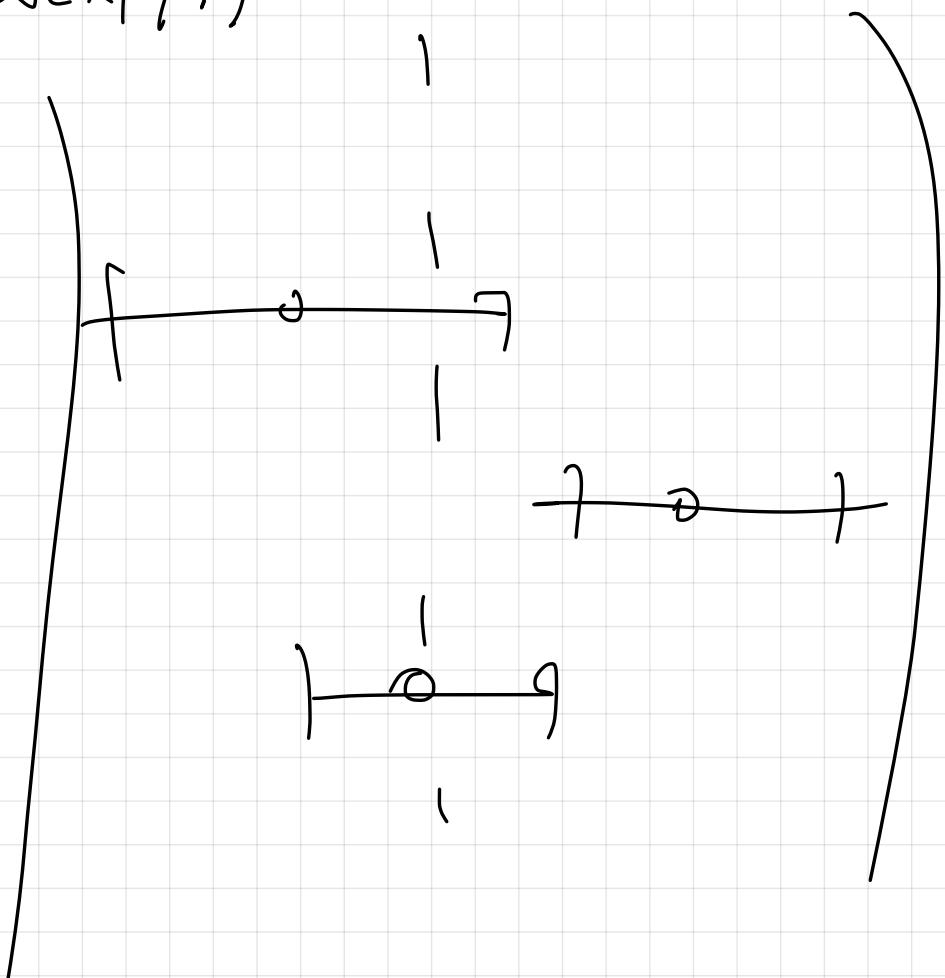
$$E[AB] - E[A]E[B] = \text{cov}(A, B)$$

$$c = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}$$

$$E[c] = E[\sum x_i y_i] - E[\bar{x} \sum y_i] - E[\bar{y} \sum x_i] + N E[\bar{x} \bar{y}]$$

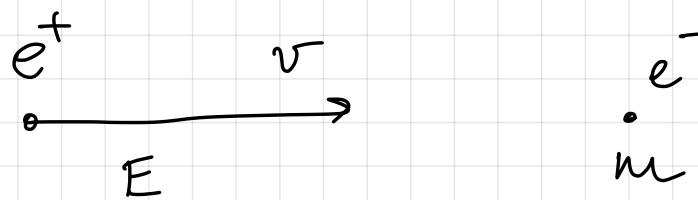
$$= \sum E[x_i y_i] - N E[\bar{x} \bar{y}] = N \text{cov}(x, y) + N \mu_x \mu_y - N E[\bar{x} \bar{y}]$$

$$= N (\text{cov}(x, y) - \text{cov}(\bar{x}, \bar{y}))$$



Considerazioni in studio 13/03/22

Vediamo che E' vero ; se $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$
in VOLO



$$E_\gamma^* = \frac{s}{2}$$

$$s^2 = (E+m)^2 - p_{e^+}^2 = E^2 + m^2 + 2Em - p_{e^+}^2 = 2m^2 + 2Em$$

$$\gamma = \frac{p}{E} = \sqrt{1 - \frac{m^2}{E^2}} \approx 0,35$$

$$\gamma_{car} = \frac{E}{s}$$

$$E_\gamma^* = \sqrt{\frac{m^2 + Em}{2}}$$

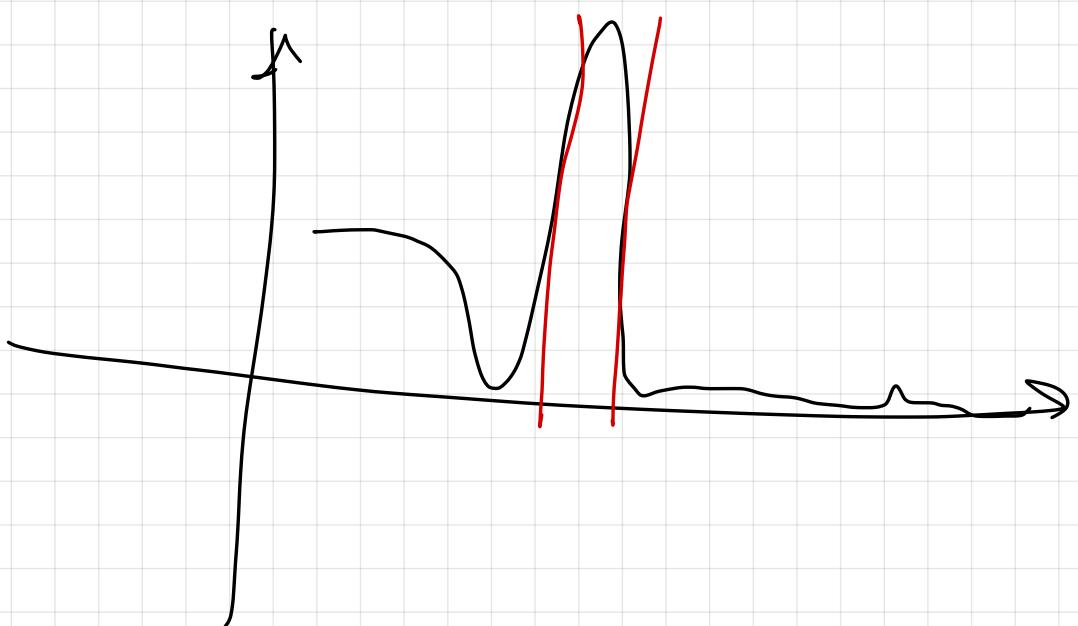
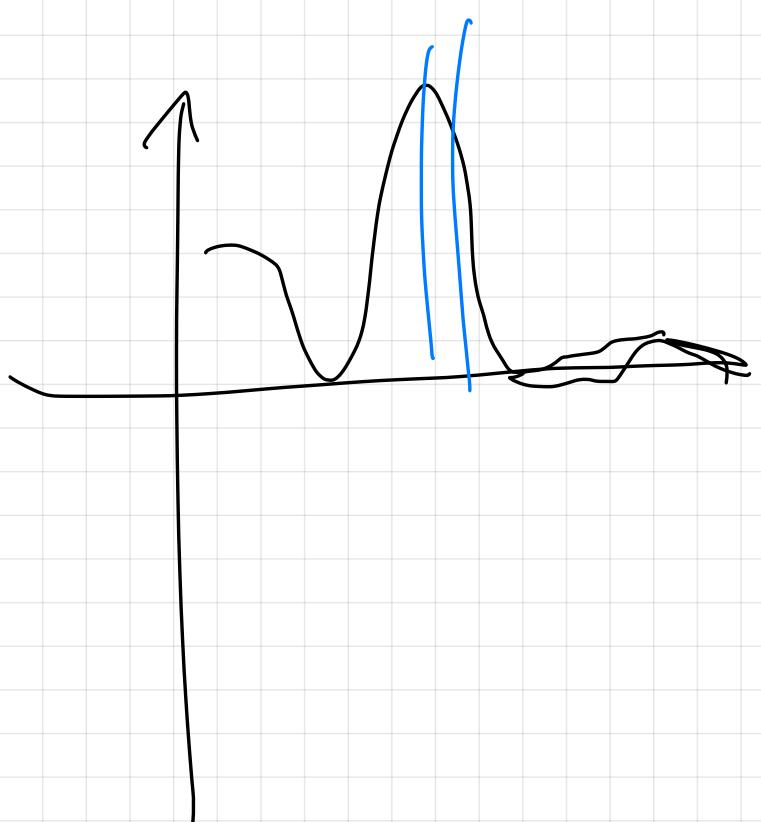
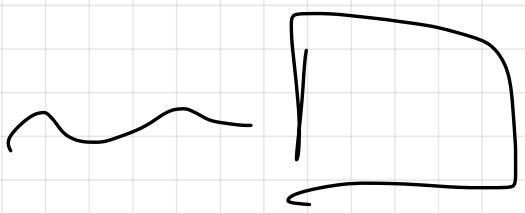
$$E_\gamma = \gamma_{car} (E_\gamma^{*+} + \gamma_{car} E_\gamma^{*-}) = E_\gamma^* \sqrt{\frac{1+\beta_{car}}{1-\beta_{car}}}$$

$$\gamma_{car} = \frac{\vec{p}_{e^+}}{E_{tot}} = \frac{\sqrt{E^2 - m^2}}{E+m}$$

$$\rho_{\text{no}} - F_{\text{rest}}/\mu = \frac{E_\gamma^*}{E_{\text{tot}}} = \gamma \sqrt{\frac{E-m}{E+m}}$$

$$= \sqrt{\frac{m^2 + Em}{2}} \sqrt{\frac{1+\beta_{car}}{1-\beta_{car}}} \approx 0,623 \text{ keV} \quad / \quad 0,433 \text{ MeV}$$

- Inverte il sistema troppo grande \rightarrow bisognerebbe sistemare le coordinate
- Rende difficile la risoluzione $\approx 5x$
- Brutto
- Risolve con linea
- Fluttuazioni nel tempo \rightarrow problema pm+2 e pm2-ext
- Forma più non lineare
- Fractione di eventi bloccati per fronte comezione \rightarrow obbligo fronte da $A \rightarrow A$ che $B \rightarrow A$ (perhe)



Fittando con range diversi le frequenze varie, su $\tau, \dots, 10^4$, di $\sim 5 \cdot 10^1$ invece del $5 \cdot 10^0$ restituendo dal fit

$$\tau, 824 \pm 0, 002$$

pmt 1 pino A

$$\tau, 824 \pm 0, 002$$

pmt 1 pino A $2 \times bm$

$$\frac{n}{N}$$

Incontro 15/03/22

- Dimensione nastro con figure
- Suppone le figure e guadagno → più duro

15/03/22

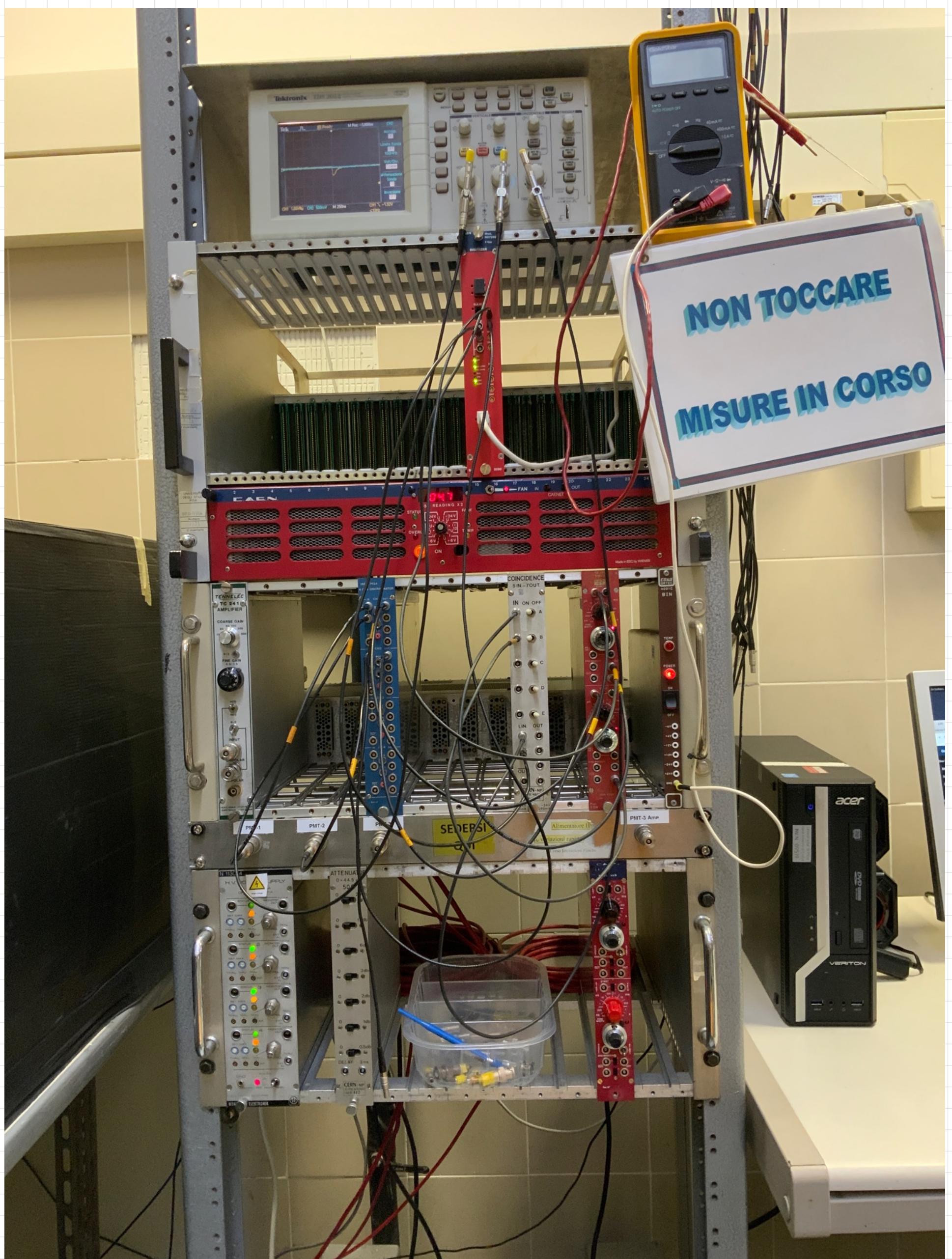
Poco tempo → mese tre non con NA,
ma per questo punti, con τ_{hr} del punto
e 30 invece di 100 pezzi non si
vedono; backscatter peaks sembrano
invece le mace con gli altri due,
in singole, rendono confronto con
i PMT - NA - e6 - 100 per vedere se
nel tempo è cambiato l'esito dei
muoni

16/03/22

Prendiamo le calibrazioni di punti
con $V_{\text{thr}} = 30$ (non 100) spostando le
casi si vedono; backscatter peaks
nessuno per calibrazione.

