

laboratorio di fisica nucleare e subnucleare

misura della vita media dei muoni

misura della vita media dei muoni perchè

- è una misura molto interessante per la fisica
 - approfondire il processo di decadimento di particelle instabili
 - “vedere” l’antimateria
- è un esperimento completo, di cui si considerano tutte le fasi
 - obiettivi
 - metodo di misura
 - stima del tempo di misura necessario ad ottenere risultati significativi
 - progettazione e implementazione del sistema di acquisizione dati
 - acquisizione dati, e controlli per effetti sistematici
 - analisi statistica dei dati raccolti – stima de parametri e test d’ipotesi
 - conclusioni

*come in tutti gli
esperimenti ...
... scala dei tempi
diversa*

misura della vita media dei muoni perchè

- è una misura molto interessante per la fisica
 - approfondire il processo di decadimento di particelle instabili
 - “vedere” l’antimateria
- è un esperimento completo, di cui si considerano tutte le fasi
 - obiettivi
 - metodo di misura
 - stima del tempo di misura necessario ad ottenere risultati significativi
 - progettazione e implementazione del sistema di acquisizione dati
 - acquisizione dati, e controlli per effetti sistematici
 - analisi statistica dei dati raccolti – stima de parametri e test d’ipotesi
 - conclusioni
- non è necessaria strumentazione particolarmente sofisticata
 - non servono acceleratori o sorgenti
 - i muoni sono una delle componenti dei raggi cosmici a livello del mare
 - fattibile con gli strumenti a disposizione
 - ci saranno anche problemi, banali o meno, come in tutti gli esperimenti
- nulla di realmente nuovo: solo applicazione di quanto sapete già’

*come in tutti gli
esperimenti ...
... scala dei tempi
diversa*

i muoni

muoni

leptoni

	e^- / e^+	μ^- / μ^+	τ^- / τ^+
massa	0.511 MeV/c ²	105.6 MeV/c²	1777 MeV/c ²
vita media τ_0	$> 4.6 \cdot 10^{26}$ yr	$2.2 \cdot 10^{-6}$ s	$2.9 \cdot 10^{-13}$ s
	$\nu_e / \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\tau / \bar{\nu}_\tau$

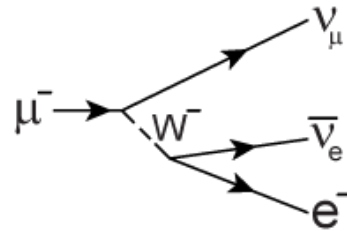
muoni

leptoni

	e^- / e^+	μ^- / μ^+	τ^- / τ^+
massa	0.511 MeV/c ²	105.6 MeV/c²	1777 MeV/c ²
vita media τ_0	$> 4.6 \cdot 10^{26}$ yr	$2.2 \cdot 10^{-6}$ s	$2.9 \cdot 10^{-13}$ s
	$\nu_e / \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\tau / \bar{\nu}_\tau$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad \sim 100\% \text{ dei casi}$$



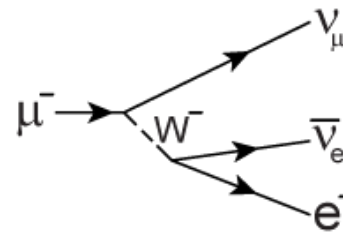
muoni

leptoni

	e^- / e^+	μ^- / μ^+	τ^- / τ^+
massa	0.511 MeV/c ²	105.6 MeV/c²	1777 MeV/c ²
vita media τ_0	$> 4.6 \cdot 10^{26}$ yr	$2.2 \cdot 10^{-6}$ s	$2.9 \cdot 10^{-13}$ s
	$\nu_e / \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\tau / \bar{\nu}_\tau$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad \sim 100\% \text{ dei casi}$$



vita media: $\tau_0 = 2.2 \cdot 10^{-6}$ s , $\Lambda_0 = 1/\tau_0$
a riposo

“lifetime: time elapsed between some reference time and the decay of a particle/nucleus”

se non a riposo

$$\tau = \gamma \tau_0 , \quad \gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$$

muoni e raggi cosmici

storia: Bruno Rossi, I raggi cosmici

Cosmic Rays

1800: “atmospheric electricity” an electroscope is “spontaneously” discharged

1896, Henri Becquerel: discovery of radioactivity

→ atmospheric electricity is caused by radiation from radioactive elements in the ground

1900-1910: measurements of ionization rate at increasing heights from ground : it decreases, as expected

1912, V. Hess: carried three electrometers to an altitude of 5300 meters in a balloon flight and found that the ionization rate increased approximately four-fold over the rate at ground level

“The results of my observation are best explained by the assumption that a radiation of very great penetrating power enters our atmosphere from above.”

COSMIC RAYS

Nobel Prize in Physics in 1936

remarkable progress, in a few years

theory

experiments (could chambers → counters)



Cosmic Rays - muons

1932, B. Rossi: soft and hard components

1932, C. Anderson: positron

1936, S. Nedermeyer and C. Anderson: muon

1937, J. C. Street and E. C. Stevenson: with a cloud chamber measured $m_\mu = 207 m_e$

1935, H. Yukawa: an intermediate mass "meson" is responsible for the nuclear strong force mass of about $100 \text{ MeV}/c^2$: the muon (mesotron) ?

→ "mesone", e non leptone, μ

1939-40, B. Rossi et al.: study of absorption in air and graphite → muon decay, $\tau_\mu \sim 2 \mu\text{s}$

1940, Williams and Roberts: observation of the decay of a muon in e^+

.....

1941, Rasetti: $\tau_\mu = 1.5 \pm 0.3 \mu\text{s}$, first direct measurement

1942, Rossi and Nereson: with time-to-amplitude converter,

$$\tau_\mu = 2.3 \pm 0.2 \mu\text{s}$$

1947-1948, Conversi, Pancini, Piccioni: muon capture

from muon decay in different materials, the capture in light materials is not as relevant as in case of strong interactions

the muon does not interact strongly with nuclei, it can not be the Yukawa particle

Cosmic Rays - muons

1932, B. Rossi: soft and hard components

1932, C. Anderson: positron

1936, S. Nedermeyer and C. Anderson: muon

1937, J. C. Street and E. C. Stevenson: with a cloud chamber measured $m_\mu = 207 m_e$

1935, H. Yukawa: an intermediate mass "meson" is responsible for the nuclear strong force mass of about $100 \text{ MeV}/c^2$: the muon (mesotron) ?

→ "mesone", e non leptone, μ

1939-40, B. Rossi et al.: study of absorption in air and graphite → muon decay, $\tau_\mu \sim 2 \mu\text{s}$

1940, Williams and Roberts: observation of the decay of a muon in e^+

.....

1941, Rasetti: $\tau_\mu = 1.5 \pm 0.3 \mu\text{s}$, first direct measurement

1942, Rossi and Nereson: with time-to-amplitude converter,

$$\tau_\mu = 2.3 \pm 0.2 \mu\text{s}$$

ci torniamo
piu' avanti

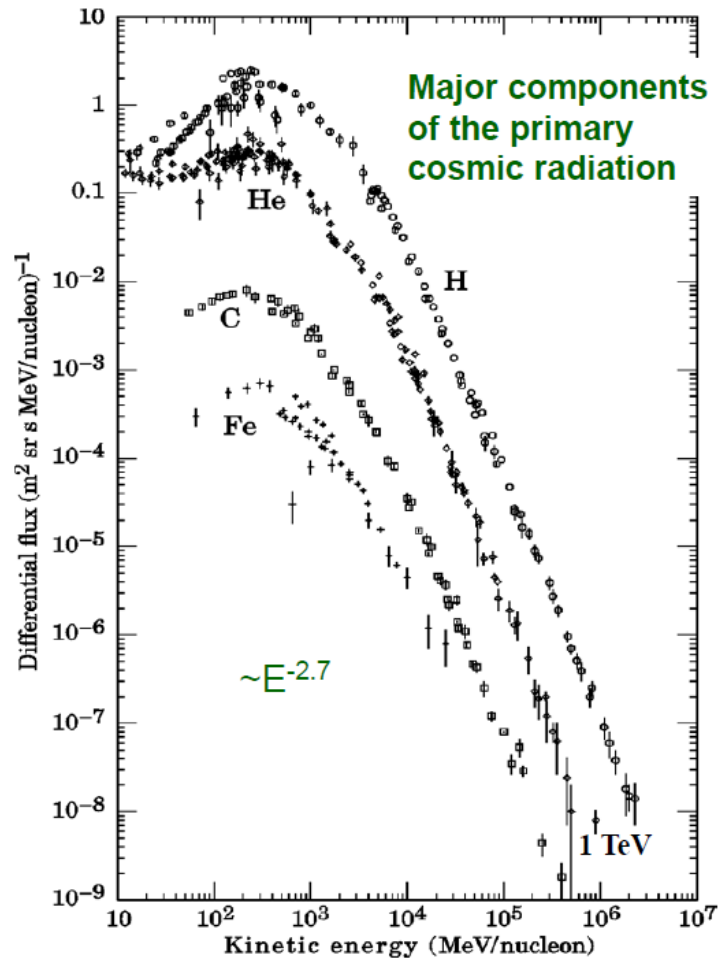
1947-1948, Conversi, Pancini, Piccioni: muon capture

from muon decay in different materials, the capture in light materials is not as relevant as in case of strong interactions

the muon does not interact strongly with nuclei, it can not be the Yukawa particle

raggi cosmici – alcune informazioni utili

Primary Cosmic Rays



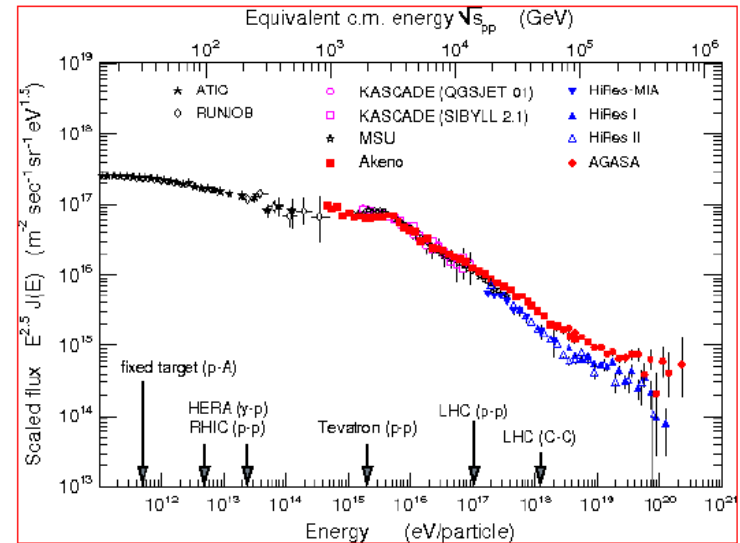
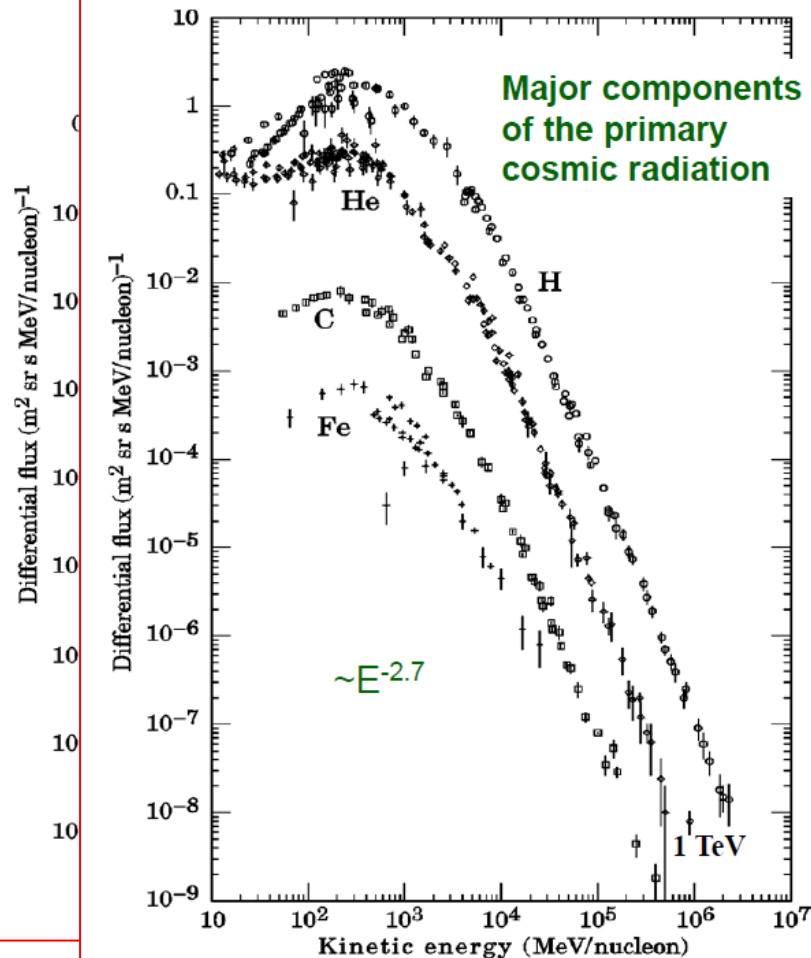
Relative abundances F of cosmic-ray nuclei at 10.6 GeV/nucleon

Z	Element	F	Z	Element	F
1	H	540	13-14	Al-Si	0.19
2	He	26	15-16	P-S	0.03
3-5	Li-B	0.40	17-18	Cl-Ar	0.01
6-8	C-O	2.20	19-20	K-Ca	0.02
9-10	F-Ne	0.30	21-25	Sc-Mn	0.05
11-12	Na-Mg	0.22	26-28	Fe-Ni	0.12

raggi cosmici – alcune informazioni utili

Primary Cosmic Rays

Primary Cosmic Rays



the *knee* could be due to the fact that most cosmic accelerators in the galaxy have reached their maximum energy...