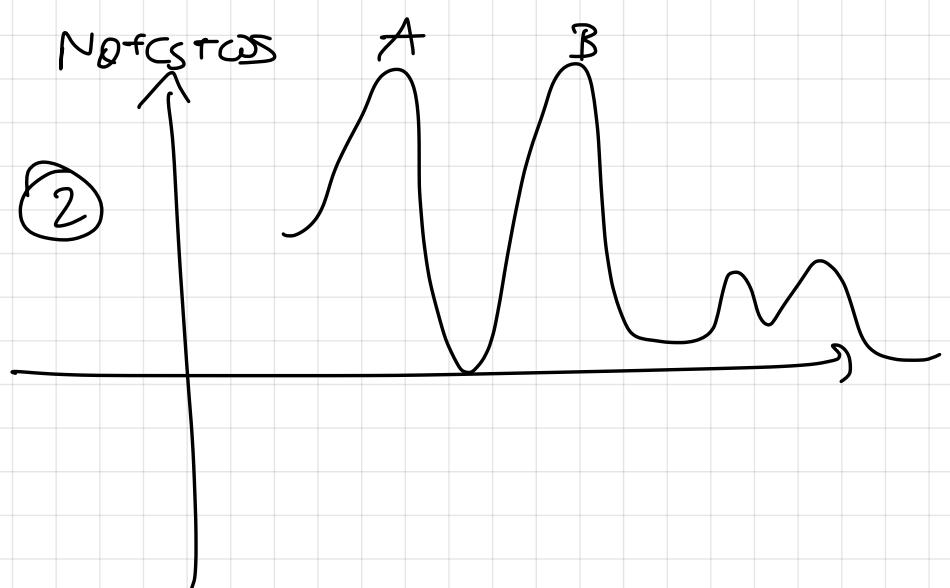
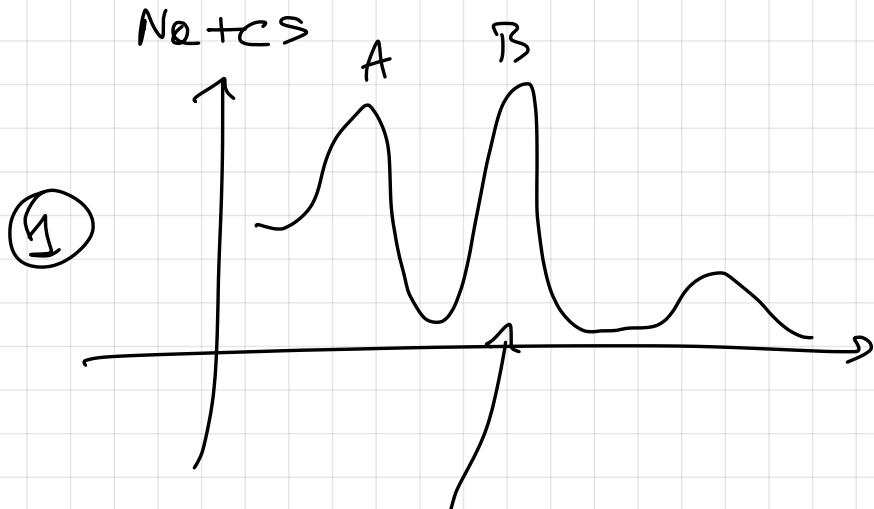
Riconoscere qui la tensione è $\sim 761 \sqrt{V}$

Setup per coincidenze



17/03/22

Comparazione fra le due doti di NA+CS e Na+CS+ω



$$A_1 = 7,876 \pm [2]$$

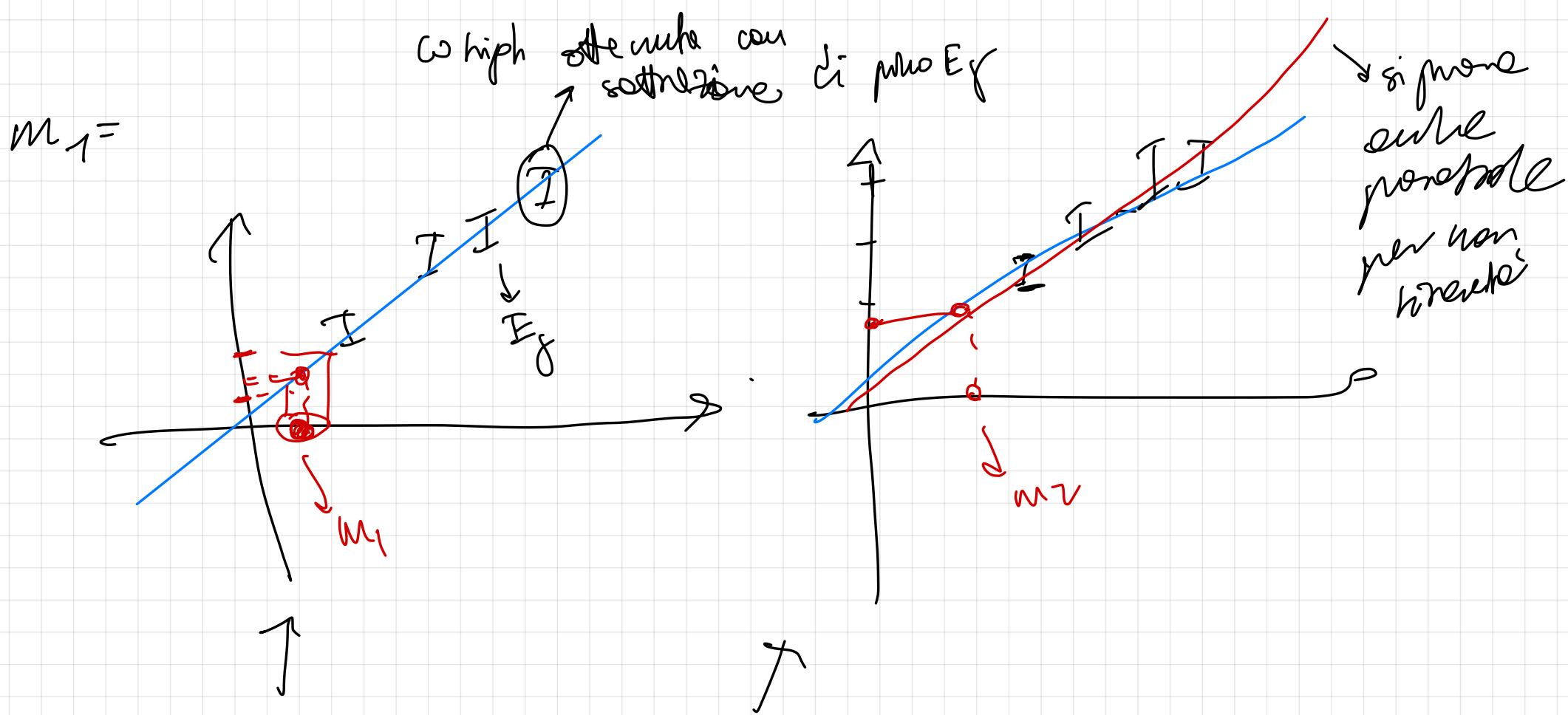
$$B_1 = 10,154 \pm [3]$$

$$m_1 = 513,5 \pm 0,2$$

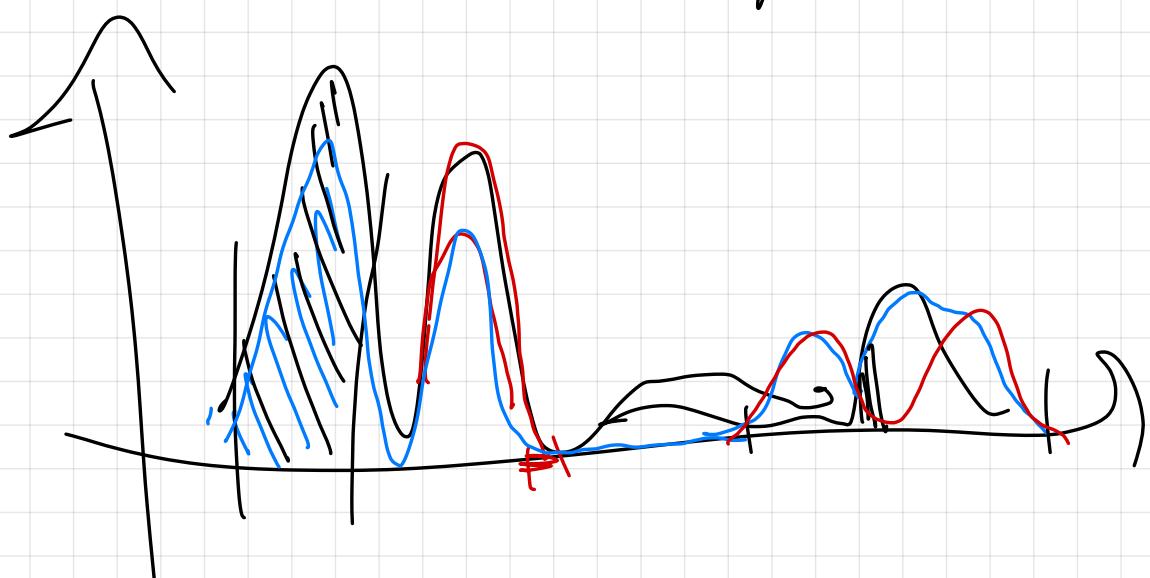
$$A_2 = 7,968 \pm [3]$$

$$B_2 = 10,260 \pm [3]$$

$$m_2 = 496,7 \pm 0,2$$



Così si ottiene per sottrazione di fluttuazioni nei tempi

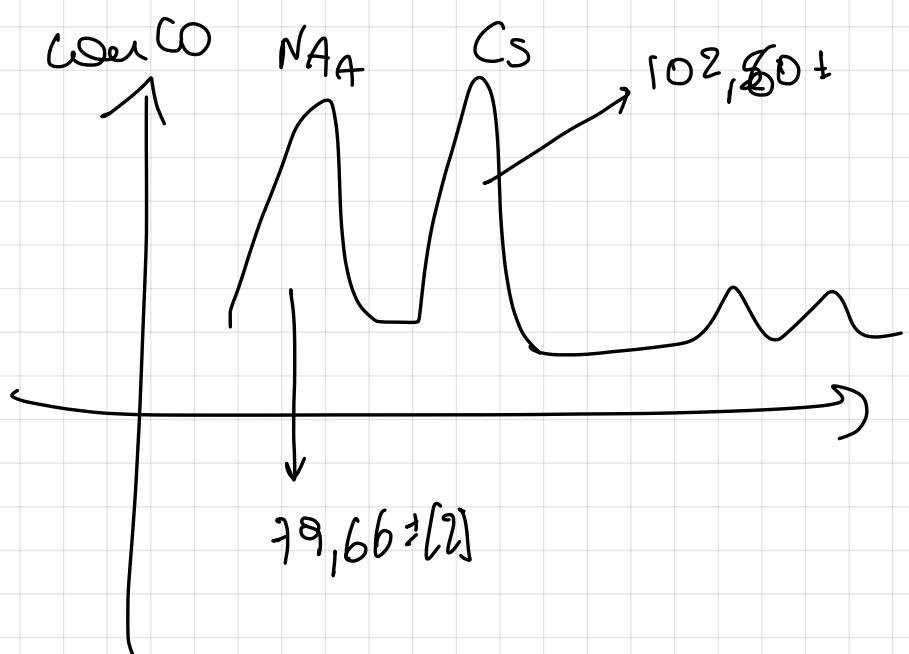
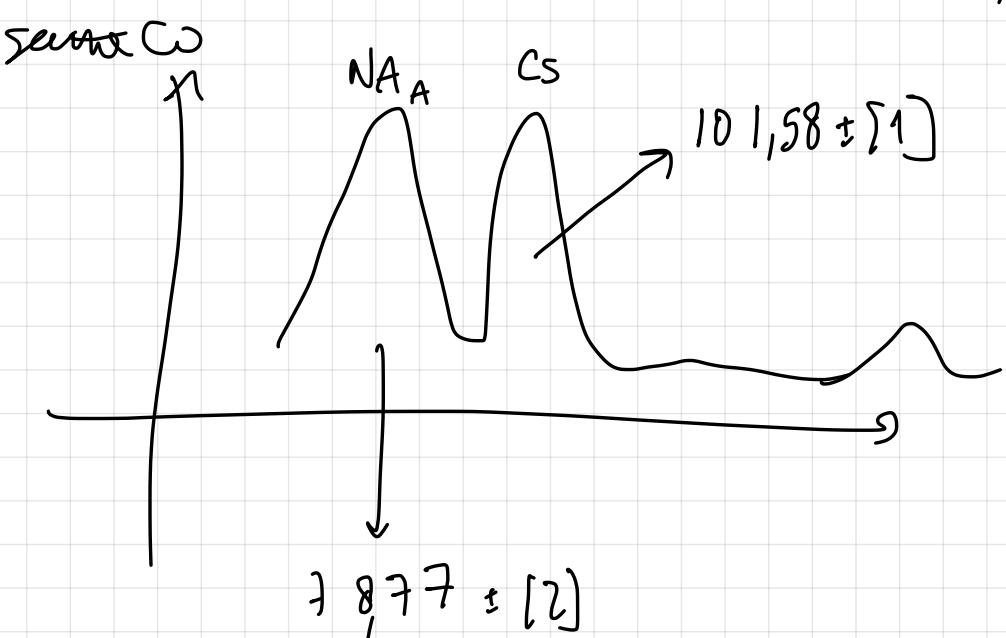


Analisi 20103/22

Si vede però che i nuclei si sovrappongono, anche se $\Delta t \approx 17^\circ$, anche NELLO STESSO RUN, ma con ciò è scorsa ($\dots, ???$).

Vorrei vedere su piccole scale e quindi posso... Questo sarebbe un problema per il discorso di soluzione E_f dell'hist con lo $\rightarrow V_0$ rispetto di conseguenza.

Benché Run 1 su punti



Tre obiettivi per risolvere:

Ricerca dei nuclei fitati
+ fit lineari con valori misse
↑ + valori misse

1) Misura n_3 con fit globale o set di fit "quasi-real time"

→ partire del fit (base 1!)
+ regolare di interesse

2) Fit lineare per conoscere le energie atomiche

3) Misura di n_3 indipendentemente dalle $f_{f_2} \approx$

$$f_3 = \frac{n_3}{\Delta T} \quad \overline{\text{Var}(f_3)} = \sqrt{\frac{\text{Var}(n_3)}{(\Delta T)^2}} = \sqrt{\frac{\mu_3}{\Delta T}} \approx \sqrt{\frac{n_3}{\Delta T}} =$$

ritorno regolare
interesse e
valori
(Anche valori
caso da correttore)

$$f_1 \cdot f_2 \cdot \tau_{eff} = n_1 n_2 \cdot \frac{\tau}{\Delta T} \rightarrow \text{Var}(n_1 n_2 \cdot \frac{\tau}{\Delta T}) \cdot \frac{\tau^2}{\Delta T^2} \cdot \text{Var}(n_1 n_2)$$

$$= \frac{\tau^2}{\Delta T^2} (n_1^2 V_{0,n_1} + n_1^2 V_{0,n_2}) \rightarrow 6 \cdot \frac{\tau}{\Delta T} \sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2)} \approx 0,0003$$

$$f_1 \cdot f_2 \cdot \tau \cdot \Delta T \approx 0,0297 \pm 0,0003$$

$$f_3 \cdot \Delta T \approx 3200 \pm 60$$

Incontro 22/03/22

Quando entri nel grotto che cosa

usa

- Problema discaricate fra magne e orec
- Problema dati τ → forze dipendente di risposta del SMT dal rate
- Problemi non simmetrici asimmetrici
- Problema che coincidono τ NON è 2ns se si traggono OR e nemmeno se si traggono EXT
→ vedi dopo

23/03/22

$$f_{12} \cdot f_3 \cdot \approx \Delta T + f_{13} \cdot f_2 \cdot \approx \Delta T + f_{23} \cdot f_1 \cdot \approx \Delta C$$

$\mathcal{O}(1-10)$ $\mathcal{O}(\sim 10^{-1})$

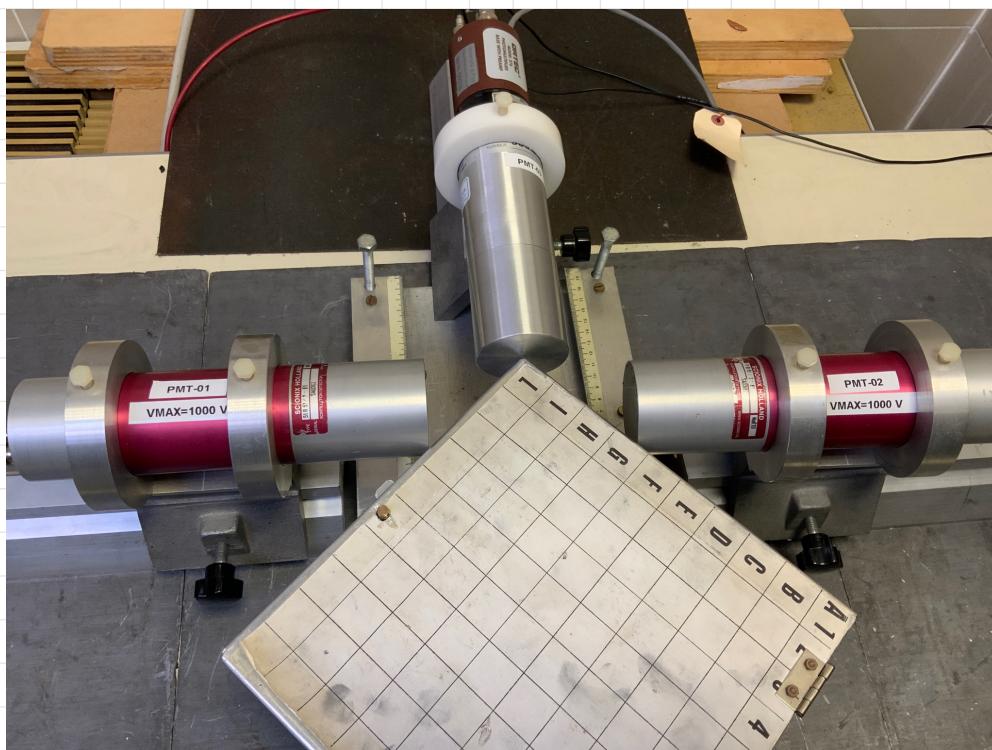
$$f_1 \sim f_2 \sim f_3$$

$$f_{13}, f_{23} \ll f_{12}$$

L3

J

Z



→ Configuration
L1

Per fare ext e 3 obbligato anche
di concordare e circuiteri come
in figura seguente

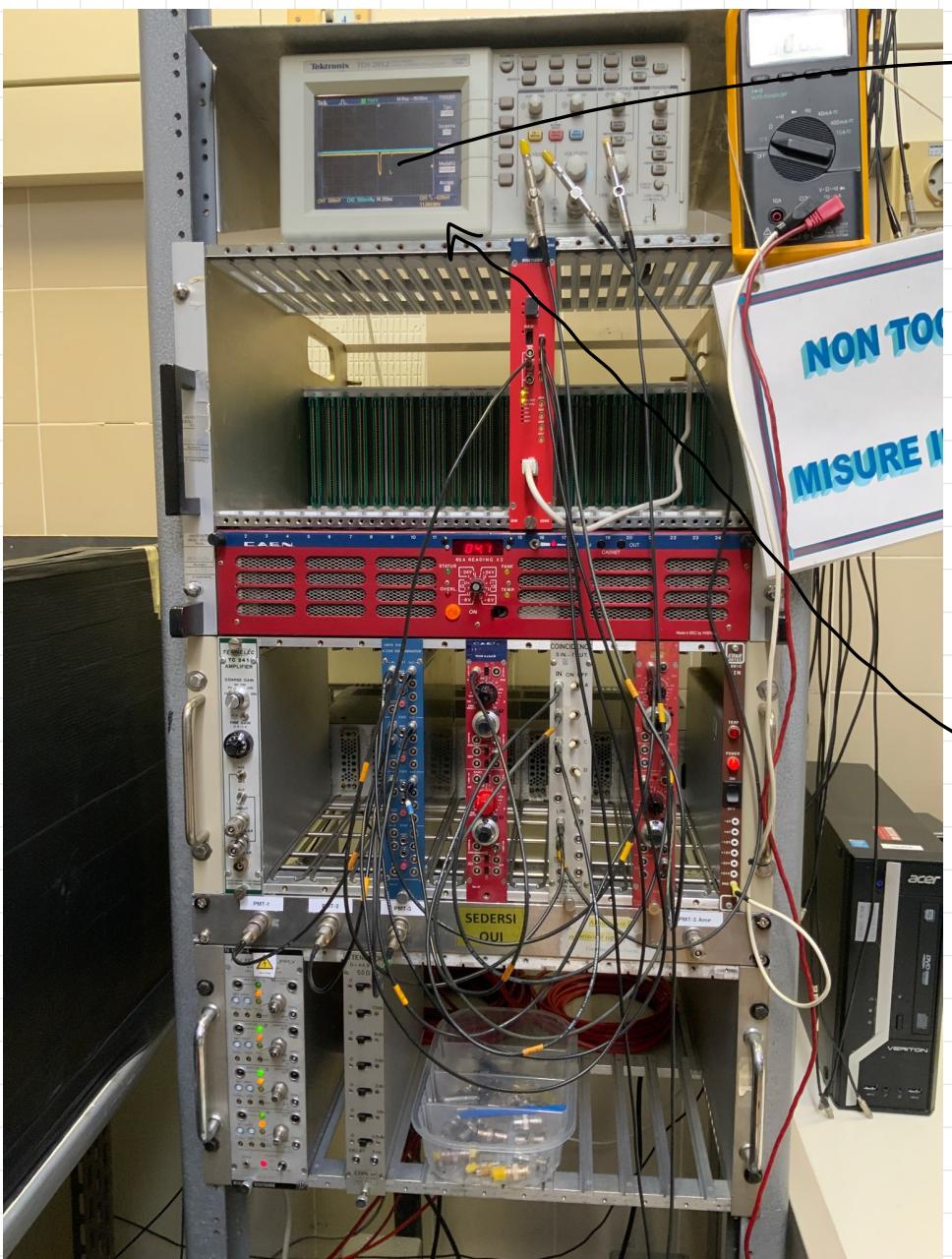
$$V_{\text{DISCR}}^1 = -29,7 \text{ mV}$$

$$V_{\text{DISCR}}^2 = -29,9$$

$$V_{\text{DISCR}}^3 = -15,1 \text{ mV}$$

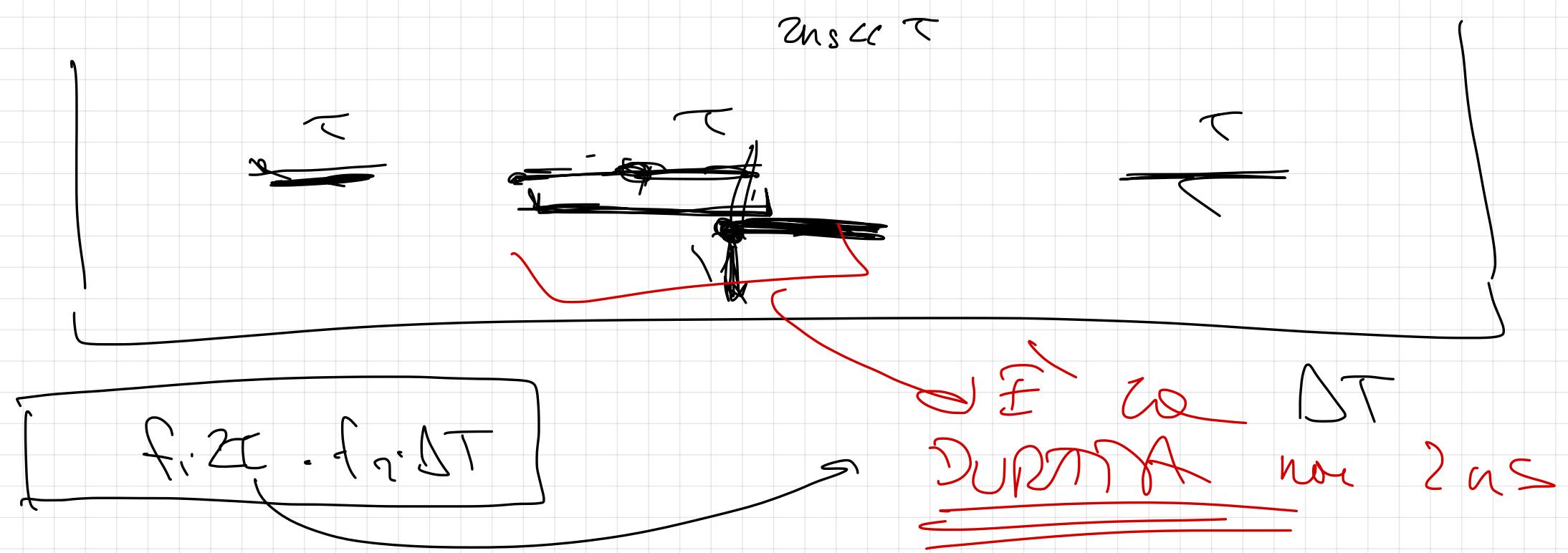
MOLTO instabile

Con l'oscilloscopio si vede che in config.
L1 f_3 con qualche soglia è $\sim 40 \text{ kHz}$! Ma
senza perde' è ottenuto 1 quarto del signal
le forme con 400 ns & $\sim 500 \text{ ns}$

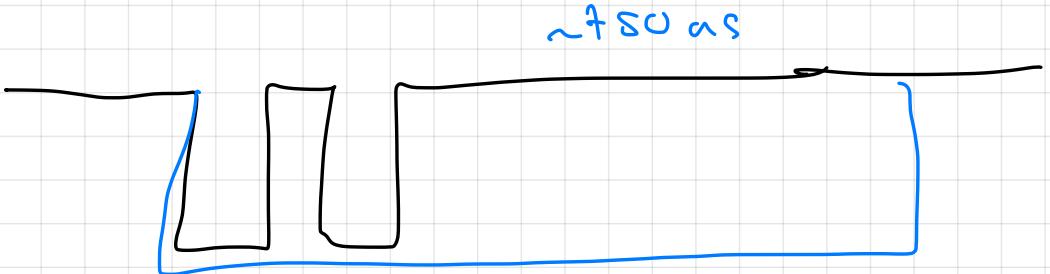
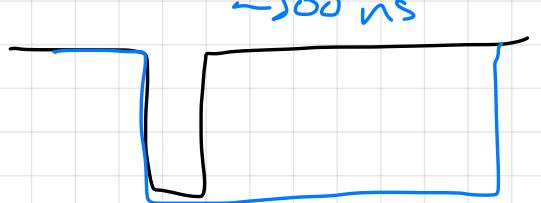


C'è essere un
puls di shutter user
si copriva per le.
Inoltre se si dimostra
troppo sotto 500 ns
le lumache col timer
le frega anche.

~~Non raggiungono perché il timer non obbliga
l'ipotesi su punt 1 se lo mettiamo a 500 ns
dopo che il segnale su punt 1 dura 300-500 ns~~

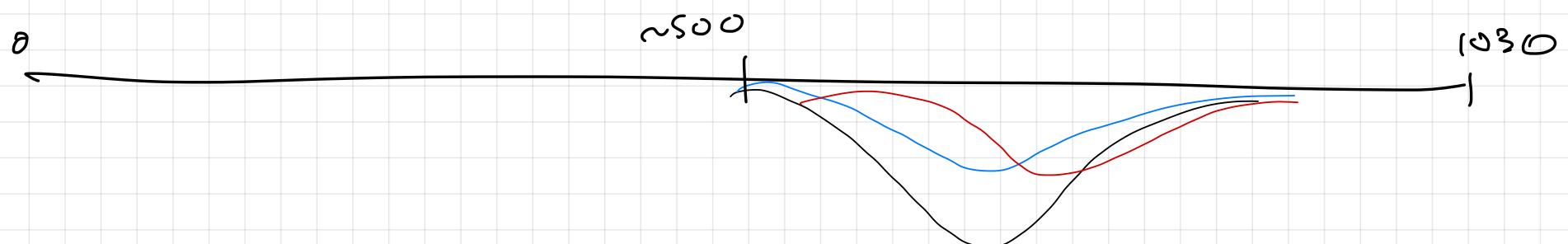


Prendiamo con timer ~500 ns (che in realtà
per ipotesi va anche a 750 ns)



TANTO non ci importa \rightarrow discar
 $\dots \rightarrow$ la selezione ^{più stretta} di intervallo
di considerare (τ) si fa in software

la frequenza è $\sim 8 \text{ Hz}$. In disposizione EG con 77 nastro envelope era ~ 117
 ieri (uso sorpasso de lato due $f_3 \sim 40 \text{ kHz}$)



24/03/22

Vogliamo fare un buon layout e fare in disposizione L1, quindi pensiamo one di materiali che sono per calibrazione real time.

Lo schema messo viene in figura, venendo prima a cui si trova nello schema che tre cerchi così disposti e essere ci sono anche differenze nelle frequenze di trigger per ciascun oscilloscopio

PMT 1	NO CS	SÌ CS
	~100 Hz	~200 Hz
PMT 2	NO CS	SÌ CS
	~90 Hz	~120 Hz
PMT 3	NO CS	SÌ CS
	~90 Hz	~110 Hz

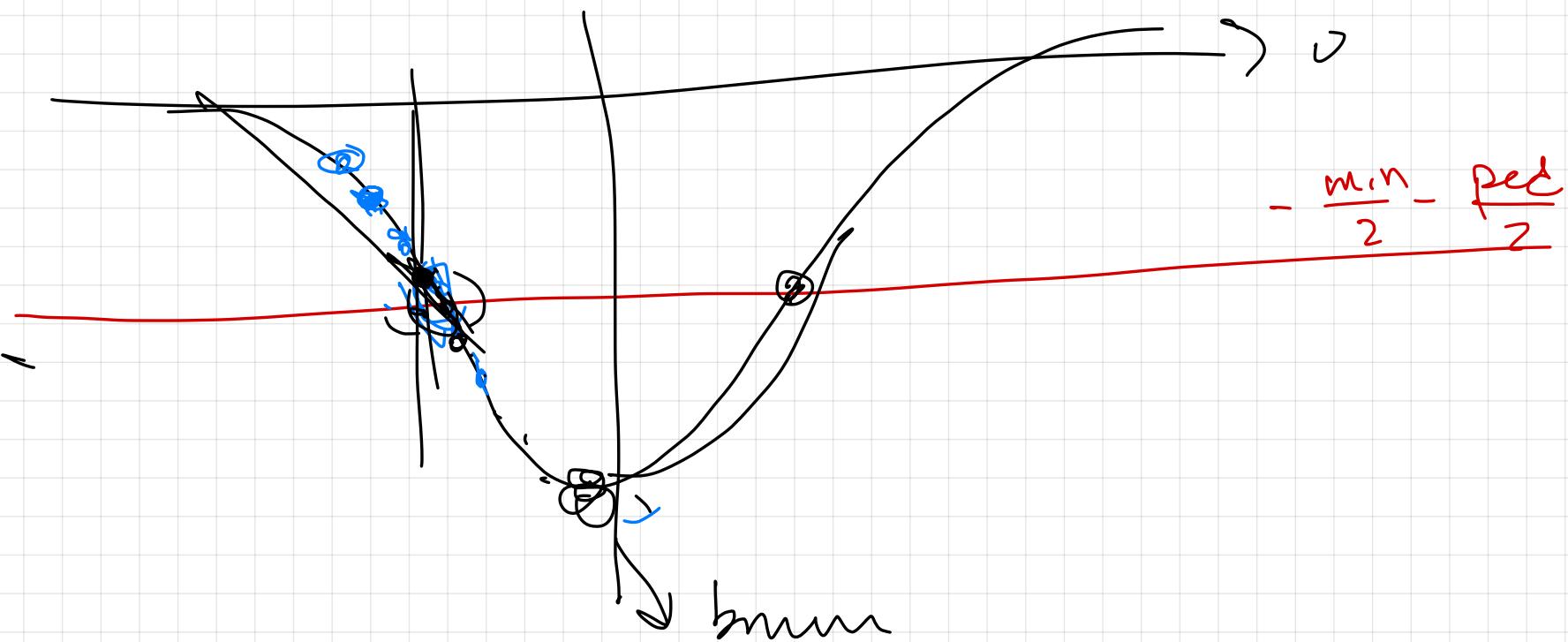
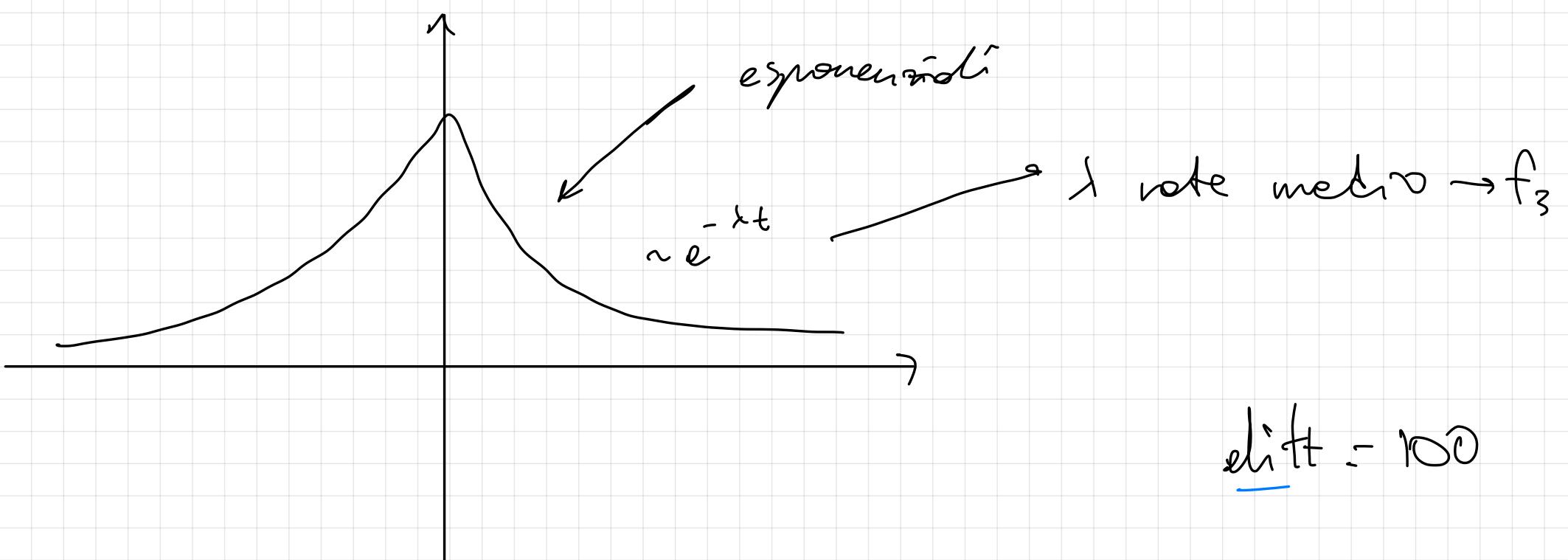
Risultato sono frequenze troppo basse e le concentrate triple sono troppo rare, → con CS sono No i rate triple rimane φ come se non ci fosse neanche CS.