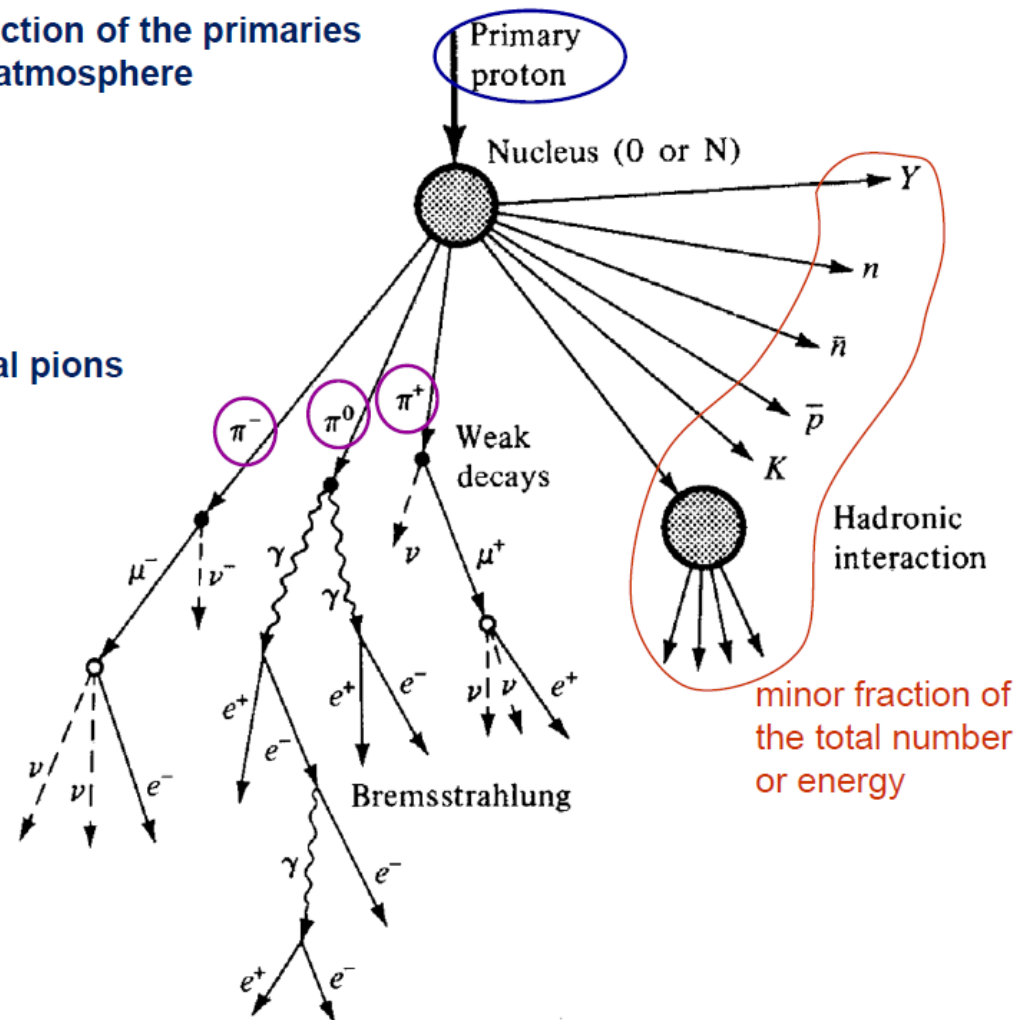
for the *ankle*, one possibility is that an extragalactic flux beginning to dominate over the galactic flux ...

raggi cosmici

Secondary Cosmic Rays

particles produced in interaction of the primaries
with interstellar gas and atmosphere

mostly charged and neutral pions



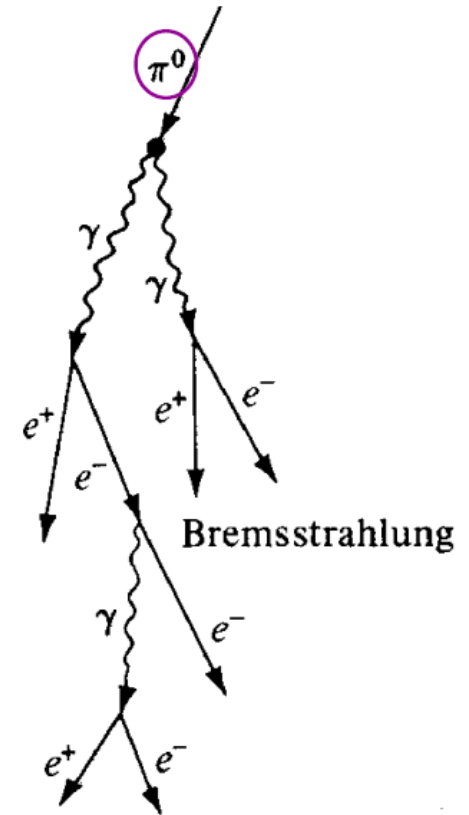
Secondary Cosmic Rays

neutral pions $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ $\tau_{\pi^0} \cong 8 \cdot 10^{-17} \text{ s}$

in $\sim$ one radiation length (37 g/cm^2 in air) an energetic photon interacts with the nuclear electric field of nitrogen or oxygen $\rightarrow e^+e^-$

the electrons and positrons interact with air in $\sim$ one radiation length to create bremsstrahlung photons again dividing the energy

e.m. SHOWERS “**soft**” component
this process comes to a halt as the average γ -ray energy drops below the pair creation threshold of 1 MeV, and normal ionization loss depletes the electron energies



raggi cosmici

Secondary Cosmic Rays

charged pions

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu$$

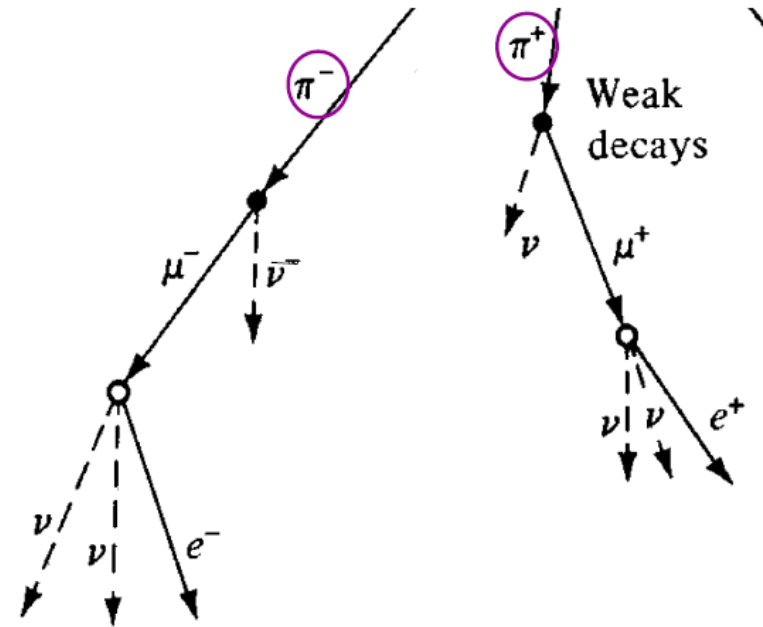
$$\tau_\pi \cong 26 \text{ ns}$$

“hard” component

ionisation energy
loss only

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$$



Cosmic Rays: hard and soft components

1932, B. Rossi

542

BRUNO ROSSI

1948

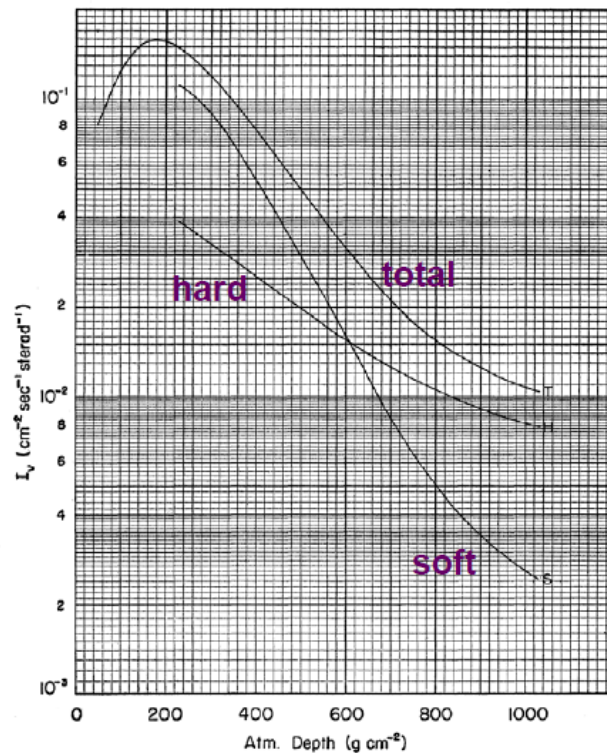
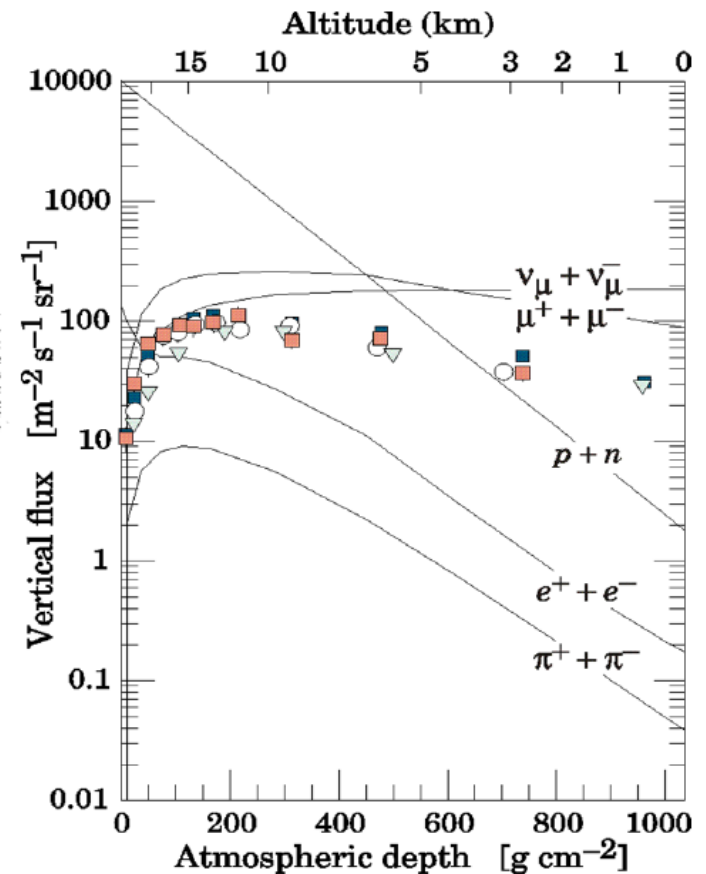


FIG. 3. The vertical intensities of the hard component (H), of the soft component (S), and of the total corpuscular radiation as a function of atmospheric depth near the geomagnetic equator. Minimum range of the soft particles: 5 g cm^{-2} of brass.

$$\Phi_v = \frac{d^3 N}{dS dt d\Omega} \quad \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$$



meas. negative muons with $E > 1 \text{ GeV}$

PDG

raggi cosmici

Cosmic Rays - sea level

MUONS

the **integral intensity of vertical muons**

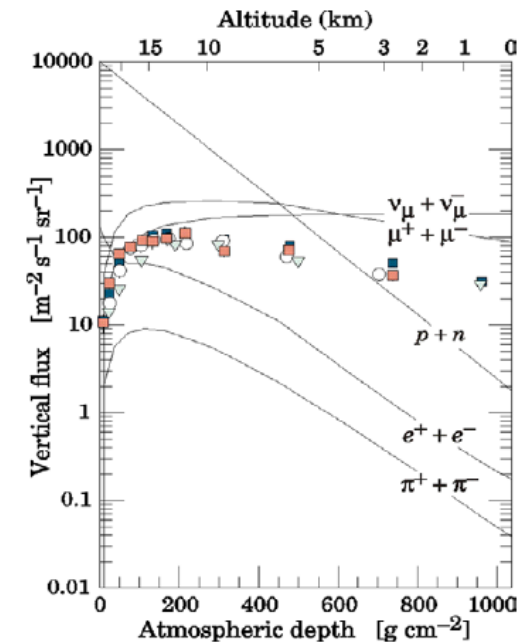
above 1 GeV/c at sea level is $I_V \sim 80 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$
($I \approx 1 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ for horizontal detectors)

the overall **angular distribution** of muons

$$I \sim I_V \cos^2 \theta$$

at low energy the angular distribution becomes increasingly steep
(at large angles low energy muons decay before reaching the surface)

their **energy and angular distributions** reflect a convolution of
production spectrum, energy loss in the atmosphere, and decay



Cosmic Rays - sea level

MUONS

the **mean energy** of muons
at the ground is ≈ 4 GeV

the energy spectrum is almost flat
below 1 GeV, steepens gradually
to reflect the primary spectrum in the
10–100 GeV range

$$\Phi = \frac{d^4N}{dS dt d\Omega dp}$$

B. Rossi

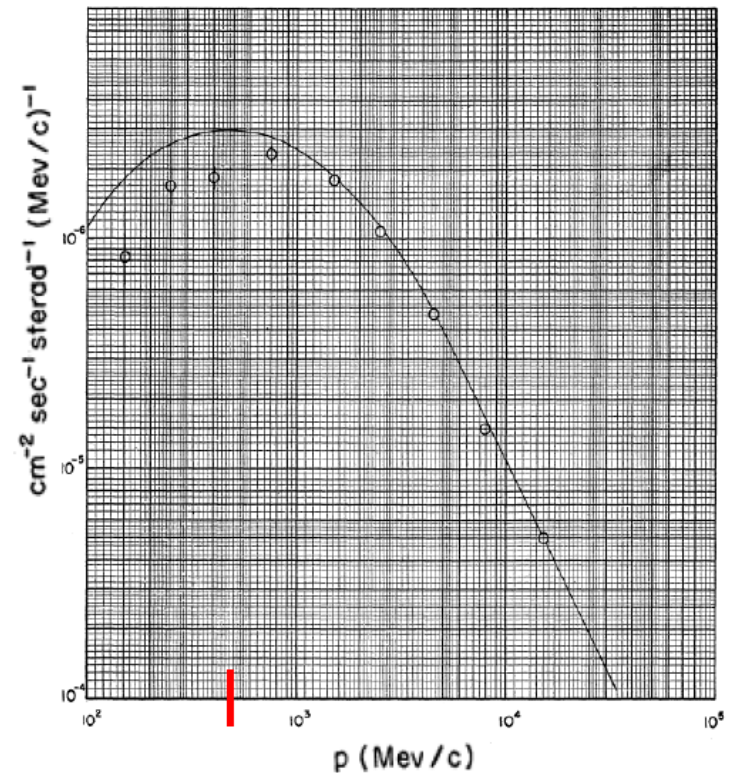


FIG. 4. Differential momentum spectrum of mesons at sea level. The circles represent experimental determinations by Wilson (W7). (Note: In the ordinate scale 10^{-4} and 10^{-5} should read 10^{-6} and 10^{-7} , respectively.)

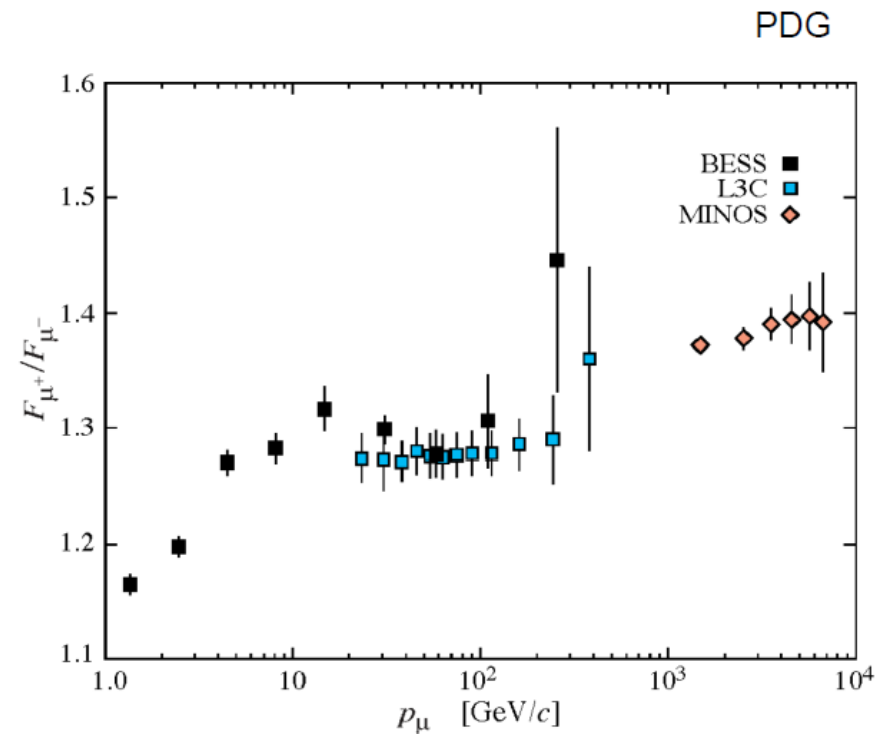
Cosmic Rays - sea level

MUONS

the **charge ratio** is between
1.1 and 1.4
from 1 GeV/c to 10⁴ GeV/c

it reflects

- the excess of π^+ over π^- in the forward fragmentation region of proton initiated interactions



Cosmic Rays

1932, B. Rossi: soft and hard components

1932, C. Anderson: positron

1936, S. Nedermeyer and C. Anderson: muon

1937, J. C. Street and E. C. Stevenson: with a cloud chamber measured $m_\mu = 207 m_e$

1935, H. Yukawa: an intermediate mass "meson" is responsible for the nuclear strong force mass of about $100 \text{ MeV}/c^2$: the muon (mesotron) ?

→ "mesone", e non leptone, μ

1939-40, B. Rossi et al.: study of absorption in air and graphite → muon decay, $\tau_\mu \sim 2 \mu\text{s}$

1940, Williams and Roberts: observation of the decay of a muon in e^+

.....

1941, Rasetti: $\tau_\mu = 1.5 \pm 0.3 \mu\text{s}$, first direct measurement

1942, Rossi and Nereson: with time-to-amplitude converter,

$$\tau_\mu = 2.3 \pm 0.2 \mu\text{s}$$

1947-1948, Conversi, Pancini, Piccioni: muon capture

from muon decay in different materials, the capture in light materials is not as relevant as in case of strong interactions

the muon does not interact strongly with nuclei, it can not be the Yukawa particle

misura della vita media dei muoni

misura dell'intervallo di tempo t tra l'istante in cui il muone viene portato a riposo e quello in cui viene rivelato l'elettrone prodotto nel decadimento
... della distribuzione di questi intervalli di tempo

probabilità di decadimento in $(t, t + \delta t)$

$$P_d(t, t + \delta t) = P_0(t) \cdot p_d(t, t + \delta t)$$

$$p_d(t, t + \delta t) = p_d(\delta t) = \Lambda_0 \cdot \delta t$$

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) \cdot \{1 - p_d(\Delta t)\} = P_0(t) - P_0(t) \cdot \Lambda_0 \cdot \Delta t$$

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -P_0(t) \cdot \Lambda_0 \quad \rightarrow \quad \frac{dP_0}{dt} = -P_0 \cdot \Lambda_0$$

$$\frac{dP_0}{P_0} = -\Lambda_0 dt \quad \ln P_0 = -\Lambda_0 t + c \quad P_0(t) = A e^{-\Lambda_0 t} = e^{-\Lambda_0 t}$$

$$P_d(t, t + \delta t) = e^{-\Lambda_0 t} \Lambda_0 \cdot \delta t = f(t) \cdot \delta t$$

$$f(t) = e^{-\Lambda_0 t} \Lambda_0 = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0}$$

Experimental Determination of the Disintegration Curve of Mesotrons

BRUNO ROSSI AND NORRIS NERESON

Cornell University, Ithaca, New York

(Received September 17, 1942)

The disintegration curve of mesotrons has been experimentally determined by investigating the delayed emission of disintegration electrons which takes place after the absorption of mesotrons by matter. Within the experimental errors, the disintegration curve is exponential and corresponds to a mean lifetime of 2.3 ± 0.2 microseconds.

THE purpose of the experiment described in the present paper was to determine the disintegration curve of mesotrons at rest. The experiment was performed by investigating the delayed emission of the disintegration electrons, which takes place after the absorption of mesotrons by matter.

at rest

We have succeeded in increasing the selectivity and the statistical accuracy of the method considerably by recording all decay electrons and measuring the time interval between the arrival of each mesotron and the emission of the corresponding electron. The circuit used for this measurement will be referred to as the *time circuit*.

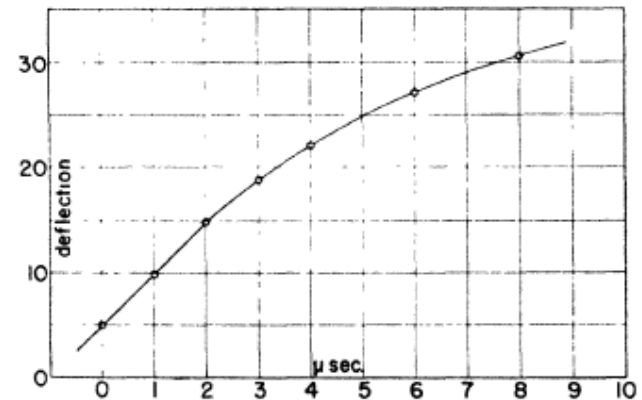
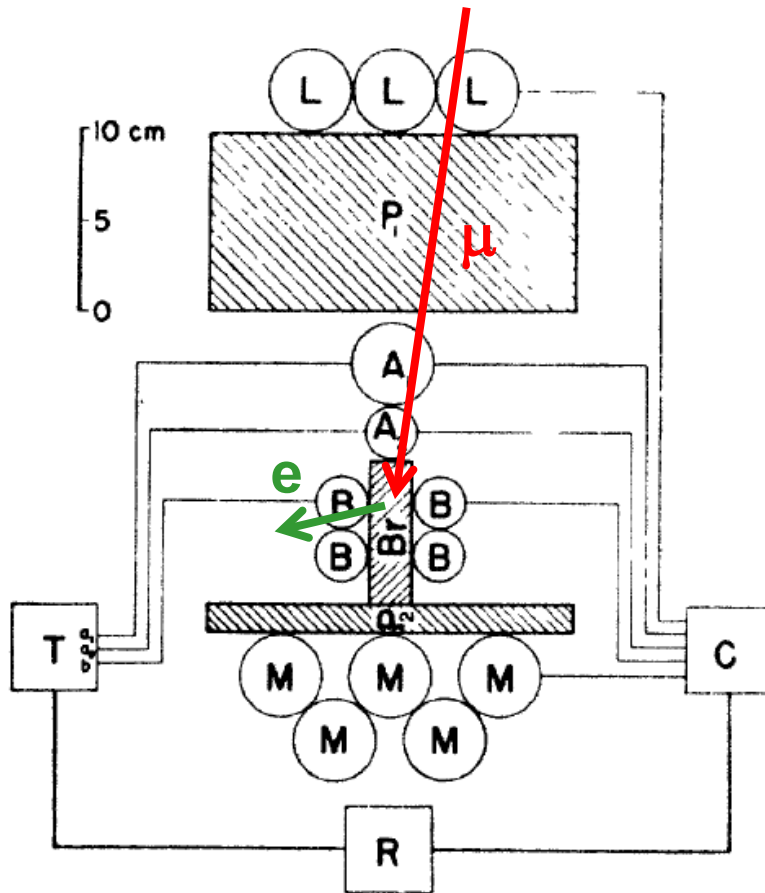


FIG. 1. Calibration curve of the time circuit.