27/03/22

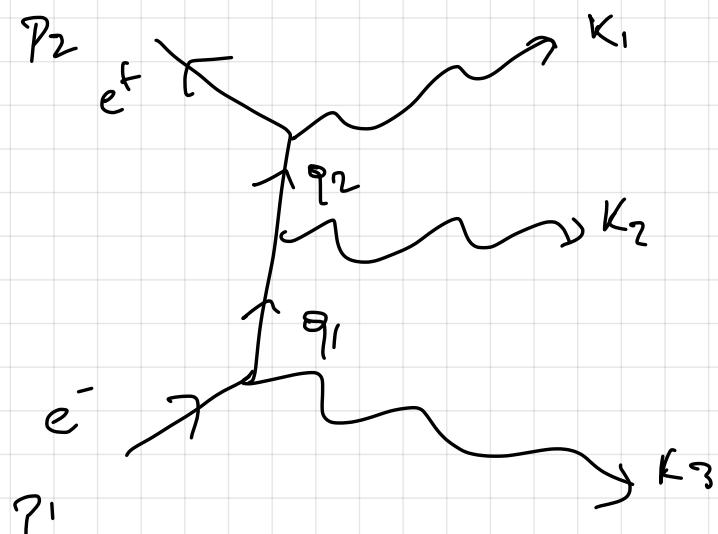
- Change 3 dati: Monta 1 e 2 nel primo
- Completazione nel primo tra 1 e 2, 1 e 3, 2 e 3
- $\Delta T_{12}, \Delta T_{13}, \Delta T_{23}$ e norgone con T di oceano
- Se fossero indipendenti come dovrebbe essere distribuito B rispetto ad A (ΔT_{AB})?



Se seguiamo un processo Poissoniano



Energie ette vor i g in



$$m_{12} = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{k}_1 + \vec{k}_2)^2 = k_1^2 + k_2^2 + 2k_1 k_2 - k_1^2 - k_2^2 - 2k_1 k_2 \cos\theta_{12}$$

$$= 2k_1 k_2 (1 - \cos\theta_{12})$$

$$\frac{s^2 - m_{12}^2}{2s}$$

$$s = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$c = -\frac{1}{2}$$

$$P(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = \left(\sum_i (1 - c_i) \right)^2 \frac{s_1 s_2 s_3}{(s_1 + s_2 + s_3)^3}$$

$$\frac{\frac{3}{4}}{\frac{3\sqrt{3}}{8}} = \frac{\frac{3}{4}}{\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)^2} = 1$$

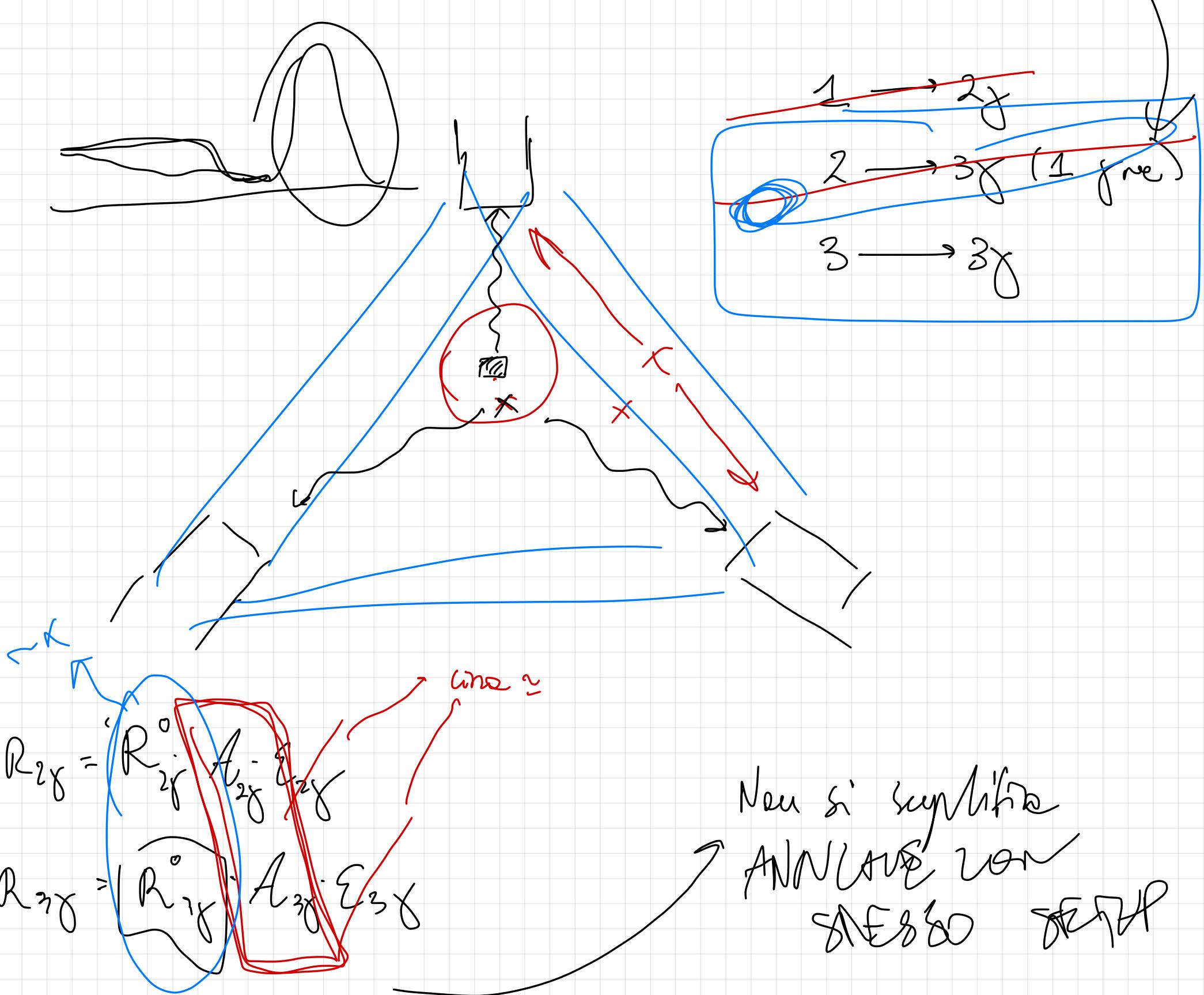
Se h. zwischen 120° che E kann

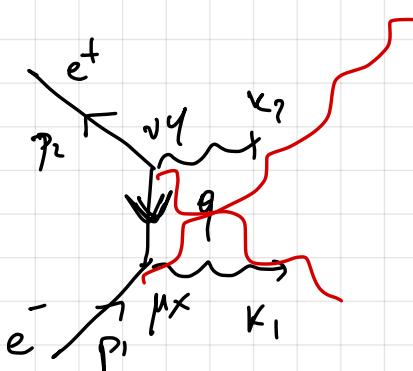
$$2 \cdot \frac{811}{3} = 338$$

Die Personen:

- lone division mean
- lone value σ_{2j} & σ_{3j} "some fluctuate"
- lone $\Delta T_{13} \sim 5\text{ns}$ & dispersion from ΔT_j (forse ADC error)
- Problem Me scarse settungen

- Pensione e come fare cose che ci aspettano
(vite e trasformazioni)
- Riferimento alle ipotesi di Rose R_{2g}/R_{3g}
- e α
- Spelta couplon?





$$p_1 = (m, \vec{p}) \quad -cc \int \bar{\psi} \psi A^\mu \bar{A}^\nu d^4x$$

$$\mathcal{L} = -e \bar{\psi} \gamma^\mu \psi A_\mu$$

$$(2\pi)^4 \delta^4(k_1 + k_2 - p_1 - p_2)$$

$$k_1 - p_1 - q$$

$$k_2 - p_2 + q$$

$$\frac{1}{4 \sqrt{E_1 E_2 k_1 k_2}} \frac{-e^2}{2} \int d^4x d^4y d^4q \frac{\bar{\psi}_2}{\bar{\psi}_1} \gamma^\mu \frac{q+m}{q^2-m^2} \gamma^\nu u_1 \epsilon_{1\mu}^* \epsilon_{2\nu}^* e^{-ip_1x - ip_2y - iq(x-y)} e^{ik_1x} e^{ik_2y}$$

$$- \frac{e^2 (2\pi)^4 \delta^4(k_1 + k_2 - p_1 - p_2)}{8 \sqrt{E_1 E_2 k_1 k_2}} \left(\bar{\psi}_2 \gamma^\mu \frac{k_1 p_1 + m}{(k_1 p_1)^2 - m^2} \gamma^\nu u_1 \epsilon_{1\mu}^* \epsilon_{2\nu}^* \right. \\ \left. + \bar{\psi}_2 \gamma^\mu \frac{k_2 p_1 + m}{(k_2 p_1)^2 - m^2} \gamma^\nu u_1 \epsilon_{2\mu}^* \epsilon_{1\nu}^* \right) = x^2$$

$$= - \frac{e^2 (2\pi)^4 \delta^4(k_1 + k_2 - p_1 - p_2)}{4 \sqrt{E_1 E_2 k_1 k_2}} \bar{\psi}_2 \gamma^\mu \frac{k_1 p_1 + m}{(k_1 p_1)^2 - m^2} \gamma^\nu u_1 \epsilon_{1\mu}^* \epsilon_{2\nu}^*$$

$$dw = \frac{(4\pi)^2}{T} = \frac{e^4 (2\pi)^4 \delta^4(p_1, p_2)}{16 E_1 E_2 k_1 k_2} \left| \bar{\psi}_2 \gamma^\mu \frac{k_1 p_1 + m}{(k_1 p_1)^2 - m^2} \gamma^\nu u_1 \epsilon_{1\mu}^* \epsilon_{2\nu}^* \right|^2$$

$$d\Gamma = \frac{1}{2} dw \cdot dPS = \frac{dw}{(p_1 p_2)^2 m_1^2 m_2^2} \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \frac{d^3 k_1}{(2\pi)^3} \frac{d^3 k_2}{(2\pi)^3}$$

Per riassunto 29/03/22

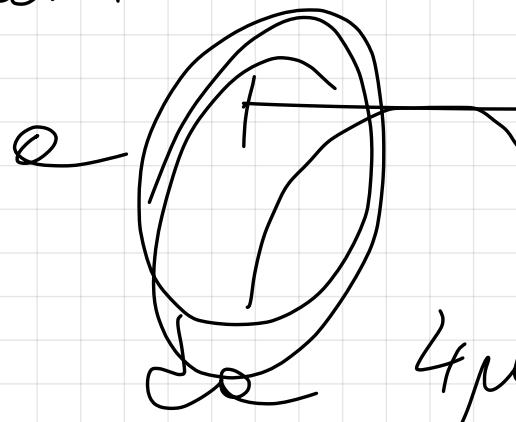
- Tecniche (veloci-mosse) L1 ?
 - Note ottime L1 con $f_1 = f_2 = f_3 = 40 \text{ kHz}$
 $\tau = 20 \text{ ns} \rightarrow R = 0.02 \text{ Hz}$
mettre in essere
 $R \approx 5 \text{ Hz}$
 - Controlli L1
- []
- Stimare \approx nel caso colibrizzazione e6 (correlation frequency)
 - FT non lineare è progresso verso fine
 - Forse messa graph con AMP

l'1%, può essere lento se colibrizzazione
dipende da rate? \rightarrow NO perché nel
pmt3 controlli dell' 0,1%, tra cui e NO co
egnare $m_3 \approx 80\%$ corrisponde

Potrebbe essere processo di solfatose NA3
o CO? \rightarrow NO perché se si usa solo
Cs e CoA (serve CoB che rilascia NA\$)
corrisponde $m \approx 80\%$

29/03/12 INCONTO

- Occluso



estensione

+ che può
essere causa di un'arritmia

- Problema punt 3 → perché non compiono dolore
febbre - ha spesso più
basso tono sanguine
2 V_{PP} ??

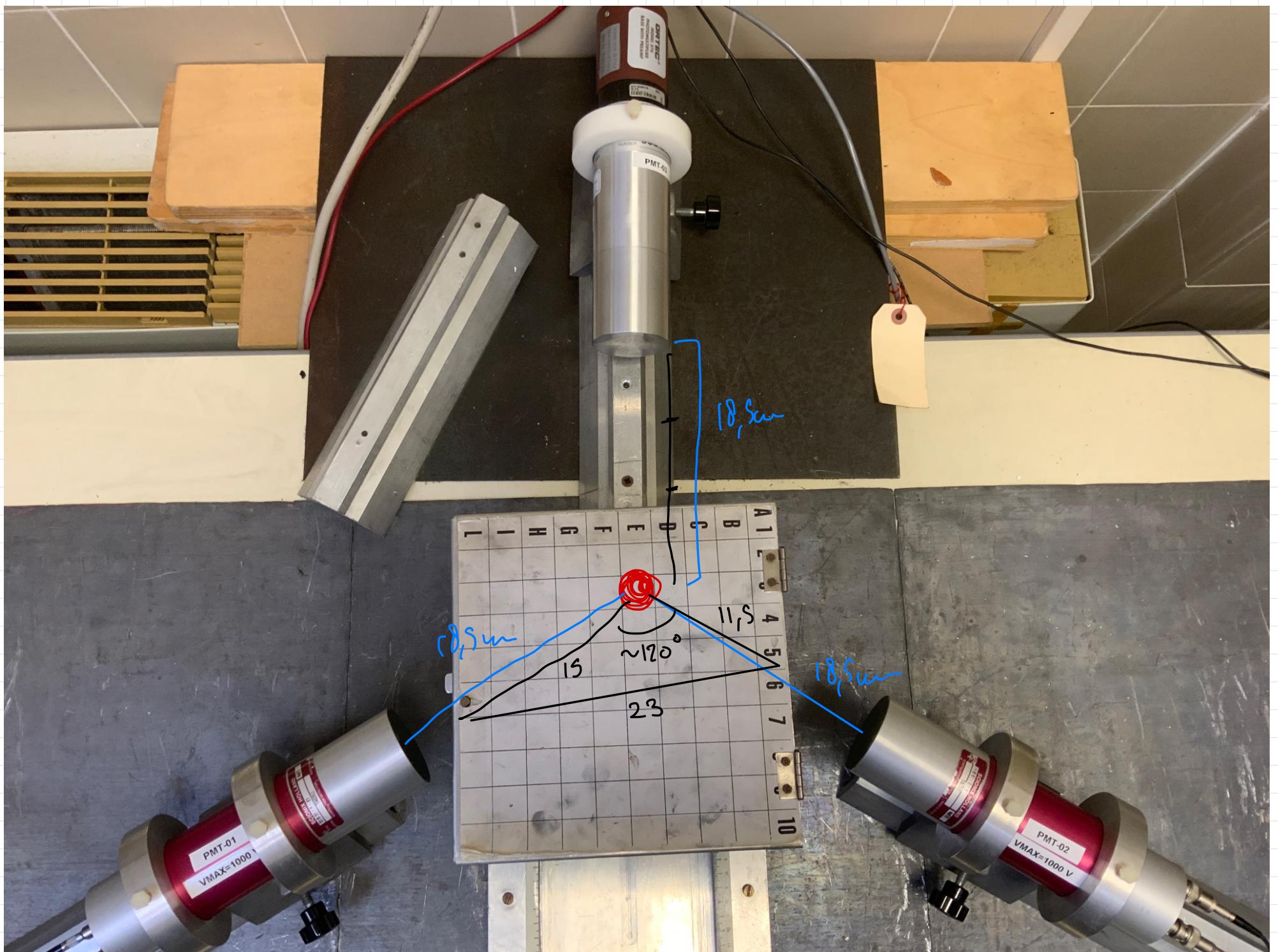
- Oltre che sono lontano dal CTD
presenti i t_{12}, t_{13}, t_{23} (APS) → sono
comuni RREPETIBILI