Nereson Rossi



- P1: 9 cm of lead
to cut the electron component
- P2: lead plate 1.4 cm thick
to decrease the probability of
having a decay electron signal in M

L, A, B, M: Geiger-Muller counters
the 4 counters L are connected in parallel (OR)
the same for the 4 counters B and the 5 counters M

Br: brass plate 25.5x8x2.3 cm
compromise: rate of stopped muons vs
probability of detecting the electron

good event:

muon gives signal in L, A1, A2
decays in Br → no signal in M, B
decay electron gives a signal in B

C gives a signal which activates R if

$$L \cdot A1 \cdot A2 \cdot B \cdot \bar{M} \quad (10^{-4} \text{ s})$$

R registers the amplitude of the signal from T
proportional to Δt between A and B

Nereson Rossi

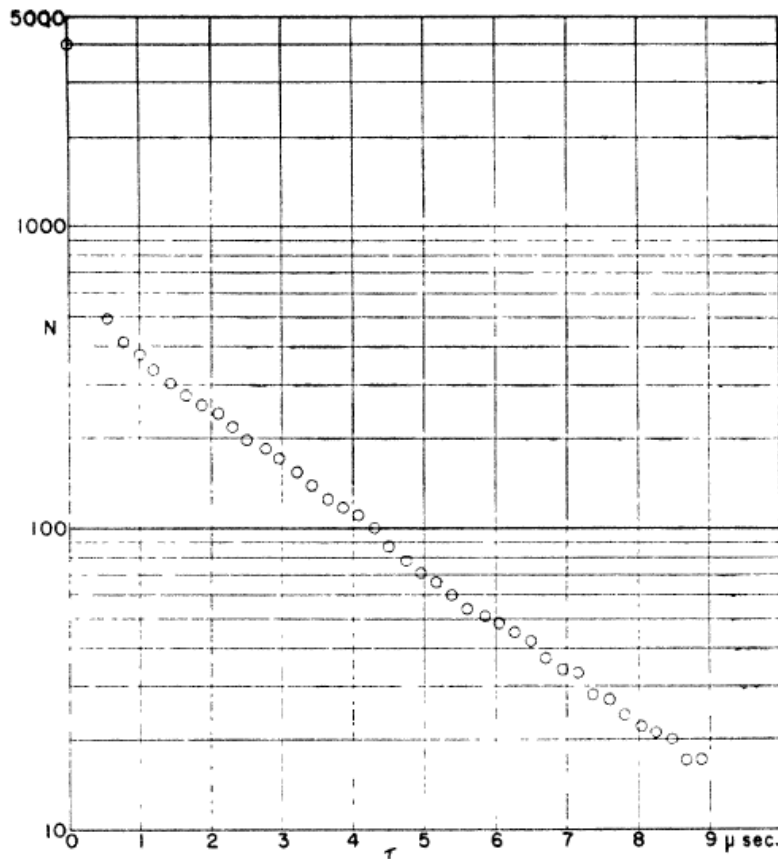


FIG. 5. Experimental disintegration curve of mesotrons. The abscissa τ is the delay recorded by the time circuit, the ordinate is the logarithm of the number N of anti-coincidences accompanied by delays larger than the corresponding abscissa (Exp. A).

$$\tau_{\mu}(\text{MuLan}) = 2196980.3(2.2) \text{ ps}$$

PHYSICAL REVIEW D 87, 052003 (2013)

semi-logarithmic scale in Fig. 5. The experimental points lie on a straight line as closely as one can expect considering the statistical fluctuations, with the exception, of course, of the point at $\tau=0$ and possibly the one at $0.55 \mu\text{sec}$. Hence the disintegration of mesotrons follows an exponential law as does any ordinary disintegration process.

For the evaluation of the lifetime τ_0 we shall use the following equation:

$$\rho = [N(\tau_1) - N(\tau_2)] / [N(\tau_2) - N(\tau_3)] \\ = [\exp(-\tau_1/\tau_0) - \exp(-\tau_2/\tau_0)] / [\exp(-\tau_2/\tau_0) - \exp(-\tau_3/\tau_0)], \quad (1)$$

where $N(\tau)$ is the number of mesotrons surviving at the time τ after their absorption in the brass plate. If we take $\tau_1 = 0.99 \mu\text{sec}$, $\tau_2 = 4.95 \mu\text{sec}$, $\tau_3 = 8.91 \mu\text{sec}$, then $\tau_2 - \tau_1 = \tau_3 - \tau_2 = \Delta\tau = 3.96 \mu\text{sec}$. Equation (1) reduces to

$$\rho = \exp(\Delta\tau/\tau_0),$$

and the experimental data set forth in Table I yield

$$\tau_0 = 2.3 \pm 0.2 \mu\text{sec},$$

where the error indicated is the standard statistical error.

misura della vita media dei muoni - μ^-

oltre a decadimento, anche cattura nucleare

$$\Lambda_c \propto Z^4 \quad \Lambda^- = \Lambda_0 + \Lambda_c$$

probabilità di decadimento in $(t, t + \delta t)$

$$P_d(t, t + \delta t) = P_0(t) \cdot p_d(t, t + \delta t)$$

$$p_d(t, t + \delta t) = p_d(\delta t) = \Lambda_0 \cdot \delta t$$

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) \cdot \{1 - \Lambda^-(\Delta t)\} = P_0(t) - P_0(t) \cdot \Lambda^- \cdot \Delta t$$

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -P_0(t) \cdot \Lambda^- \quad \rightarrow \quad \frac{dP_0}{dt} = -P_0 \cdot \Lambda^-$$

$$\frac{dP_0}{P_0} = -\Lambda^- dt \quad \ln P_0 = -\Lambda^- t + c \quad P_0(t) = A e^{-\Lambda^- t} = e^{-\Lambda^- t}$$

$$P_d(t, t + \delta t) = e^{-\Lambda^- t} \Lambda_0 \cdot \delta t = f_-(t) \cdot \delta t$$

$$f_-(t) = e^{-\Lambda^- t} \Lambda_0 = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau^-} \quad \tau^- = \frac{1}{\Lambda^-} > \tau_0$$

misura della vita media dei muoni - μ^-

oltre a decadimento, anche cattura nucleare

$$\Lambda_c \propto Z^4 \quad \Lambda^- = \Lambda_0 + \Lambda_c$$

in aria praticamente non ci sarebbe cattura, tutti i μ^- decadono
stessa distribuzione per μ^+ e μ^-

$$f(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0}$$

in Fe praticamente tutti i μ^- vengono catturati (?)
praticamente solo decadimenti dei μ^+

$$f(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0}$$

misura della vita media dei muoni - μ^-

oltre a decadimento, anche cattura nucleare

$$\Lambda_c \propto Z^4 \quad \Lambda^- = \Lambda_0 + \Lambda_c$$

in aria praticamente non ci sarebbe cattura, tutti i μ^- decadono
stessa distribuzione per μ^+ e μ^-

$$f(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0}$$

in Fe praticamente tutti i μ^- vengono catturati (?)
praticamente solo decadimenti dei μ^+

$$f(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0}$$

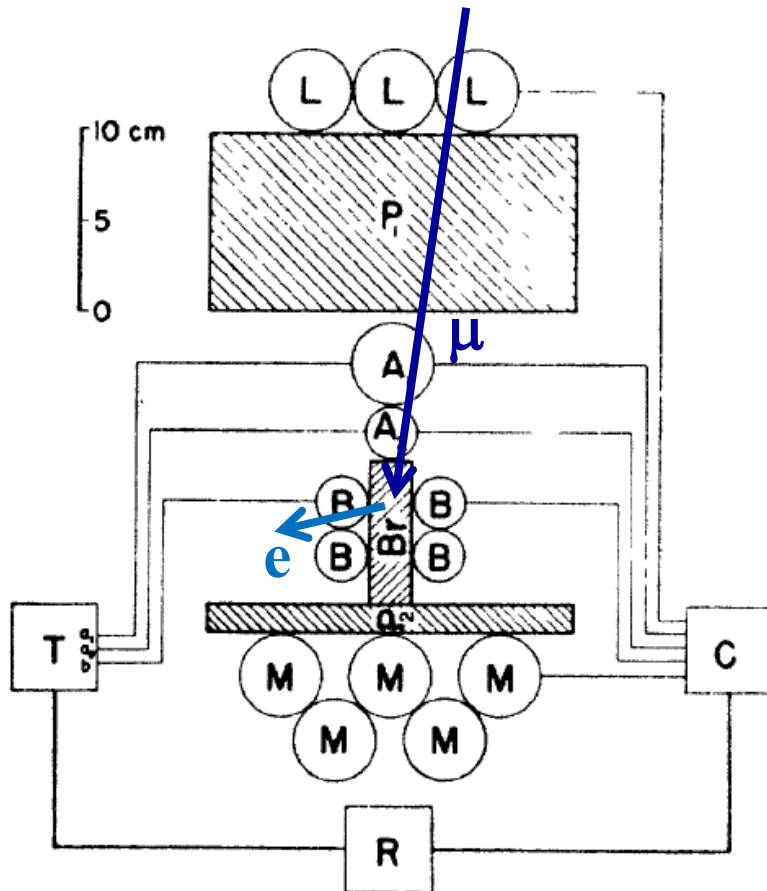
in Al parte dei μ^- decade, parte viene catturato
entrambe le componenti

$$f(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0} \quad f_-(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau^-}$$

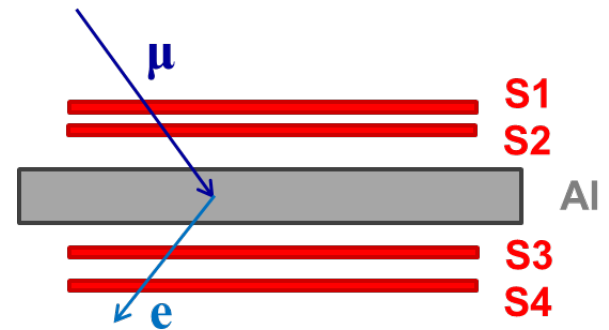
e' questo che vogliamo verificare con la nostra misura

misura della vita media dei muoni

esperimento molto simile a quello di Nereson e Rossi



apparato sperimentale piu' semplice



la nostra misura della vita media dei muoni

scopo: verificare che

- **nei raggi cosmici ci sono particelle che decadono con $\tau \simeq 2 \mu s$**
- **ci sono anche particelle che sembrano decadere con vita media minore (cattura nucleare dei μ^- in Al, $\tau \simeq 1 \mu s$)**

misura della vita media dei muoni

esperimento molto simile a quello di Nereson e Rossi

dobbiamo misurare l'intervallo di tempo tra l'arrivo di un muone
e il suo decadimento

eventi utili

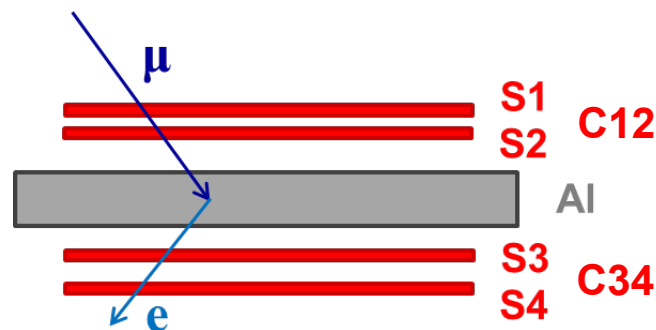
- muoni che attraversano S1 e S2 (C12)
e si fermano in Al

$$\text{start} = C12 \cdot \overline{C34} \quad (\text{o } C12 \cdot \overline{S3 + S4} \text{ ?})$$

- e di decadimento che attraversano
S3 e S4 (C34) o S1 e S2 (C12)

$$\text{stop1} = C34 \cdot \overline{C12} \quad (\text{o } C34 \cdot \overline{S1 + S3} \text{ ?})$$

$$\text{stop2} = C12 \cdot \overline{C34} \quad (\text{o } C12 \cdot \overline{S3 + S4} \text{ ?})$$



misura della vita media dei muoni

esperimento molto simile a quello di Nereson e Rossi

dobbiamo misurare l'intervallo di tempo tra l'arrivo di un muone e il suo decadimento

eventi utili

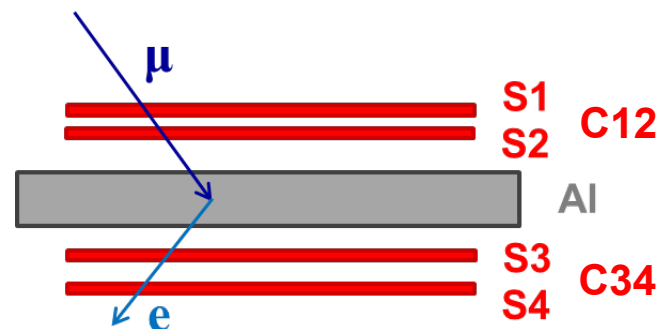
- muoni che attraversano S1 e S2 (C12) e si fermano in Al**

$$\text{start} = C12 \cdot \overline{C34} \quad (\text{o } C12 \cdot \overline{S3 + S4} \text{ ?})$$

- e di decadimento che attraversano S3 e S4 (C34) o S1 e S2 (C12)**

$$\text{stop1} = C34 \cdot \overline{C12} \quad (\text{o } C34 \cdot \overline{S1 + S3} \text{ ?})$$

$$\text{stop2} = C12 \cdot \overline{C34} \quad (\text{o } C12 \cdot \overline{S3 + S4} \text{ ?})$$



ci sara' anche fondo:

start: muoni che non attraversano tutti gli scintillatori, inefficienza di S3 e S4, ...