No, non lo sono, ho controllato poi con run2

- Code rosse e code verdi sono simili
tuttavia → possono essere diversi non
semplicemente in cui avranno prima punti e
poi punti 1 e 2 simili

29/03/22

Disposizione Merle des



$$\sqrt{1} \eta_{hr} \approx -30 \text{ mV} \rightarrow f_1 \approx 1 \text{ kHz}$$

$$\sqrt{2} \eta_{hr} \approx -30 \text{ mV} \rightarrow f_2 \approx 1 \text{ kHz}$$

$$\sqrt{3} \eta_{hr} \approx -15 \text{ mV} \rightarrow f_3$$

Siamo stati costretti a usare prima l'aerogel, con cui abbiamo riempito 7 delle 8 caselle adiacenti a quella della sorgente perché non c'è virginio con i blocchetti di metallo. Purtroppo con questa disposizione e l'aerogel la frequenza di eventi è veramente bassa (10 eventi in un'ora e mezzo circa, run 4), anche provando ad avvicinare quanto possibile i pmt alla sorgente mantenendo gli stessi angoli.

30/03/22

Abbiamo inserito la sorgente con dei bulloni di metallo intorno perché era assente Virginio per darci. I pezzi di metallo necessari, sempre usando la configurazione Mercedes

Abbiamo cercato di indagare il problema del fotomoltiplicatore 3 trovato alla fine di ieri: La frequenza con o senza splittare il segnale al livello del discriminatore per mandarlo ai ch dell'ADC è DIVERSA, nonostante sulla documentazione dell'ADC sia riportato che $Z_{in}=50\text{ Ohm}$. La nostra interpretazione è che non sia esattamente 50 Ohm e perciò ci sia echo che abbia come effetto quello di ridurre il segnale efficace e quindi eventualmente portare alcuni dei segnali sotto soglia, diminuendo la frequenza.

Nel fare ciò abbiamo anche visto che se si mette la durata amplificata dai timer a 3-5 microsecondi le ripartenze, che fino ad ora avevamo più o meno ignorato, scompaiono. In realtà abbiamo

Le frequenze individuali dei tre pmt (in particolare le frequenze dei rispettivi dual timer (si vede da wavedump se si staccano dall'unità di coincidenza le uscite dual timer degli altri due pmt), dato che come abbiamo detto lo stesso pmt ha frequenza diversa a seconda di se si mette una terminazione o meno...) in questa configurazione sono:

F1=600 Hz
F2=1.2 kHz
F3=250-300 Hz

Nel frattempo triggerando sulla coincidenza a tre come ieri ma con l'uso dei bulloni si trovano ancora pochi dati. Se si triggerà sulle coincidenze a 3 gli eventi diventano estremamente rari, se si triggerà su due fotoni alla volta invece hanno $f=5\text{ Hz}$ circa.

Triggeriamo quindi su due pmt 1 e pmt 2 per avere un fondo migliore su cui basare l'analisi, tanto il rate è sufficientemente basso che non c'è problemi di flooding di eventi se scegliamo pmt1 e pmt2, dato che soprattutto questi due sono abbastanza lontani da non essere affatto probabile che vedano un decadimento a due fotoni back to back

Abbiamo verificato che dei 5 Hz che vediamo è tutto correlato alla sorgente (non sono cosmici o rumore o che, al massimo coincidenze casuali ma sempre dovuto a roba venente dal Na) mettendo un pmt fuori dalla box di piombo e vedendo che il rate di coincidenze scende a 0.

Abbiamo chiamato questo run5

Al contrario delle Vthr dei discriminatori le alimentazioni rimangono stabili throughout tutto a 690, 850 e 760 rispettivamente per 1 2 e 3

31/03/22

Abbiamo analizzato parzialmente i dati di ieri (run5) e si trovano alcune cose interessanti:

- 1) Se si impone che ci sia effettivamente un segnale anche su pmt3 si trova pochi eventi ma tutti piccati in t13 sim a 0. Inoltre questi eventi hanno BASSA ENERGIA per pmt3: non sono fotoni neon. Se quindi si fa una selezione sulle tre cariche si trovano degli eventi tripli probabilmente dovuti a un decadimento in tre fotoni
- 2) Per qualche motivo lo spettro in carica di pmt2 arriva bene in basso sul compton del fotone deboel, mentre il pmt1 si interrompe appena prima del picco, nonostante in teoria il taglio su NIM era identico e la disposizione geometrica era approssimativamente simmetrica per i due pmt. Il pmt1 muore in ampiezza a 950, che corrisponde a circa 120 mV. In effetti abbiamo misurato oggi (quindi il giorno dopo run 5) le Vthr sono diventate 83, 25 e 10 mV rispettivamente
- 3) Se si fa uno scatter plot di charge1:charge2 in condizioni in cui sono simultanei e deboli (senza necessariamente esserci anche pmt3 simultaneo) si trova coefficiente di correlazione NULLO tra le energie di fotoni deboli. Ci aspetteremmo che invece sia negativo se vengono da un decadimento a 3gamma... Sempre dallo scatter

Abbiamo ora fatto partire (alle 17) un run6 mettendo le viti ora non intorno alla sorgente ma nelle 8 caselle adiacenti alla C6, riempendole fino all'orlo.

Abbiamo messo le soglie più basse possibile (14.3, 14.3, 13.7 mV) perché in queste run vogliamo acquisire proprio fotoni molto deboli, sotto 511 keV. Non c'è rischio di overflow di eventi di certo (siamo a pochi Hertz). Con questa soglia la frequenza mostrata su wavedump è circa 6 Hz.

Domenica 03/04/2022

Stiamo analizzando i dati presi con la run6 giovedì.

Per prima cosa abbiamo usato una calibrazione precedente dei pmt per leggere in Mev i valori di ampiezza e carica registrati, così da rendere l'analisi più comoda e i grafici più leggibili.

Ci siamo però accorti che con tale calibrazione le energie registrate appaiono sottostimate rispetto a quello che dovrebbero essere, ad esempio i fotoni in media nelle emissioni a 3 gamma invece di avere circa 340 keV hanno tipo 260 KeV e i picchi che siamo **sicuri** dovrebbero essere a 1.274 Mev sono invece a tpo 1.2 MeV.

Per questo abbiamo optato per una calibrazione offline sui dati stessi però della run6, usando come riferimento il picco da 1.274 MeV e la sua spalla compton (che però è un po difficile da pinpointare).

Se con questa calibrazione ediamo che il picco vicino a 500 keV dei pmt si centra proprio su 510 keV (circa) vuol dire che ogni tanto vengono presi eventi a due fotoni back to back su pm1 e pm2. Nel caso possimmo quindi utilizzare **questo** picco oltre a quello del Ne per calibrare. Ciò **non sarebbe ricorsivo** perché m e l l'abbiamo già misurata, qui quello che vogliamo misurare è il **rate** degli eventi a 3 fotoni, trovati selezionando accuratamente in energia.

Purtroppo così facendo il risultato è nonsense...

Un possibile motivo per questo nonsense è che il Compton edge è poco visibile e non è esattamente dove ci dice la nostra equazione. Perciò skippiamo direttamente a usare come secondo picco proprio quello vicino a 500 KeV del sodio. Potrebbe sorgere il dubbio che quello non sia il picco di fotoni da 511 back to back (del resto a mercedes è raro il decadimento back to back geometricamente no?). Tuttavia se uno avesse un fotone vicino a 500 keV (che poi appunto il picco a 0.45 è sottostimato sicuramente dato che quello del Ne è a 1.2 invece di 1.274) **anche se provenisse** da 3gamma sarebbe comunque praticamente back to back agli altri due per motivi di conservazione della qdm, quindi si porrebbe comunque questo problema. In compenso se venisse da 3gamma sarebbe però **ulteriormente** soppresso sia perché 3gamma è già di base soppresso rispetto a 2gamma sia perché è piccolo lo spazio delle fasi al limite di un fotone con energia 500 keV nel caso di 3 gamma (è massimo quando hanno ciascuno 330 keV). Quindi se c'è un picco lì vicino a 500 kev è principalmente dovuto a fotoni da 511 back to back, quindi in calibrazione si può assumere che coincida con 511 keV.

Abbiamo provato a tornare indietro alla calibrazione dargli una **quadratica**, sia ponendo termine noto nullo sia non. Questo check lo abbiamo fatto sia per studiare un po' la possibilità di incertezze sistematiche di modello ma soprattutto perché c'è un problema fondamentale che non abbiamo ancora affrontato: dallo studio degli spettri di carica di segnali nulli (null) si era visto che le loro cariche venivano in media **zero** con un sigma di più o meno 200 au mentre dai fit lineari viene sempre restituito un termine noto dell'ordine di qualche migliaia. **Come è possibile???**

Questo problema secondo noi è **fondamentale** in quanto da esso pensiamo dipenda tutta la calibrazione dei pmt, che è cruciale per trovare il rate di decadimenti in 3gamma. Perhaps il problema generale è dato dalla scelta dell'algoritmo che usiamo per determinare la carica, e la sua relazione presunta con l'energia effettivamente rilasciata

Alcune condizioni con le quali si può selezionare gli eventi e in generale studiare i dati sono:

-t3 molto vicino a t1 e t2, o alla loro media

-charge3>0

-modulo quadro del trimpulso totale vicino a 0 (non esattamente 0 perché lo si calcola nell'approssimazione che siano a 120 gradi)

-ciascuna delle cariche minori di 510 KeV

-somma delle cariche vicina a 1020 KeV

Bisogna considerare la **risoluzione** dello strumento adesso perché non è detto che i fotoni siano amplificati alla stessa maniera sui tre pmt e quindi quando uno li somma è facile non ottenere esattamente 1.02 Mev.

Obiettivo: misurare il rate dei decadimenti in 3gamma. Lo si fa mettendo una serie di tagli

1) I segnali devono distare meno di quanto distano al massimo t1 e t2 (che ci da una stima della risoluzione dell'apparato). In questo caso 13 ns circa. Questo taglio taglia anche automaticamente la possibilità di eventi nulli su pmt3.

2) Cariche individuali:

Si nota che ci sono un sessantina di eventi in cui t1, t2 e t3 distano poche decine di ns uno dall'altro (di fatto a meno di risoluzione dono simultanei), le cariche sono minori di 0.6 però la somma è maggiore di 1.1. Questi eventi non sono quasi mai (4 su 65) del tipo 0.35+0.35+0.4 ma sempre del tipo 0.55 +0.35+0.25, cosa che è **estremamente preoccupante** perché per conservazione di qdm e geometria mercedes non dovrebbero poter accadere (o meglio se si prendono deltat tra 15 e 100 ns (il classico fondo di prova) si vede che nell'intervallo in cui se ne trova 61 ce ne sarebbe in media 1 o 2 di questi eventi **per coincidenza casuale**.

Potrebbero essere eventi provenienti da scattering a due gamma di cui uno finisce su un fotomoltiplicatore e l'altro ne colpisce un'altro e rimbalza compton colpendo infine anche il terzo. L'unico problema è che se si prendono le somme delle energie dei due fotoni deboli si trova che la loro. Energia complessiva è più grande di 0.6, quindi ben oltre 0.5.

Però **non scordiamoci dell'esistenza del fotone del Ne**. Anche guardando una scheda di esperienza simile alla nostra trovata online si parla della possibilità che tali eventi siano proprio la coincidenza casuale di un fotone da 0.5 che colpisce un pmt mentre gli altri due vengono colpiti da un Ne che rimbalza da uno all'altro: spiegherebbe la maggiore energia di quest'ultimo.

Un'altra spiegazione è simile a questa ma con gli altri due pmt colpiti da due gamma provenienti da un decadimento a 3gamma, anche se è più raro probabilmente della spiegazione precedente

Poiché abbiamo visto che di eventi in cui si sfiora 1.1 non ce ne sono cinematicamente possibili se provenissero da 3 gamma (abbiamo detto una cosa probabile è il discorso del NE), si può tagliare a Charge_tot<1.1 senza perdere in teoria eventi a tre fotoni.

In quest'ultimo effetto e in generale gli eventi a due gamma possono essere ridotti (in teoria quasi del tutto) semplicemente **mettendo una schermatura sulle congiungenti dei due fotomoltiplicatori**. Così dovrebbe essere più facile scegliere che taglio fare in carica

Un altro possibile upgrade al sistema potrebbe essere quello di **non spartire più il segnale di pmt3** ma mandarlo solo all'ADC dato che di fatto abbiamo finito per non usarlo per triggerare. Questo dovrebbe alzarne la frequenza efficace (vedi sopra) e quindi rendere.

ATTENZIONE: questo discorso dell'eco che diminuisce l'ampiezza del segnale potrebbe essere causa di casini nelle calibrazioni, sia fatte in passato (bisognerebbe tornare a revisionare) sia per quanto riguardo la run 6, dove in particolare potrebbe spiegare come mai prima di calibrare sulla run stessa, prendendo come calibrazione quella fatta con realtimecalibration (che NON era stata presa con lo splitting di segnale perché triggerata internamente), si SOTTOSTIMAVANO guarda caso le

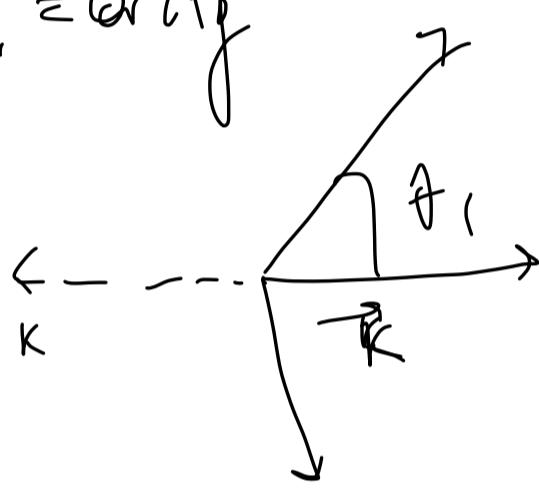
In realtà se ci si pensa bene **non dovremmo aspettarci che l'energia totale sia 1 MeV** comunque perché i fotoni perdono una quantità di energia variabile nel materiale. Quindi non dovremmo magari shockarci se vediamo una distribuzione sparsa e centrata intorno a 0.85 MeV per la somma delle energie.

Una maniera eventuale per misurare l'energia media persa è guardando gli spettri in singola quando non siamo in mercedes (anche se così si misura l'energia media rilasciata da un gamma **a 0.5 MeV**). Sennò si fa una stima della probabilità compton e fotoelettrico con il rapporto tra le sezioni d'urto tabulate all'energia media di 0.33 MeV.

Come mostrato fissare l'impulso di un gamma purtroppo non fissa dal punto di vista cinematico l'angolo degli altri due, perciò non si possono fare dei tagli in carica appositi escludendo geometrie "troppo back to back". Bisognerebbe considerare il fattore dinamico con QED.

$$(\gamma) \propto K^*(1 + \beta \omega s t^*)$$

$$\theta_1 = \arctan$$



$$\sqrt{s} = \frac{P}{E} = \frac{K}{S-K}$$

$$K^* = \frac{m}{2} = \frac{\sqrt{S^2 - 2SK}}{2}$$

$$\frac{K_{1x}}{K_1} = \cos \theta_1$$

$$\cos \theta_{1,2} = \frac{\beta + \cos \theta^*}{1 + \beta \cos \theta^*}$$

$$S = S - K$$

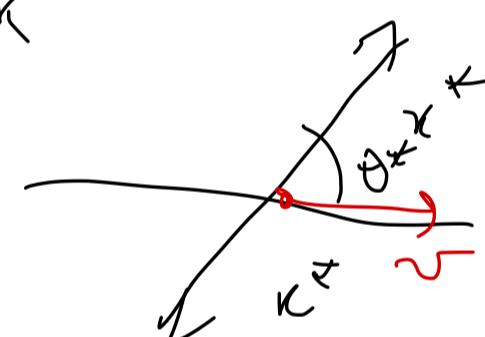
$$\vec{p}_{\text{DOS}} = \vec{K}$$

$$\propto K^*(\beta + \omega \theta^*)$$

$$K_{1x} = \gamma (K_{1x}^* + \beta K^*)$$

$$K_1 = \gamma (K^* + \beta K_{1x}^*)$$

$$= \gamma K^*(1 + \beta \omega \theta^*)$$



$$K \rightarrow S/2 \quad \beta \rightarrow 1 \quad \cos \theta_1, \cos \theta_2 \rightarrow 1 \quad \rightarrow \theta_1, \theta_2 \rightarrow 0$$

$$c_{\pm} = \frac{\frac{K}{S-K} \pm c^*}{1 \pm \frac{K}{S-K} c^*}$$

$$K = 0,4 \text{ GeV} \quad \approx \frac{0,8 \pm c^*}{1 \pm 0,8 c^*}$$

$$c_+ \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ \uparrow & \downarrow \end{bmatrix} \quad c_- \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ \uparrow & \downarrow \end{bmatrix}$$

$$\frac{A+x}{1+Ax} \quad \frac{d}{dx} \rightarrow \frac{(1+Ax) - A(A+x)}{(1+Ax)^2} \rightarrow \frac{1 + Ax - A^2 - Ax}{(1+Ax)^2} > 0$$

$$\frac{A-x}{1-Ax} \rightarrow - (1 - Ax) + A(A-x) = A^2 - Ax - Ax^2 < 0$$

$$c^* = 2$$

$$K_+ = \gamma K^*(1 + \beta c^*)$$

$$K_- = \gamma K^*(1 - \beta c^*)$$

$$K_+ > K_-$$

Per incontro martedì 5 Aprile:

- Stima del numero di eventi tripli con condizioni imposte
- Discussione sullo spettro della somma delle energie sugli eventi buoni (perdita parziale di energia da parte dei fotonii)
- Discussione sugli eventi HLL (High-Low-Low), possibili interpretazioni e possibili rimedi (schermatura). Il problema è che questi tipi di eventi in teoria avvengono anche sotto il taglio se ad esempio il fotone H fa compton...
- Scatter modulo quadrimpulso
- Δt_{12} e Δt_{13}
- Calibrazione in tempo reale usando anche il picco Na A perché siamo interessati solo al **rate** e possibile motivo di discrepanza con la calibrazione precedente: eco.
- Fit quadratico per la massa dell'elettrone per spiegare il problema di offset **tropo grande**

INcontro 05/04

Chi quadro per selezione di eventi simultanei
Montecarlo per quanta energia attesa in coincidenza e non
Montecarlo per quanta energia persa
Montecarlo per avere un idea di che trimpulso aspettarsi

Eventi interessanti sopra picco del neon
Eventi interessanti fotonii del neon da una parte e fotone normale dall'altro
Fare meglio risoluzione in tempo, muri di piombo e energia persa stimata media per separare meglio rumore e fondo
Mettere anche taglio 0.05 in ampiezza
Non tagliare a 1.1 tanto si vede dal plot, mentre in singola va bene perché vanno tagliati dal fondo

05/04/22

Partiamo con le lastre di piombo tra i pmt e con alcuni accorgimenti

Switchiamo i fili 1 e 2 a partire dall'uscita dei pmt (quindi switchano tutto il circuito a valle del pmt) per vedere se così Δt_{12} cambia segno e non splittiamo più il pmt3.

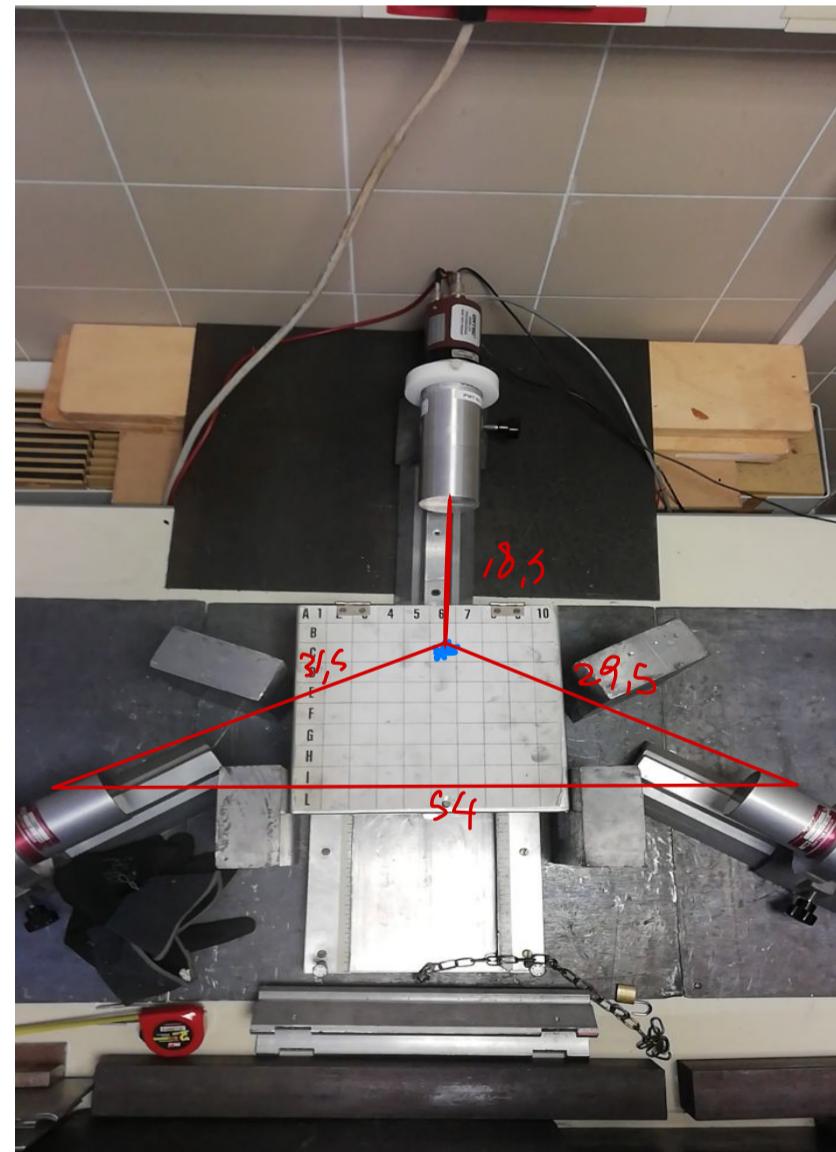
Vediamo un frequenza di circa 0.2 Hz

Le frequenze in singola sono

Pmt1 600 Hz

Pmt2 650 Hz

Pmt3 1000 Hz



Poiché ci sono pochi eventi sotto la soglia corretta nel file di run 7 (tipo 2) perché abbiamo comunque allontanato i pmt per poterli schermare, oggi stiamo riprendendo una run più lunga di questi dati. La frequenza del trigger è dell'ordine dell'Hz o poco meno secondo Wavedump.

Purtroppo avvicinare per esempio il pmt3 di pochi centimetri da 18 a 15 farebbe guadagnare solo circa il 50% in più in frequenza di eventi che gli arrivano ma perderebbe più o meno la metà della schermatura sia dal pmt1 che dal pmt2. Non ne vale la pena secondo noi.

Abbiamo il pomeriggio analizzato i dati del run8 presi la mattina, trovando che i bunch in tempo e fuori tempo sono separati ma ci sono SOLO 6 EVENTI.

Inoltre siamo riusciti a ottenere dei valori buoni per la massa dell'elettrone applicando per bene quello ce avevamo già provato a fare alcuni giorni fa: il fit di calibrazione imponendo offset 0 (**deve esserlo**) e mettendo invece un termine non quadratico.

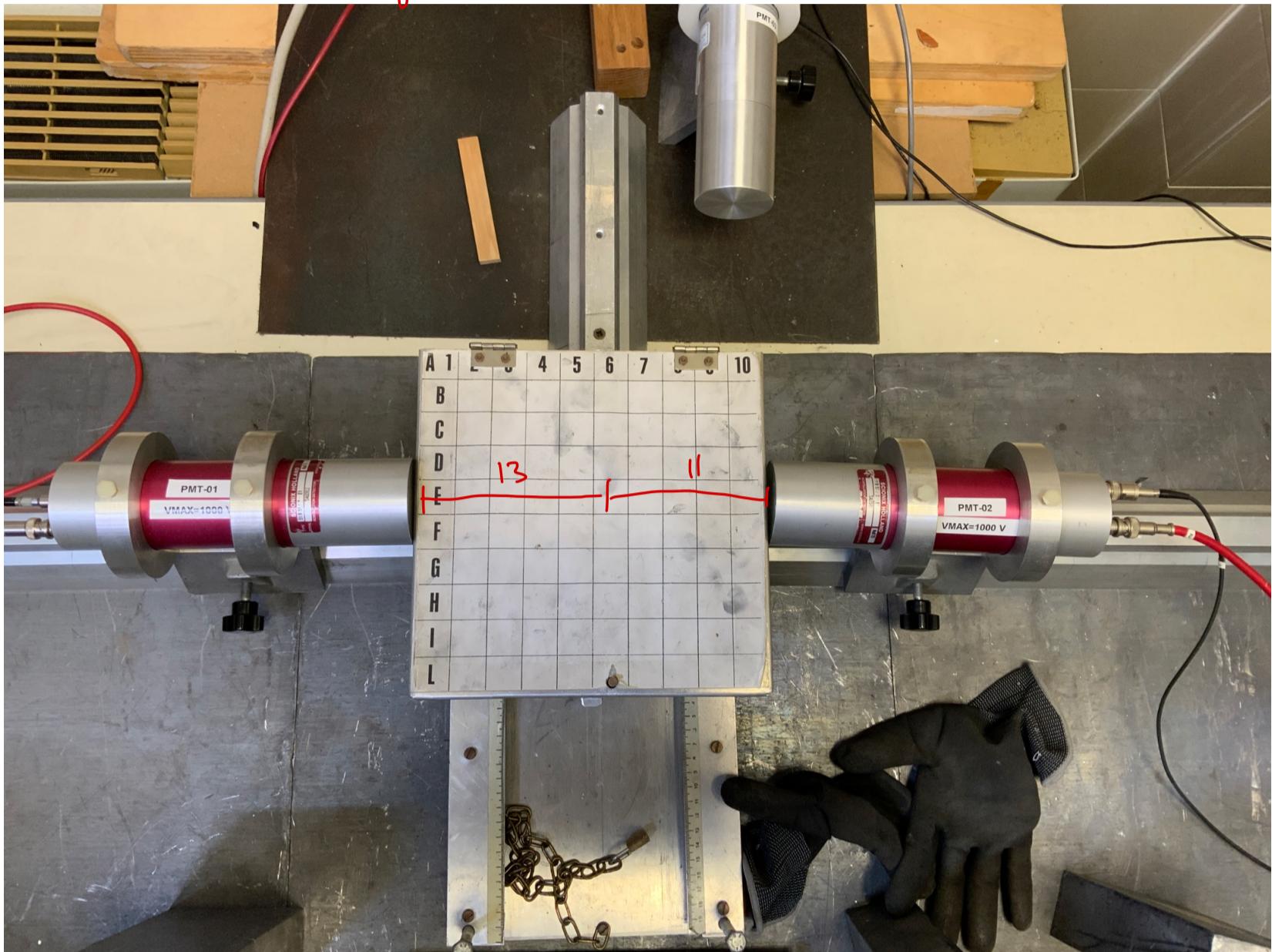
Per quanto riguarda domani

Vorremmo misurare l'efficienza (mmm non facile perché **non penetrano come muoni**)

Dobbiamo fare il punto 19: configurazione a T (perché ci servono 2 gamma) in maniera che però non sia impossibile vedere un o-Ps in 3 gamma (non tutti da una parte della sorgente) triggerando su coincidenza 1, 2 e 3 ma con soglia del tre sopra 0.6 Mev (vogliamo neon tanto). Si fa con metallo, aerogel e senza (se abbiamo tempo, dato che senza in teoria è già fatto) e si spera che con aerogel si becchino degli eventi in cui il pmt3 si attiva 100 ns prima in media<

<<

Configurazione EG



07/06/2022

In configurazione a T (I2)

Triggeriamo sulla coincidenza a 3 dei tre fotomoltiplicatori con thresholds circa

V1= 14.2 mV V2= 14.4 mV V3=14 mV

Date queste threshold i rate in singola sono circa

pmt1= 4.2 kHz
pmt2= 3.1 kHz
pmt3= 600 Hz

Il rate triggerando a 3 è 2 Hz

Abbiamo capito che l'^o-Ps vive 120 ns nel **vuoto**, non nei materiali (nemmeno aerogel). Quindi usare materiali sempre più leggeri al massimo ne aumenta la vita media, ma mai fino a così tanti ns. In essenza passa più tempo in media prima che faccia pick-off. Perciò ci aspettiamo una gaussiana sovrapposta a un esponenziale, dove l'esponenziale ha vita media che aumenta in teoria all'aumentare della porosità del materiale.

Una cosa possibile quando si vogliono vedere vite lunghe con aerogel è quello di schermare l'aerogel prima con un materiale che **rallenta** il positronio ma **non lo arresta**, così da arrivare all'aerogel con la velocità più adeguata per formare o-Ps legato.

Un effetto che bisogna ricordarsi di considerare è che indipendentemente dal materiale con cui si circonda la sorgente **sopra e sotto rimarrà sempre scoperta al metallo (???) della scatola**.