stop: elettrone di decadimento non rilevato → muone successivo, ...

misura della vita media dei muoni

dobbiamo misurare intervalli di tempo fino a $25\ \mu s$

**recuperare i moduli, costruire il circuito e il programma di acquisizione,
fare tutti i test necessari, acquisire i dati, analizzarli, relazione**

il tutto per gradi

misura della vita media dei muoni

dobbiamo misurare intervalli di tempo fino a $25 \mu s$

da fare da zero,
il piu' semplicemente possibile
quest'anno, semplifichiamo

recuperare i moduli, costruire il circuito e il programma di acquisizione,
fare tutti i test necessari, acquisire i dati, analizzarli, relazione

il tutto per gradi

misura della vita media dei muoni

dobbiamo misurare intervalli di tempo fino a $25\ \mu s$

recuperare i moduli, costruire il circuito e il programma di acquisizione,
fare tutti i test necessari, acquisire i dati, analizzarli, relazione

il tutto per gradi

*logbook su cui scrivere TUTTO quello che
si fa, da lasciare in laboratorio*

misura della vita media dei muoni

dobbiamo misurare intervalli di tempo fino a $25 \mu s$

recuperare i moduli, costruire il circuito e il programma di acquisizione,
fare tutti i test necessari, acquisire i dati, analizzarli, relazione
il tutto per gradi

*logbook su cui scrivere TUTTO quello che
si fa, da lasciare in laboratorio*

operazioni iniziali

- strumentazione
- stima degli eventi necessari e del numero di eventi / giorno
→ durata della presa dati

operazioni iniziali - strumentazione

1. geometria dell'apparato
2. verifica del funzionamento degli scintillatori – prima parte
3. conteggi
4. verifica del funzionamento degli scintillatori – seconda parte
5. strumentazione disponibile
6. prima calibrazione

punti importanti!

1. verifica del funzionamento degli scintillatori – prima parte

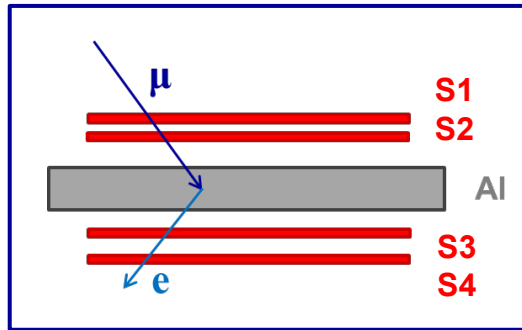
1. verificare i criteri per la scelta della tensione di lavoro e soglia per S1, S2, S3 e S4

recuperare (o fare) curve di tensione da metterle anche nella relazione

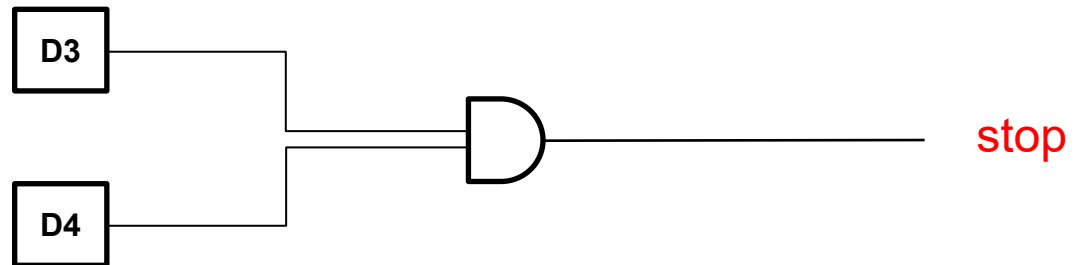
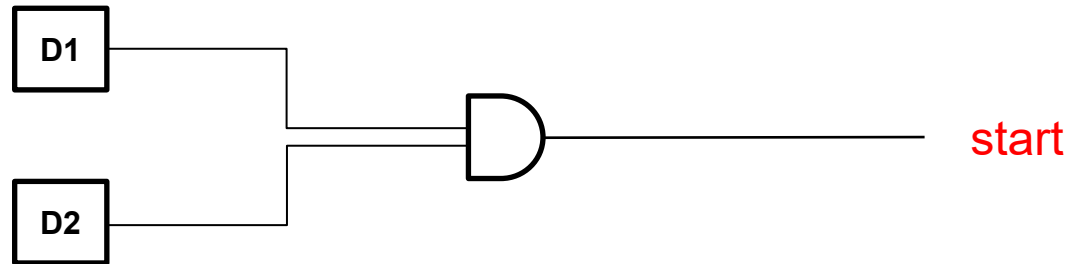
2. verificare i tempi delle coincidenze C_{12} , C_{34}

3. verificare i tempi delle anticoincidenze $C_{12} \cdot \overline{C_{34}}$, $C_{34} \cdot \overline{C_{12}}$