Calibrazioni alternative:

1.1

Ultime cose da fare:

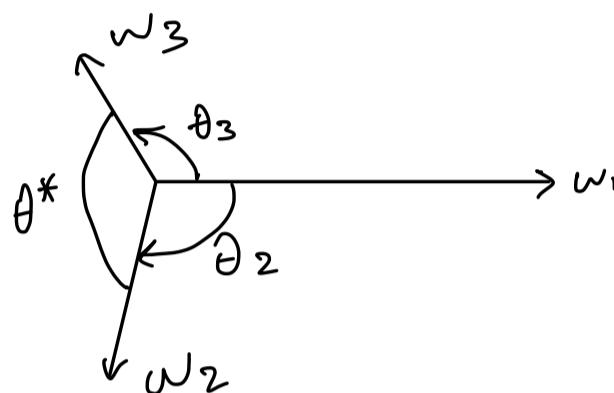
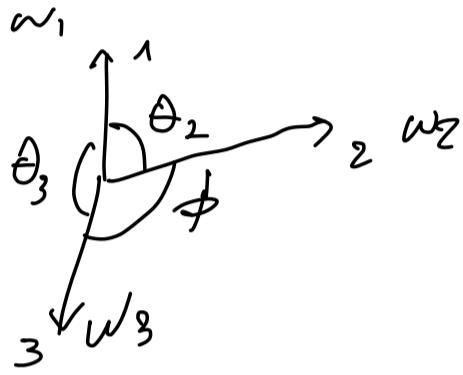
Fit alternativi per le sistematiche

- ① Calcolo del rate in 3gamma ed eventuale previsione dei tagli fatti
- ② Calcolo di alpha calcolando le accettanze e la sezione d'urto inell'intorno di 120 gradi
- ✗ Misura di vita media non nulla
Coincidenza temporale con chisq

$$\omega_2 = \frac{(m+E_2)(m-\omega_1)}{m+E_2+\omega_1 - \omega_1 \cos \theta_2} = \frac{2m(m-\omega_1)}{2m+\omega_1(1-c_2)}$$

$$\frac{d\omega_2}{dc_2} = \frac{2m(m-\omega_1)\omega_1}{[2m+\omega_1(1-c_2)]^2}$$

$$d\sigma_{3\gamma} = \frac{2\alpha^3}{6m^2 v} |M|^2 \frac{2m(m-\omega_1)\omega_1}{[2m+\omega_1(1-c_2)]^2} d\omega_1 dc_2$$



$$\theta_2 + \theta_3 + \theta_{23} = 2\pi$$

$\omega_1(\theta_2, \theta_3)$ ist folglich

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_2 \cos \theta_2 + \omega_3 \cos \theta_3 = -\omega_1 \\ \omega_3 \sin \theta_3 = \omega_2 \sin \theta_2 \\ \omega_3 = 2m - \omega_1 - \omega_2 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \omega_2(c_2 - c_3) + 2mc_3 = \omega_1(c_3 - 1) \\ 2m s_3 - \omega_1 s_3 = \omega_2(s_2 + s_3) \end{array} \right.$$

$$\frac{2ms_3 - \omega_1 s_3}{s_2 + s_3} \frac{(c_2 - c_3)}{(-1 + c_3)} + \frac{2mc_3}{(-1 + c_3)} = \omega_1$$

$$\frac{2m}{1+c_3} \left(\frac{s_3(c_2 - c_3)}{s_2 + s_3} + c_3 \right) = \omega_1 \left(1 + \frac{s_3}{s_2 + s_3 - 1 + c_3} \frac{(c_2 - c_3)}{(-1 + c_3)} \right)$$

$$2m(s_3(c_2 - c_3) + c_3(s_2 + s_3)) = \omega_1 [s_2(-1 + c_3) + s_3(1 + c_2)]$$

$$\omega_1 = 2m \frac{c_2 s_3 + c_3 s_2}{s_2(-1 + c_3) + s_3(1 + c_2)}$$

$$\omega_1(c_2, c_3) = 2m \frac{1}{1 - \frac{s_2 + s_3}{s_2 c_3 + s_3 c_2}}$$

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial \theta_2} = 2m \frac{1}{\left(1 - \frac{s_2 + s_3}{s_2 c_3 + s_3 c_2}\right)^2} \cdot \frac{c_2(s_2 c_3 + s_3 c_2) - (s_2 + s_3)(c_2 c_3 - s_2 s_3)}{(s_2 c_3 + s_3 c_2)^2}$$

$$= \frac{2m}{[s_2(-1+c_3) + s_3(1+c_2)]^2} \cancel{s_2 c_2 c_3 + s_3 c_2 c_3 - s_2^2 s_3 - s_2 s_3^2 - s_2 c_2 c_3 - s_3 c_2^2}$$

$$= \frac{2ms_3}{[s_2(-1+c_3) + s_3(1+c_2)]^2} (c_2 c_3 - s_2 s_3 - 1)$$

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial \theta_3} = 2m s_2 \cdot \frac{- - -}{c - - -}$$

$$d\zeta_{xy} = \frac{2\alpha^3}{6m^2 \nu} |M|^2 d\omega_1 d\omega_2$$

$$\omega_1, \omega_2 \rightarrow \theta_2, \theta_3$$

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial \omega_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial \omega_1}{\partial \theta_3} \\ \frac{\partial \omega_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial \omega_2}{\partial \theta_3} \end{vmatrix} \rightarrow \text{Jacobiens}$$

$$d\omega_1 d\omega_2 = J d\theta_2 d\theta_3$$

$\omega_2(\theta_2, \theta_3)$ è come $\omega_1(\theta_2, \theta_3)$ ma con $\theta_3 \rightarrow \theta_* = 2\pi - \theta_2 - \theta_3$

$$\omega_2(\theta_2, \theta_3) = 2m \frac{1}{1 - \frac{s_2 + s_3}{s_2 c_3 + s_3 c_2}} = 2m \frac{1}{1 - \frac{s_2(1-c_3) - s_3 c_2}{s_2 c_3 - s_2^2 s_3 - s_2 c_2 c_3 - s_3^2 c_2}}$$

$$\boxed{\omega_2(\theta_2, \theta_3) = \frac{2m}{1 + \frac{s_2(1-c_3) - c_2}{s_3}}} \quad \begin{aligned} s_3 \rightarrow 0 &\Rightarrow \omega_2 \rightarrow 0 \\ s_3 \rightarrow 0, s_2 \rightarrow 0 &\Rightarrow \omega_2 \rightarrow \frac{2m}{2 - c_2 - c_3} \end{aligned}$$

$$\sin(2\pi - (\theta_2 + \theta_3)) = -\sin(\theta_2 + \theta_3) = -(s_2 c_3 + s_3 c_2) = s^* \quad \begin{array}{c} \xleftarrow[3]{2} \\ \xrightarrow[3]{1} \end{array} \quad \frac{m}{z}$$

$$\cos(2\pi - \theta_2 + \theta_3) = \cos(\theta_2 + \theta_3) = c_2 c_3 - s_2 s_3 = c^* \quad \begin{array}{c} \xleftarrow[3]{1} \\ \xrightarrow[3]{2} \end{array} \quad \frac{m}{y}$$



$$\frac{\partial \omega_2}{\partial \theta_2} = \frac{-2m}{\left(1 + \frac{s_2}{s_3}(1-c_3) - c_2\right)^2} \cdot \left(\frac{c_2}{s_3}(1-c_3) + s_2 \right)$$

$$\frac{\partial \omega_2}{\partial \theta_3} = -\frac{2m}{\left(1 + \frac{s_2}{s_3}(1-c_3) - c_2\right)^2} \cdot \left(s_2 \frac{s_3^2 - (1-c_3)c_3}{s_3^2} \right) = -\frac{2ms_2}{\left(1 + \frac{s_2}{s_3}(1-c_3) - c_2\right)^2} \cdot \frac{1-c_3}{s_3^2}$$

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial \theta_2} \cdot \frac{\partial \omega_2}{\partial \theta_3} - \frac{\partial \omega_1}{\partial \theta_3} \cdot \frac{\partial \omega_2}{\partial \theta_2} = -\frac{4m^2 s_3 s_2 (1-c_3)}{\left[s_2(1+c_3) + s_3(1+c_2)\right]^4} (c_2 c_3 - s_2 s_3 - 1)$$

$$+ \frac{4m^2 s_2 s_3^2}{\left[s_2(1+c_3) + s_3(1+c_2)\right]^4} (c_2 c_3 - s_2 s_3 - 1) \left(\frac{c_2}{s_3}(1-c_3) + s_2 \right) \quad (\alpha-1)(-\alpha-1) \\ = -(\alpha+1)(\alpha-1) \\ = -(\alpha^2-1) =$$

$$= \frac{4m^2 s_2 s_3}{\left[s_2(1-c_3) + s_3(1-c_2)\right]^4} (c_2 c_3 - s_2 s_3 - 1) \left[(c_2 - 1)(1-c_3) + s_2 s_3 \right] \quad = 1 - \alpha^2$$

$$= \frac{4m^2 s_2 s_3}{\left[s_2(1-c_3) + s_3(1-c_2)\right]^4} (c_2 c_3 - s_2 s_3 - 1) (s_2 s_3 - c_2 c_3 - 1)$$

$$= \frac{4m^2 s_2 s_3}{\left[s_2(1-c_3) + s_3(1-c_2)\right]^4} \left(1 - (c_2 c_3 - s_2 s_3)^2 \right) > 0$$

"cos(\theta_2 + \theta_3)"

$$d\sigma_{3\chi} = \frac{\alpha^3}{3m^2\omega} |M|^2 d\omega_1 d\omega_2 = \frac{\alpha^3}{3m^2\omega} |M|^2 J d\theta_1 d\theta_2$$

Vogliamo ora $|M|^2$ e J nel punto massimo

$$\therefore \theta_2 = \theta_3 = \frac{2}{3}\pi \quad S_2 = S_3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad c_2 = c_3 = -1/2 \quad \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \frac{2}{3}m$$

Prendiamo 89.14 barken hertz 1982 QED

$$d\sigma_{3\chi} = \frac{1}{6} \frac{8\alpha^3}{\sqrt{m^2}} \left[\left(\frac{m-\omega_3}{\omega_1\omega_2} \right)^2 + \left(\frac{m-\omega_2}{\omega_1\omega_3} \right)^2 + \left(\frac{m-\omega_1}{\omega_2\omega_3} \right)^2 \right] d\omega_1 d\omega_2$$

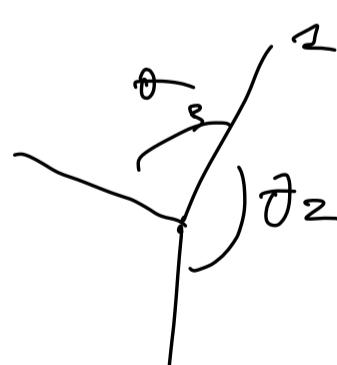
$$= \frac{4\alpha^3}{3\sqrt{m^2}} \left[\left(\frac{m-\omega_3}{\omega_1\omega_2} \right)^2 + \left(\frac{m-\omega_2}{\omega_1\omega_3} \right)^2 + \left(\frac{m-\omega_1}{\omega_2\omega_3} \right)^2 \right] J d\theta_2 d\theta_3$$

$$\omega_i = \frac{2}{3}m \rightarrow \left(\frac{m-\omega_i}{\omega_j\omega_k} \right)^2 = \left(\frac{1/3m}{4/9m^2} \right)^2 = \frac{9}{16m^2}$$

$$= 3 \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{\alpha^3}{\sqrt{m^4}} \cdot \frac{4m^2 \cdot 3/4}{16 \cdot \frac{3^6}{2^8}} \cdot 3/4 d\theta_2 d\theta_3 = \frac{\alpha^3}{27\sqrt{m^2}} d\theta_2 d\theta_3$$

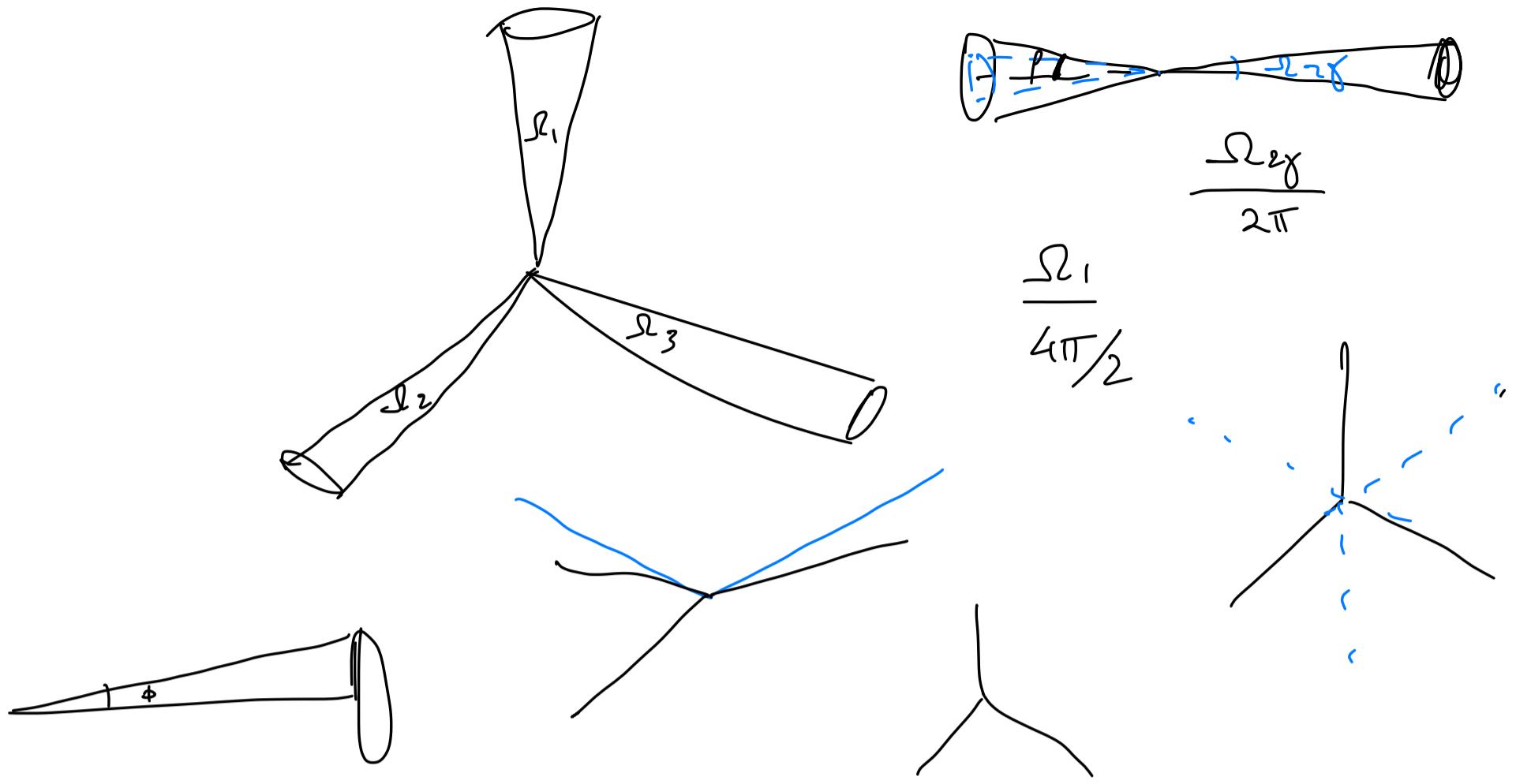
$$\frac{d\sigma_{3\chi}}{d\theta_2 d\theta_3} \Big|_{\text{sym}} = \frac{\alpha^3}{9\sqrt{m^2}} \underline{d\theta_2 d\theta_3} \quad (\hbar = c = 1)$$

$$\frac{d\sigma_{2\chi}}{d\Omega} = \frac{1}{C\omega} \left(\frac{\hbar\alpha}{m} \right)^2 = \frac{1}{\sqrt{m^2}} \alpha^2$$