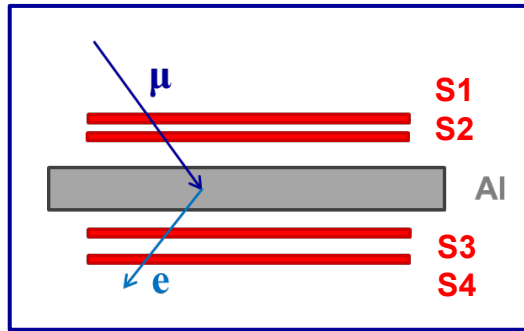
parentesi su coincidenze



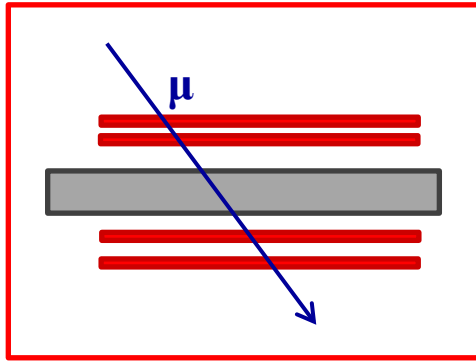
eventi utili



parentesi su coincidenze - scelta

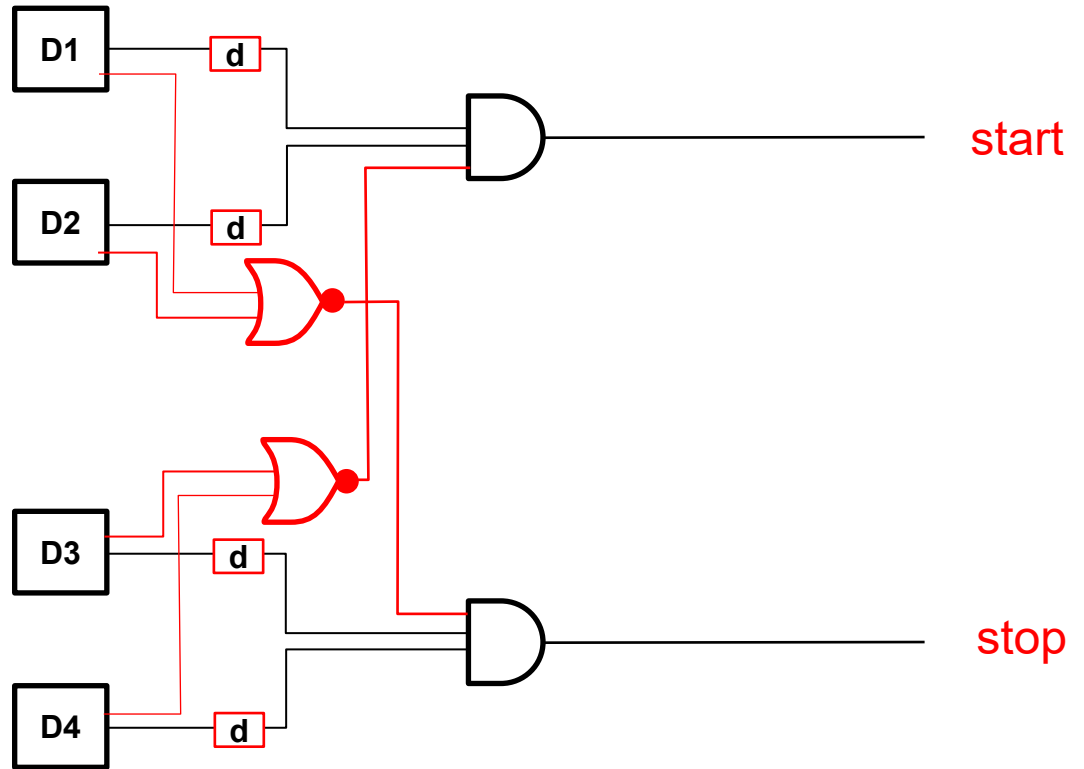


eventi utili

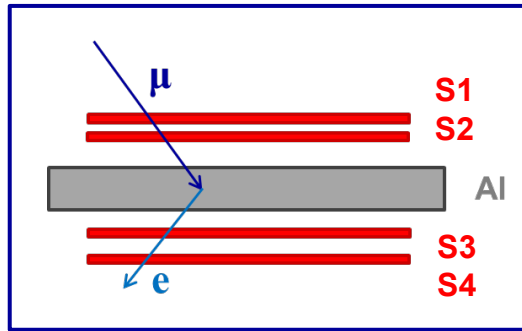


eventi da rigettare

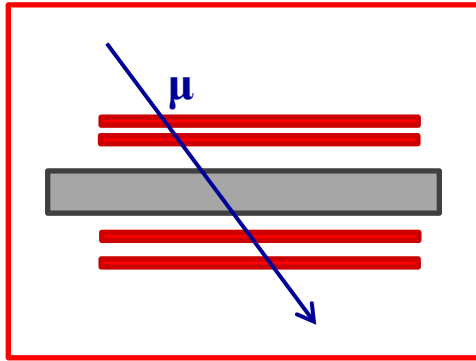
se poco rumore



parentesi su coincidenze - scelta

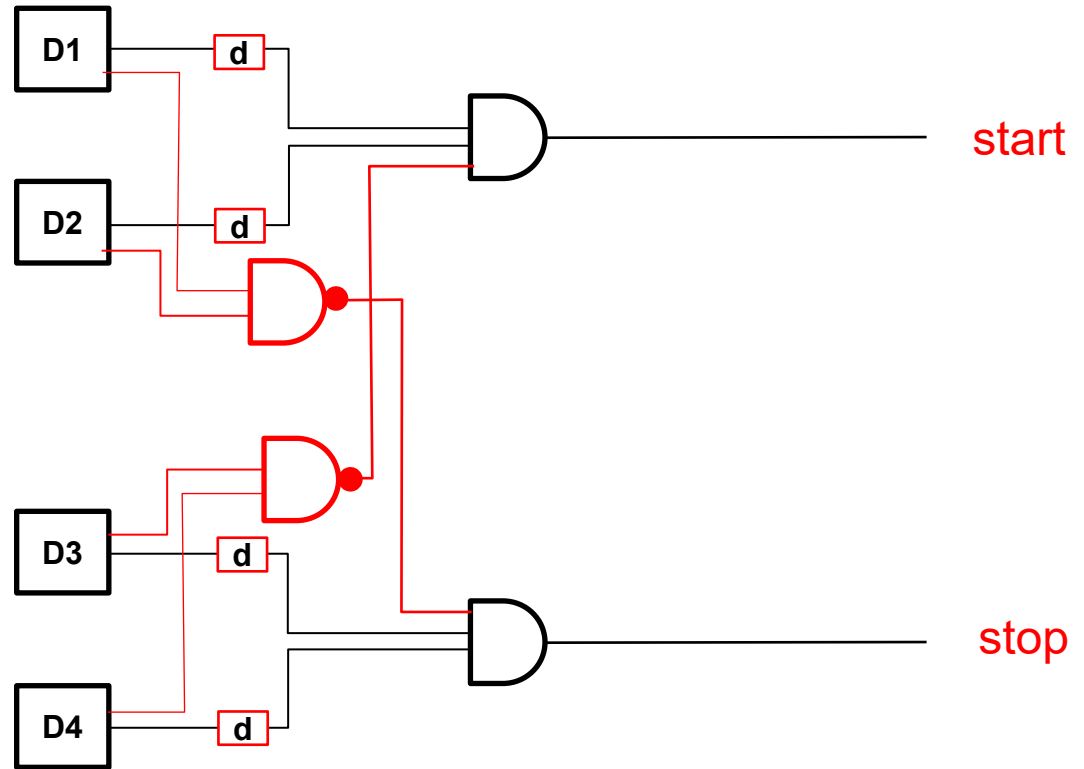


eventi utili



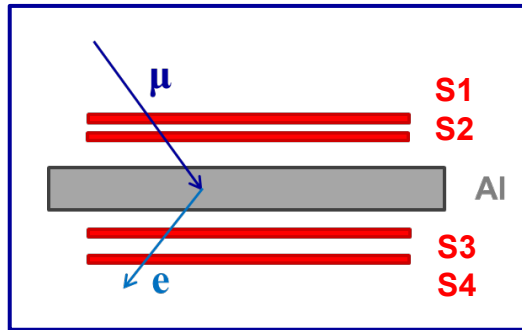
eventi da rigettare

se alta efficienza

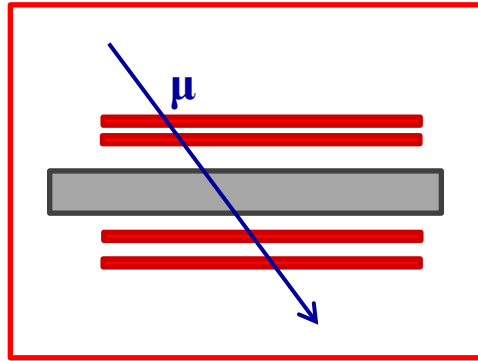


scegliere subito
e costruire questa parte del circuito

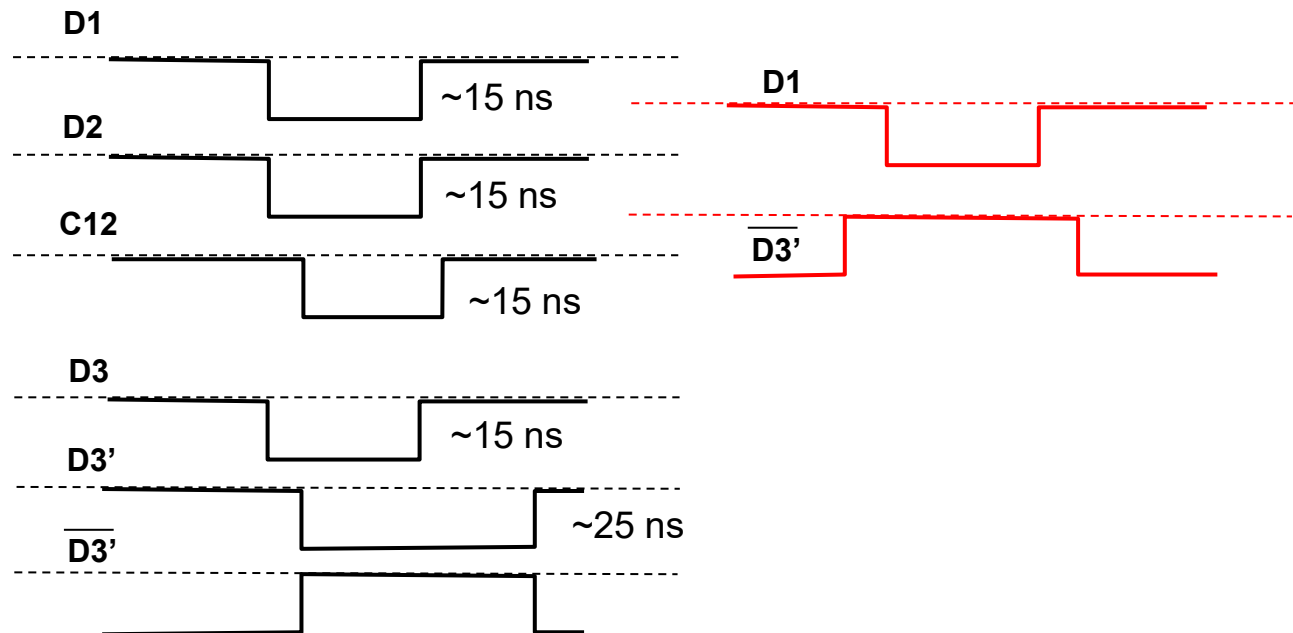
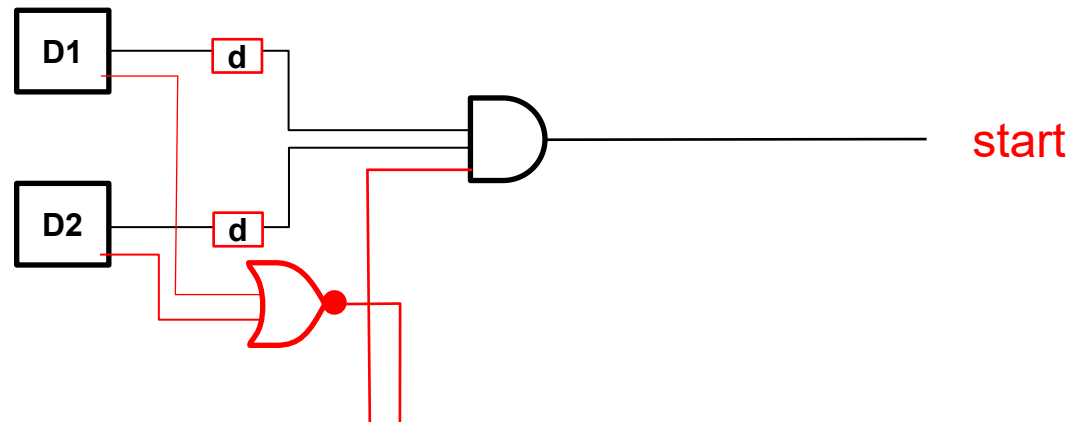
parentesi su coincidenze – tempi...



eventi utili



eventi da rigettare



2. conteggi

conteggi in singola e coincidenza

$S1, S2, C12, S1 + S2, S3, S4, C34, S3 + S4$

$C12 \cdot C34, C12 \cdot \overline{C34}, C12 \cdot \overline{S3 + S4},$

$C34 \cdot \overline{C12}, C34 \cdot \overline{S1 + S2}$

in intervalli di tempo ragionevoli (minuti)

(stimare coincidenze accidentali)

verificare consistenza con i conteggi previsti $C12, C12 \cdot C34, C12 \cdot \overline{C34}$

$$I_V \sim 80 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$$

$$I \sim I_V \cos^2 \theta$$

$$\rightarrow C12, C12 \cdot C34, C12 \cdot \overline{C34}$$

per un rivelatore orizzontale $N \sim 1 \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$

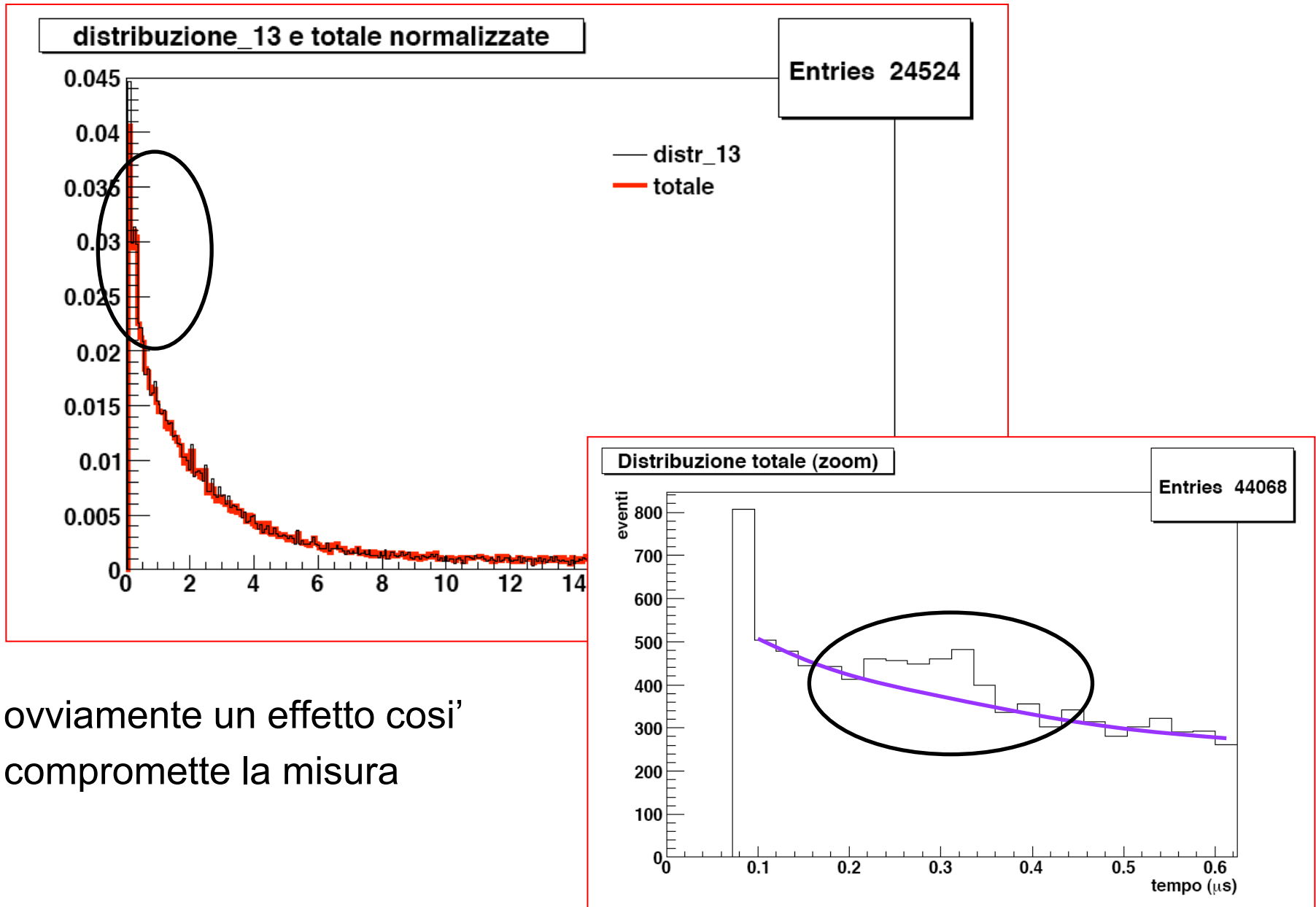
~ 2h?

3. verifica del funzionamento degli scintillatori – seconda parte

problema degli afterpulse

sempre presenti, sembra

afterpulse



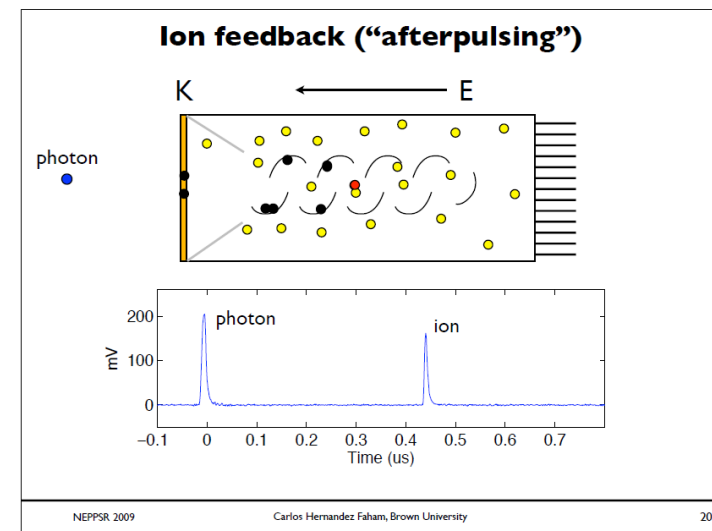
fenomeno noto – ion feedback «afterpulsing»

- dipende dal tipo di PM
- non da' problemi in coincidenza ma nella nostra misura forse si

da “Photomultiplier Tubes”, Hamatsu

- possono essere presenti impulsi spuri (con piccola ampiezza (?)) dopo un impulso dovuto al segnale (afterpulse) che possono causare errori in certe applicazioni
- afterpulse con ritardi da alcune centinaia di ns a qualche μs sono dovuti agli ioni negativi prodotti da ionizzazione nel gas residuo dei PM. Questi ioni tornano al fotocatodo (ion feedback) dove producono molti fotoelettroni che formano l'afterpulse
- effetto che
 - puo' diminuire nel tempo (?)
 - aumentare con l'HV

potrebbero spiegare le distribuzioni misurate



3. verifica del funzionamento degli scintillatori – seconda parte

problema degli afterpulse

ancora presenti, sembra, nonostante PM “nuovi”

dati contrastanti: l'effetto non e' chiaro, va misurato

nelle condizioni di HV ecc finali, **spettri TDC** (fondoscala $1\mu\text{s}$ o $5\mu\text{s}$)

con start C12 con ritardo 530 ns

stop S1, S2, C12, $C12 \cdot \overline{C34}$, C34

e con start C34 con ritardo ~ 50 ns

stop S3, S4, C34, $C34 \cdot \overline{C12}$, C12

*fare anche
ritardando gli stop*

scrivere i tempi di misura!

salvare i dati dopo un'ora, fare ripartire la misura per almeno un giorno (?)

~ 3h?

4. strumentazione disponibile

verificare numero di discriminatori, coincidenze, OR, dual timer ...

misura del tempo da 0 a 25 μs : non facile

3 strumenti di misura con fondoscala diversi (importante!)

dovrebbero esserci:

- TDC con fondoscala 1 μs o 5 μs
 - TDC con fondoscala 10 o 20 μs
 - scale con cui contare gli impulsi di un generatore per arrivare a 25 μs
- così in ogni postazione si può eseguire la misura con 3 strumenti diversi

4. strumentazione disponibile

verificare numero di discriminatori, coincidenze, OR, dual timer ...

misura del tempo da 0 a 25 μs : non facile

3 strumenti di misura con fondoscala diversi (importante!)

dovrebbero esserci:

- TDC con fondoscala 1 μs o 5 μs
 - TDC con fondoscala 10 o 20 μs
 - scale con cui contare gli impulsi di un generatore per arrivare a 25 μs
- così in ogni postazione si può eseguire la misura con 3 strumenti diversi

identificarli e studiarne il comportamento con

5. calibrazione preliminare

~ 3h?

misura della vita media dei muoni

dobbiamo misurare intervalli di tempo fino a $25 \mu s$

recuperare i moduli, costruire il circuito e il programma di acquisizione,
fare tutti i test necessari, acquisire i dati, analizzarli, relazione
il tutto per gradi

*logbook su cui scrivere TUTTO quello che
si fa, da lasciare in laboratorio*

operazioni iniziali

- strumentazione
- stima degli eventi necessari e del numero di eventi / giorno
→ durata della presa dati

operazioni iniziali

**stima degli eventi necessari
e del numero di eventi / giorno**

operazioni iniziali - stima degli eventi necessari

vorremmo

- misurare della vita media dei μ^- con un errore $<5\%$, assumendo τ_0 noto
- **rigettare l'ipotesi che ci sia una sola componente,**
che la distribuzione dei tempi misurati sia un singolo esponenziale
quanti eventi servono?
 - generare N eventi con $f(t) = \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}$, $\tau = 2$ (μs)
 - generare N/2 eventi con $\tau = 1$
 - riempire un istogramma ad es (0,10) con 50 bin
 - assumendo $n_1(t) = c_1 e^{-t/\tau}$ stimare c_1, τ e calcolare il χ^2 *solo questa volta, con ROOT*
 - (assumendo $n_2(t) = c_2 (e^{-t/\tau_1} + e^{-t/\tau_2})$ stimare c_2, τ_1, τ_2 e calcolare il χ^2)

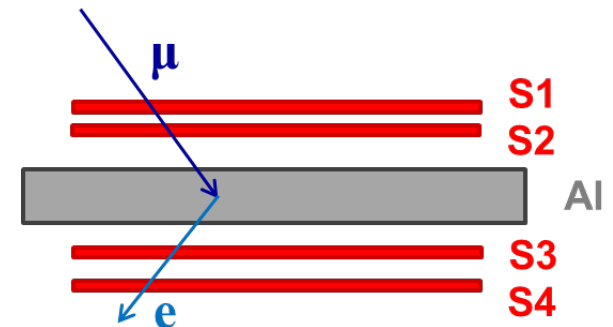
ripetere molte volte (100?) → distribuzioni di χ^2
per diversi N, cominciando da N=3000

$$E[\chi_v^2] = v, \sigma_{\chi_v^2} = \sqrt{2v}$$

operazioni iniziali - stima del numero di eventi / giorno

indispensabile per valutare la fattibilit  della misura (ed individuare possibili problemi nell'apparato)

- **numero approssimato di eventi / giorno**
ordine di grandezza da considerazioni geometriche
- **simulazione MC:** *se fatta bene, richiede (troppo) tempo*



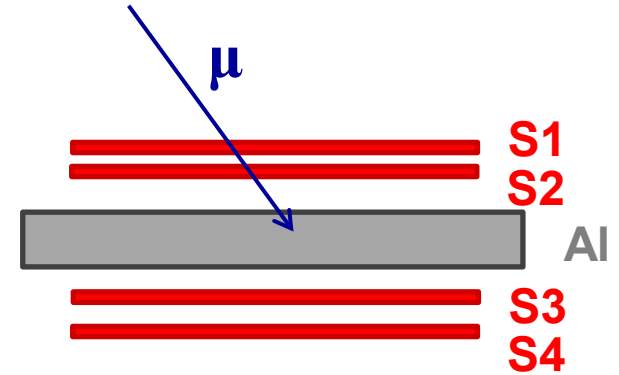
- a) stima del numero di muoni incidenti - fatto
- b) stima del numero di muoni che si fermano in Al
- c) stima della percentuale di elettroni di decadimento rivelati

**b) stima del numero di muoni rivelati
che si fermano in Al**

da stima precedente piu' range
e distribuzione in energia dei muoni

oppure da

spettro differenziale di range



muoni a riposo in Al

range usually given as $x \cdot \rho$, measured in g/cm^2

“differential range spectrum” of the muons flux at sea level

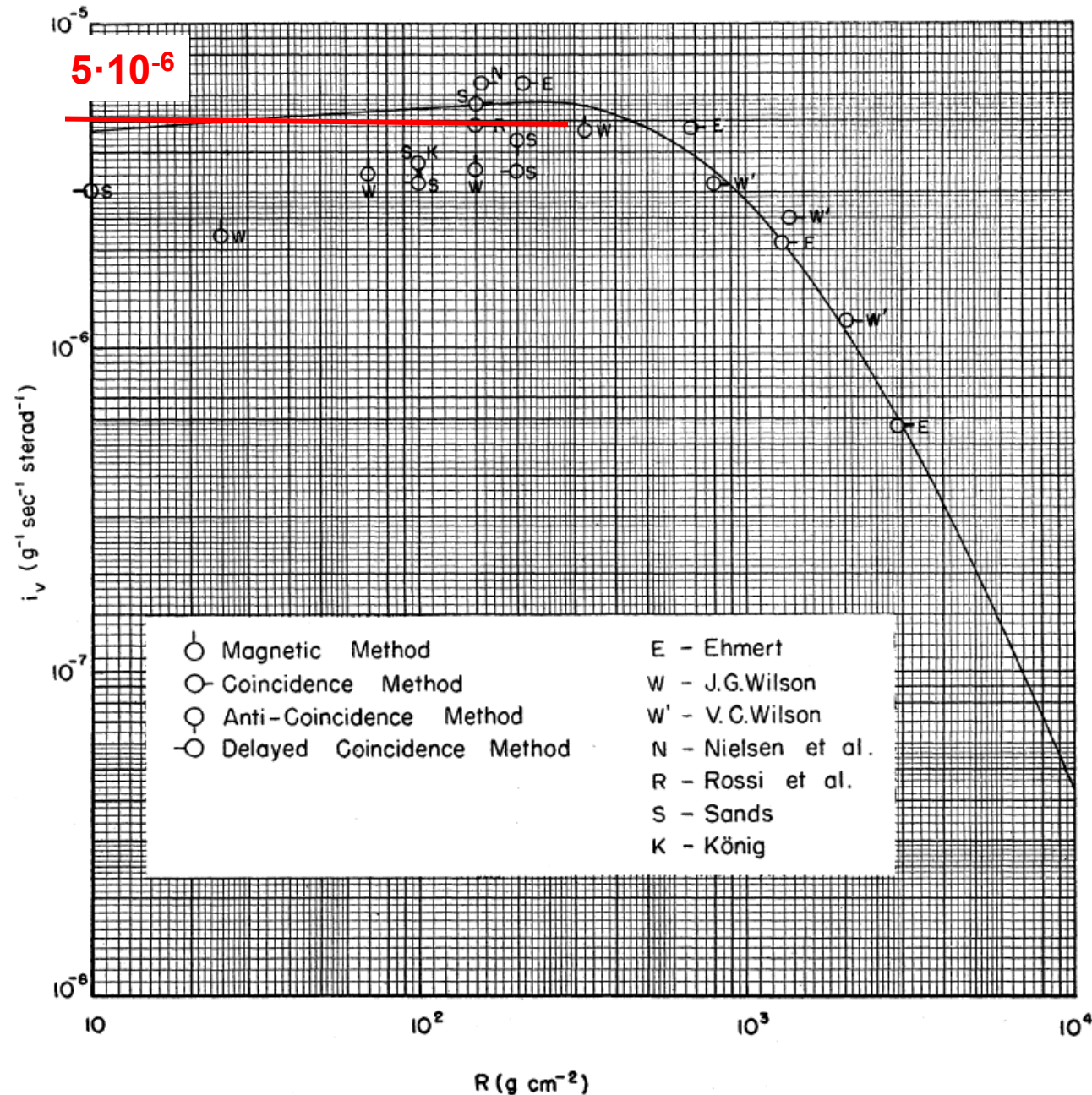
$$i_v(R) = \frac{dN}{dS dt d\Omega dR}$$

which is the **vertical flux of muons which are brought to rest in dR after traversing a thickness R**

number of muons per unit S , t , Ω brought to rest after a thickness s :

$$\int_0^s i_v(R) dR$$

muoni a riposo in Al



$$s = x\rho = \text{xx g/cm}^2$$

$$\Phi_v = \int_0^s i_v(R) dR$$

$$\cong 5 \cdot 10^{-6} \cdot s$$

$$\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$$

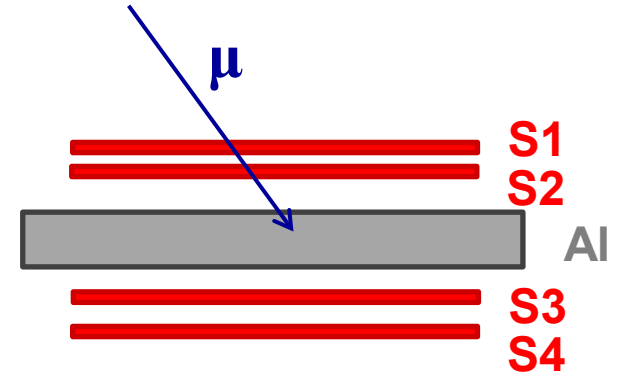
$$2.7 \text{ g/cm}^3$$

**b) stima del numero di muoni rivelati
che si fermano in Al**

da stima precedente piu' range
e distribuzione in energia dei muoni

oppure da

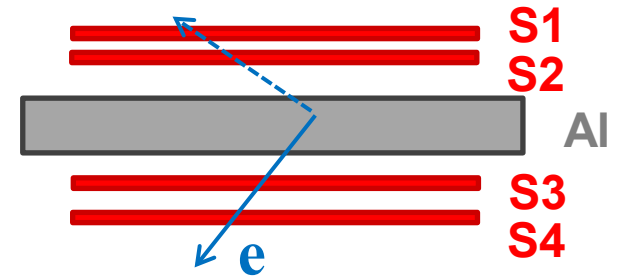
spettro differenziale di range



confronto con coincidenze misurate

$$C_{12} \cdot C_{34}, C_{12} \cdot \overline{C_{34}} \text{ e } C_{12} \cdot \overline{S_3 + S_4}$$

c) stima della percentuale di e di decadimento rivelati



- a) accettazione geometrica *d. isotropa*
- b) perdita di energia in Al

MEASUREMENT OF THE MOMENTUM SPECTRUM OF POSITRONS FROM MUON DECAY*

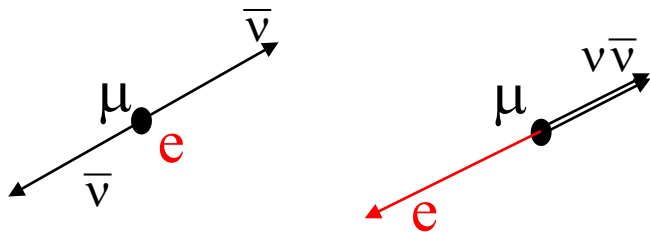
Marcel Bardon, Peter Norton, John Peoples,[†] and Allan M. Sachs
Columbia University, New York, New York

and

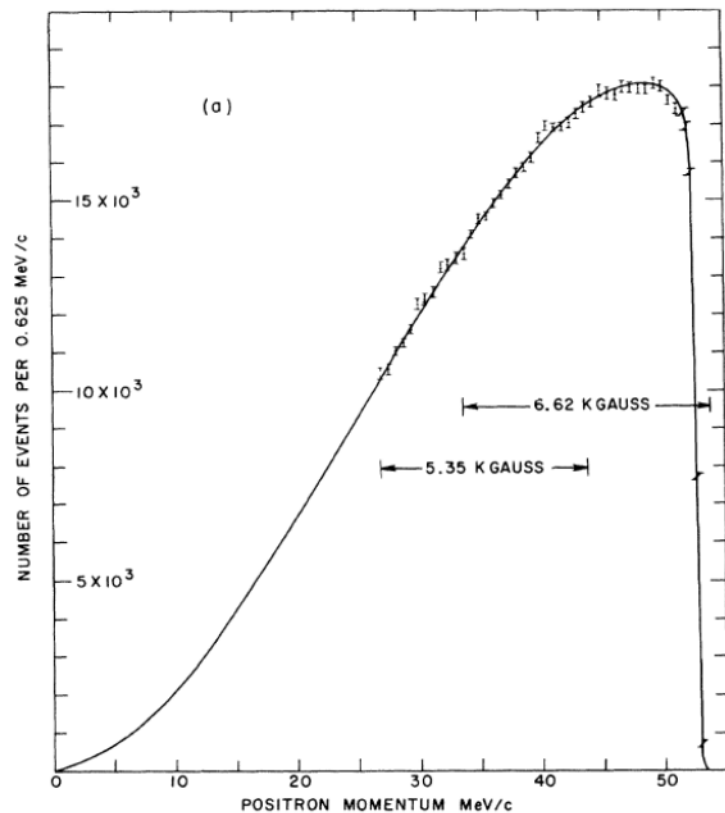
Juliet Lee-Franzini
State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, New York
(Received 16 February 1965)