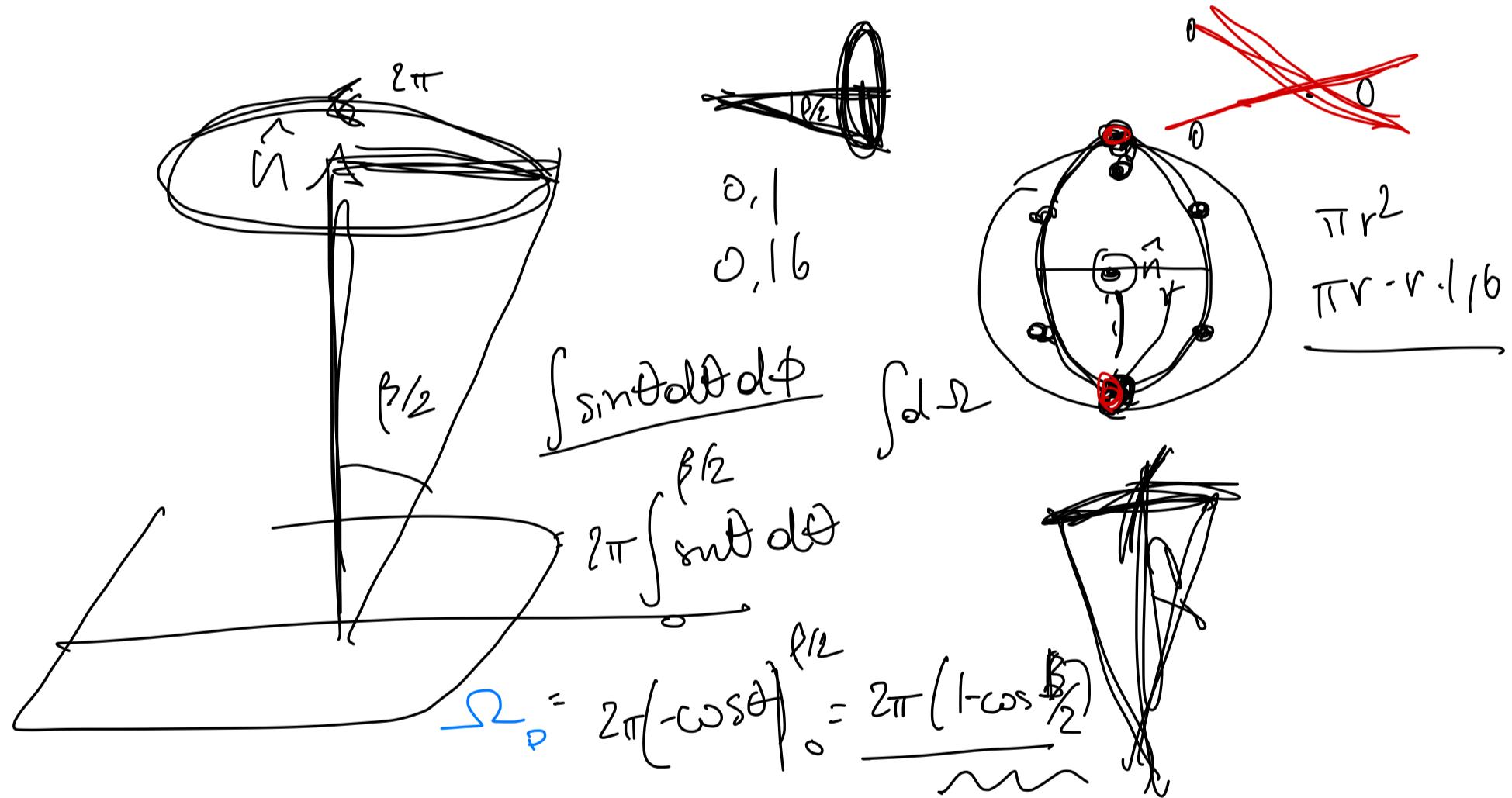


$$\frac{R_{1\chi}}{R_{2\chi}} = \frac{\int \frac{d\sigma_{3\chi}}{d\Omega_1 d\Omega_2 d\Omega_3} d\Omega_1 d\Omega_2 d\Omega_3 \cdot \epsilon(k_1) \epsilon(k_2) \epsilon(k_3)}{\int \frac{d\sigma_{3\chi}}{d\Omega_1 d\Omega_2} d\Omega_1 d\Omega_2 \cdot \epsilon^2(k=m)}$$

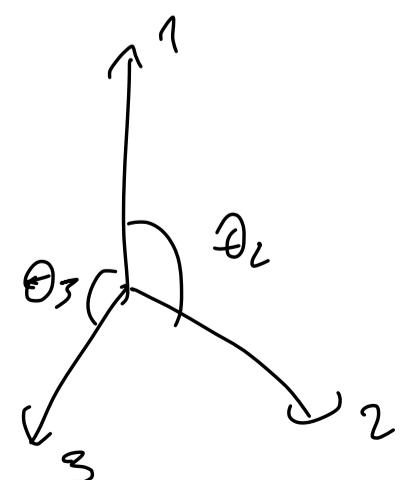
$= \frac{\Omega_{2\chi}}{2\pi} \cdot \frac{d\sigma_{2\chi}}{d\Omega}$

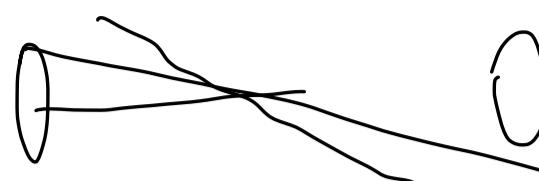
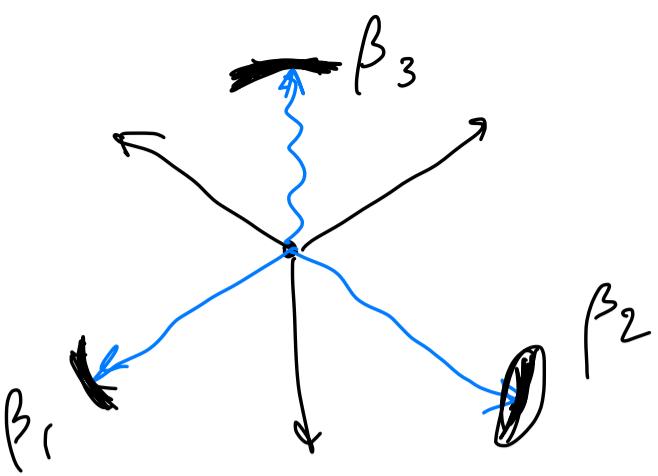


$$\frac{3}{30} = 0,1 \rightarrow \tan^{-1} \approx 0,1 \rightarrow 2\pi(1 - \cos(\alpha/2)) \approx 3 \cdot 10^{-2}$$



Bisogno fare quasi $\Omega_p / 2\pi$ (non $1/4\pi$ per simmetria) $\rightarrow 1 - \cos \frac{\beta_1}{2} \approx 5 \cdot 10^{-3}$





$$\frac{\beta_3}{2\pi} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 + \frac{\beta_1}{2\pi} \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 + \frac{\beta_2}{2\pi} \cdot \beta_1 \cdot \beta_3 = \frac{3}{2\pi} \beta_1 \beta_2 \beta_3$$

$$(1 - \cos \frac{\beta_1}{2}) \cdot \frac{3}{2\pi} \beta_1 \beta_2 \beta_3 \cdot \left(\frac{d\beta_3}{d\theta_2 d\theta_3} \right)_{\text{merc}} \cdot \epsilon^3 \left(\frac{2m}{3} \right)$$

$$\frac{d\beta_3}{d\theta_2} \cdot \frac{\Omega_2}{2\pi} \cdot \epsilon^2(m)$$

$$\phi = \frac{\beta_1}{2} - \frac{\beta_2}{2}$$

$$\frac{R_{3g}}{R_{2g}} \approx \frac{(1 - \cos \frac{\beta_1}{2}) \beta_1 \beta_2 \beta_3}{3 \cdot \Omega_2 \gamma \cdot 2\pi (1 - \cos \rho)} \cdot \frac{\epsilon^3 \left(\frac{2m}{3} \right)}{\epsilon^2(m)} \alpha = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cancel{5} \cdot 0,12 \cdot 4 \cdot 10^{-2} (0,81)^3}{3 \cdot 2\pi \cancel{2,5} \cdot 10^{-2} \cancel{0,6}} \approx 36 \cdot 10^{-7} \alpha$$

1,6.

$$\alpha = 0,008$$

$$\frac{6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^2} = 3 \cdot 10^{-6} = 81 \cdot 10^{-7} \alpha \rightarrow \alpha = 0,03$$

$$\epsilon^3 \left(\frac{2}{3} m \right) \approx (0,81)^3$$

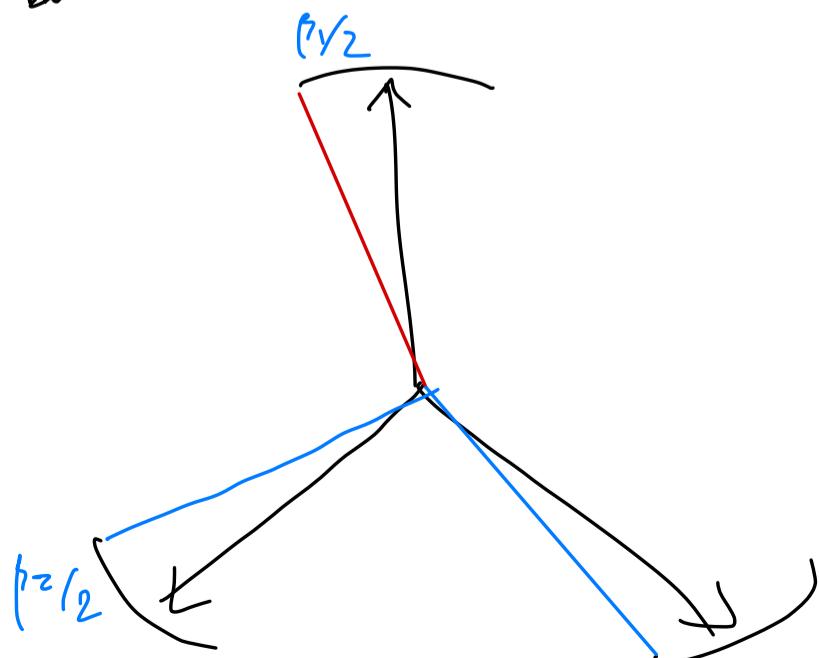
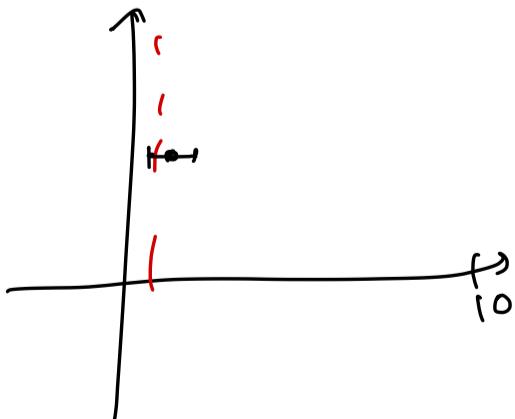
$$\epsilon^2(m) \approx 0,6^2$$

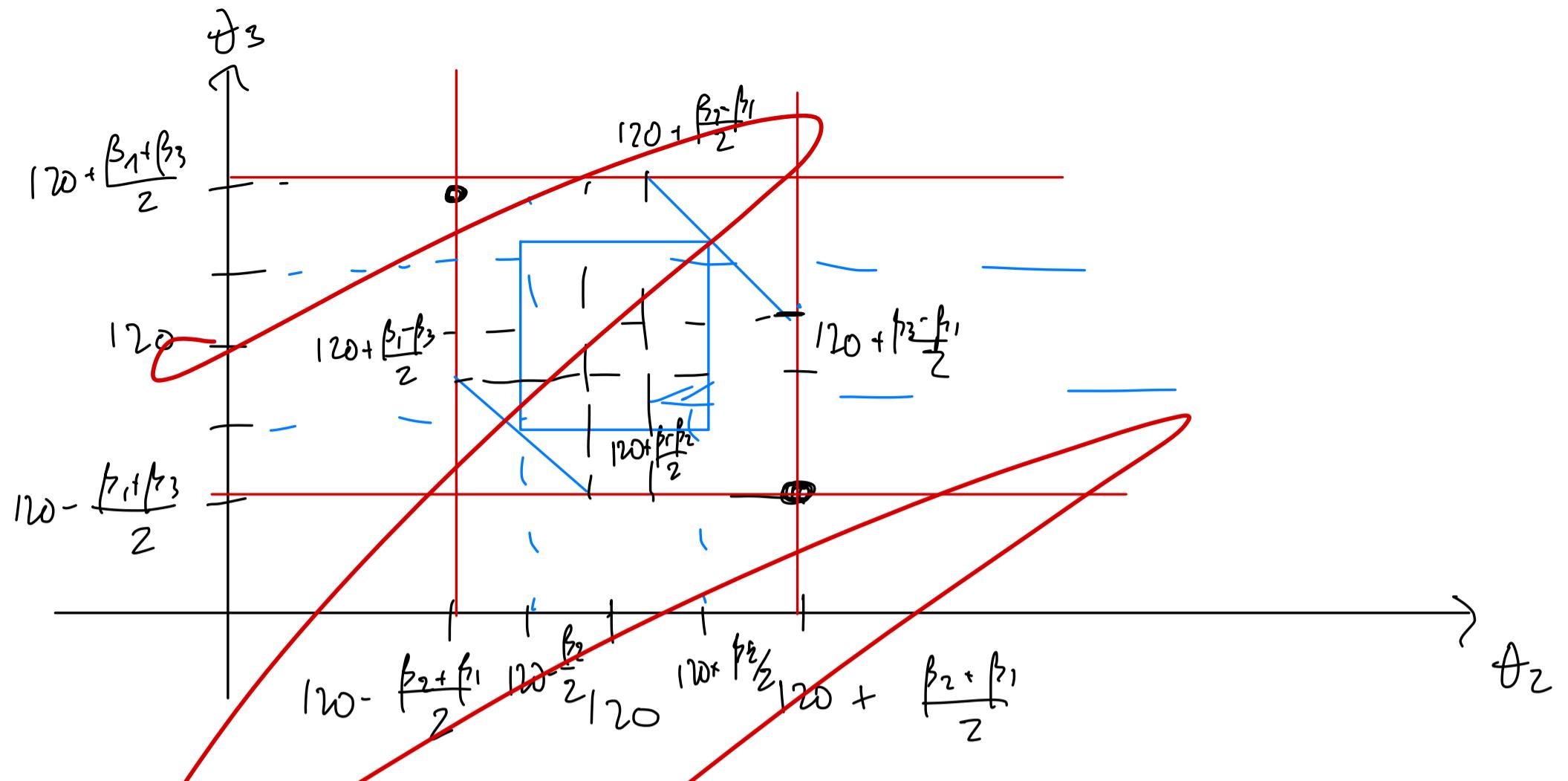
$$\underline{\alpha = 0,012}$$

$$\textcircled{1} \quad \frac{\pi r^2}{\pi r^2 - 1 - 10}$$

$$\alpha_{\text{err}} = 0,007$$

$$\frac{R_{3g}}{R_{2g}} \approx$$

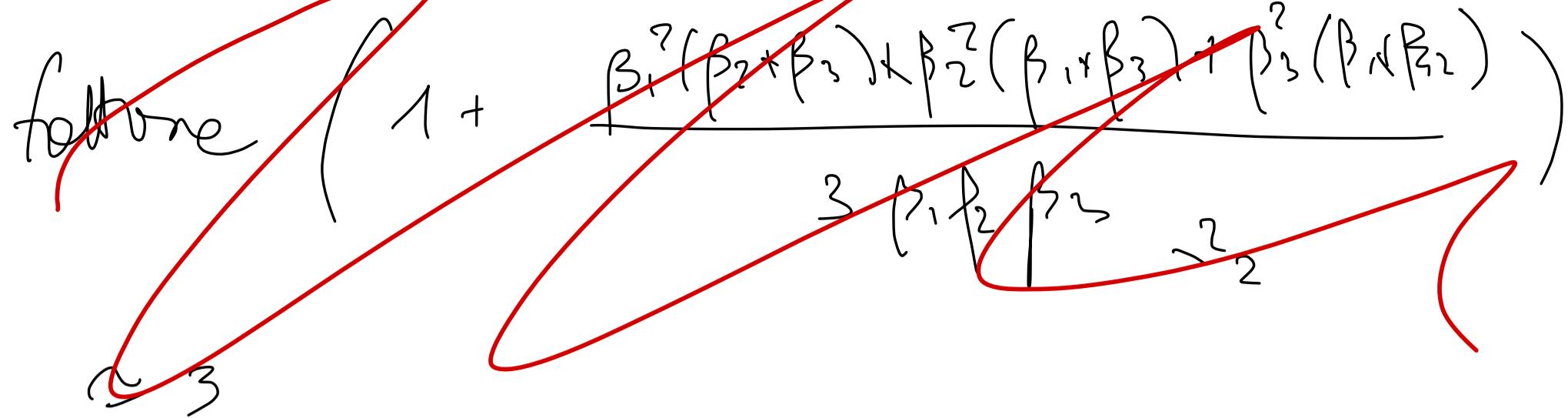




$$\frac{\beta_1 + \beta_3}{2} = \frac{(\beta_1 + \beta_3)(\beta_2 + \beta_1) - \beta_1^2}{2\pi} + \frac{\beta_2\beta_3 + \beta_1(\beta_2 + \beta_3)}{2\pi}$$

$$\frac{\beta_1 + \beta_3}{2\pi} = \frac{\beta_1 + \beta_2\beta_3 + \frac{\beta_1^2}{2\pi}(\beta_2 + \beta_3) + \frac{\beta_1}{2\pi}(\beta_2 + \beta_3)}{2\pi}$$

$$\frac{3}{2\pi} \beta_1(\beta_2 + \beta_3) + \frac{\beta_1^2(\beta_2 + \beta_3) + \beta_2^2(\beta_1 + \beta_3) + \beta_3^2(\beta_1 + \beta_2)}{2\pi}$$



$$\lambda_{EM} = 0,0073$$

$$\lambda = 0,0156$$

$$\int \sin \theta d\theta d\phi$$