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$$



$$0 < E_e < \frac{1}{2} m_\mu c^2$$



MEASUREMENT OF THE MOMENTUM SPECTRUM OF POSITRONS FROM MUON DECAY*

Marcel Bardon, Peter Norton, John Peoples,[†] and Allan M. Sachs
Columbia University, New York, New York

and

Juliet Lee-Franzini
State University of New York at Stony Brook, Stony Brook, New York
(Received 16 February 1965)

normalised distribution
function:

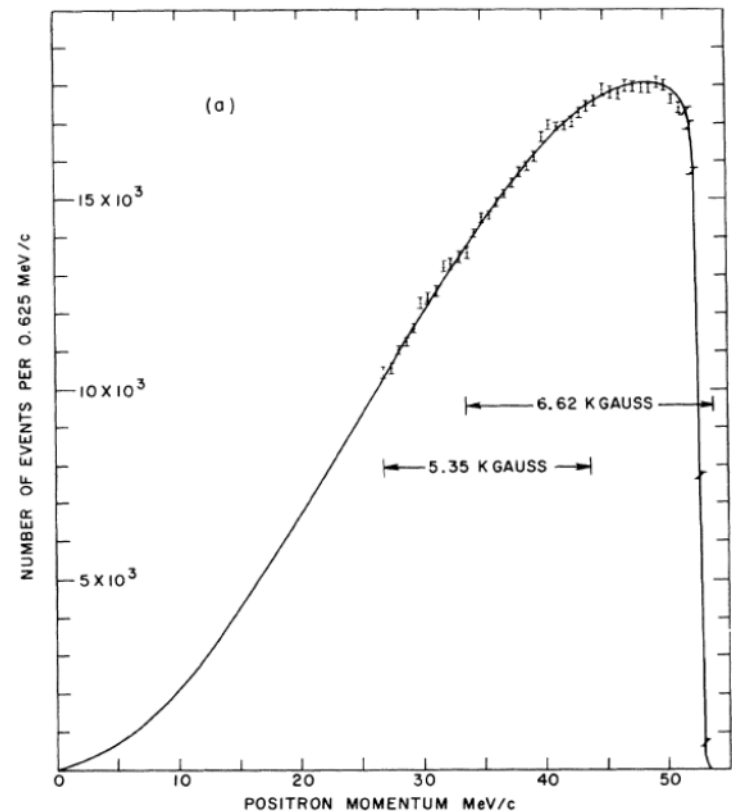
$$f(E) \cong a \cdot E = \frac{2 \cdot E}{E_{\max}^2}$$

$$E_{\max} \cong 52 \text{ MeV}$$

not all the e will be detected

range of electrons: $R \text{ (g/cm}^2\text{)} \sim 0.54 \cdot E \text{ (MeV)}$

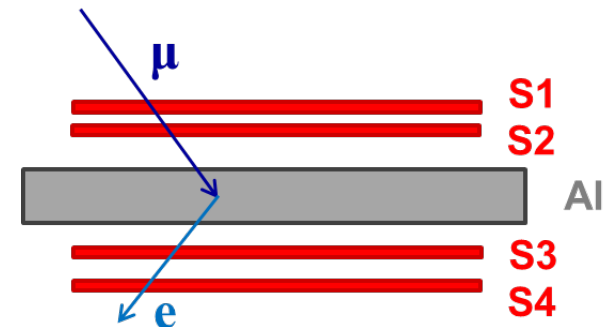
(Segre', Nuclei and Particles)



operazioni iniziali - stima del numero di eventi / giorno

indispensabile per valutare la fattibilit  della misura (ed individuare possibili problemi nell'apparato)

- **numero approssimato di eventi / giorno**
ordine di grandezza da considerazioni geometriche
- **simulazione MC:** *se fatta bene, richiede (troppo) tempo*



- stima del numero di muoni incidenti
- stima del numero di muoni che si fermano in AI
- stima della percentuale di elettroni di decadimento rivelati

numero di eventi / giorno ~ ?

operazioni iniziali

**stima degli eventi necessari
e del numero di eventi / giorno**

quanti giorni di presa dati?

manca

- **programma di acquisizione**
nuovo, scritto tutto da voi, con solo l'essenziale
- **circuito base**
tutti i controlli dipendono dal programma (il minimo...)
anche questo semplificato: STOP da C34 soltanto
- Conversi, Pancini e Piccioni, e cattura nucleare (?)
- cenni a esperimenti con muoni
- **simulazioni e analisi dati**
in seguito, due ore prima delle vacanze

misura della vita media dei muoni

organizzazione

lezioni: soprattutto discussioni sul lavoro fatto, i problemi incontrati, le soluzioni
eccezione: analisi dei dati (due ore)

attività di **laboratorio** (molto indicativo)

- settimana del 20/11: operazioni iniziali
- settimana del 4/12 e 11/12: circuito e programma acquisizione dati – test (molti!)
- settimana del 18/12: presa dati di test - controlli
- presa dati: durante le vacanze di Natale

*importante **non avere fretta!***

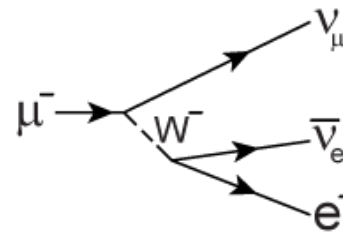
muoni

leptoni

	e^- / e^+	μ^- / μ^+	τ^- / τ^+
massa	0.511 MeV/c ²	105.6 MeV/c²	1777 MeV/c ²
vita media τ_0	$> 4.6 \cdot 10^{26}$ yr	$2.2 \cdot 10^{-6}$ s	$2.9 \cdot 10^{-13}$ s
	$\nu_e / \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\tau / \bar{\nu}_\tau$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad \sim 100\% \text{ dei casi}$$



$$\frac{\hbar}{\tau_\mu} = \frac{G_F^2}{(\hbar c)^6} \frac{(m_\mu c^2)^5}{192 \pi^3}$$

$$\frac{\hbar}{\tau_\mu} = \frac{G_F^2}{(\hbar c)^6} \frac{(m_\mu c^2)^5}{192 \pi^3} f\left(\frac{m_e^2}{m_\mu^2}\right) \left(1 + \frac{3m_\mu^2}{5m_w^2}\right) \left[1 + \frac{\alpha(m_\mu)}{2\pi} \left(\frac{25}{4} - \pi^2\right)\right]$$

$$\alpha^{-1}(m_\mu) = \alpha^{-1} - \frac{2}{3\pi} \log(m_\mu / m_e) + \frac{1}{6\pi} \cong 136$$

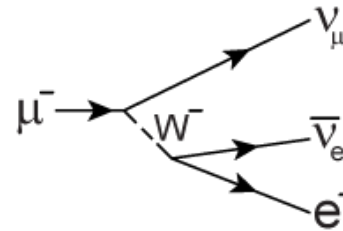
muoni

leptoni

	e^- / e^+	μ^- / μ^+	τ^- / τ^+
massa	0.511 MeV/c ²	105.6 MeV/c²	1777 MeV/c ²
vita media τ_0	$> 4.6 \cdot 10^{26}$ yr	$2.2 \cdot 10^{-6}$ s	$2.9 \cdot 10^{-13}$ s
	$\nu_e / \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\tau / \bar{\nu}_\tau$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad \sim 100\% \text{ dei casi}$$



se non a riposo

$$\tau = \gamma \tau_0, \quad \gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$$

muoni

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad \sim 100\% \text{ dei casi}$$

vita media: $\tau_0 = 2.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
a riposo

“lifetime: time elapsed between some reference time and the decay of a particle/nucleus”

muoni

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad \sim 100\% \text{ dei casi}$$

vita media: $\tau_0 = 2.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
a riposo

“lifetime: time elapsed between some reference time and the decay of a particle/nucleus”

tempo al quale viene
rilevato l' $e^\pm$ prodotto
nel decadimento

tempo al quale il $\mu^\pm$ e'
a riposo (casuale)

muoni



vita media: $\tau_0 = 2.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$
a riposo

“lifetime: time elapsed between some reference time and the decay of a particle/nucleus”

tempo al quale viene
rilevato l' $e^\pm$ prodotto
nel decadimento

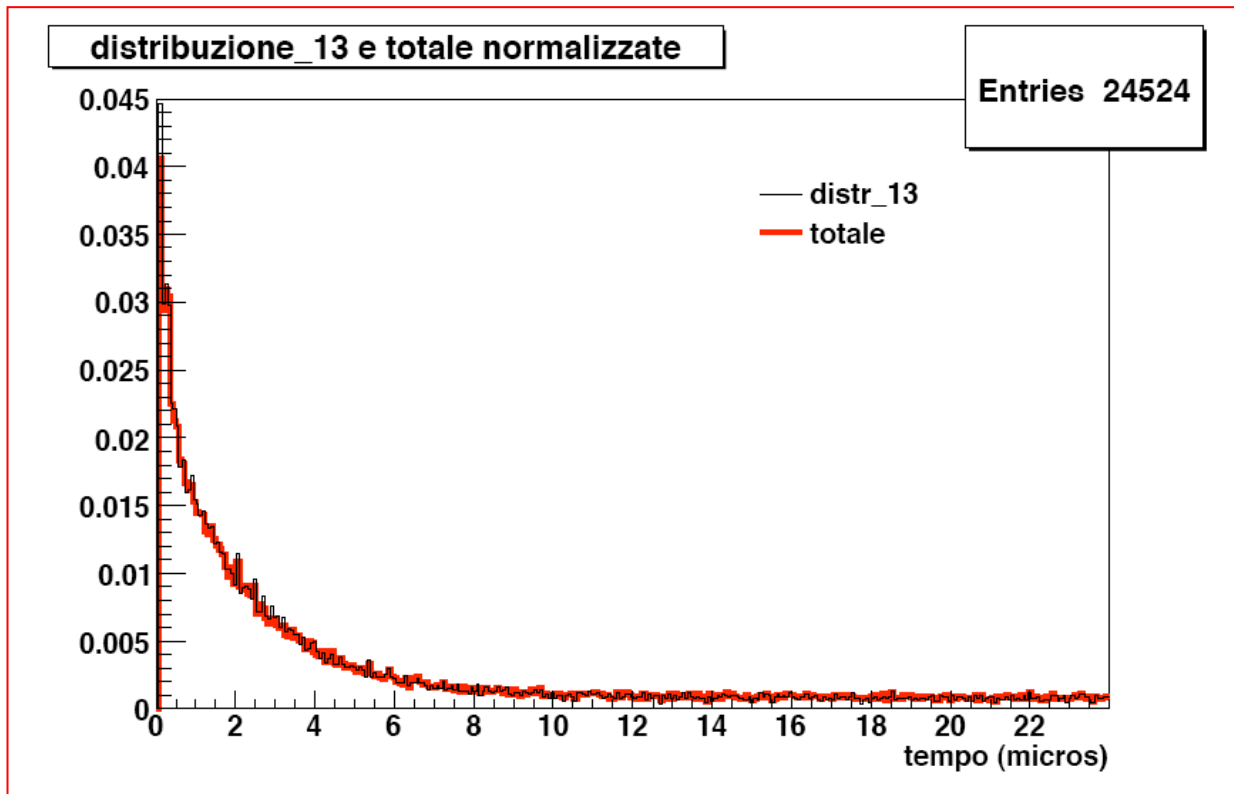
tempo al quale il $\mu^\pm$ e'
a riposo (casuale)

eventi casuali
funzione di distribuzione

$$f(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0}$$

muoni

usando i muoni dei raggi cosmici



$\Rightarrow \tau_0$

eventi rari
da due a tre settimane
di presa dati

eventi casuali
funzione di distribuzione

$$f(t) = \frac{1}{\tau_0} e^{-t/\tau_0}$$