

Dal mesotrone al mesone  $\mu$ .  
Gli esperimenti di Conversi, Pancini e Piccioni  
(1941-1946)

Giovanni Battimelli

Dipartimento di Fisica, Università Sapienza, Roma

Società Italiana di Fisica  
XCIX Congresso Nazionale  
Trieste, 26 settembre 2013

G. Bernardini, "The intriguing history of the  $\mu$  meson", in L.M. Brown, L. Hoddeson (eds.), "The Birth of Particle Physics", Cambridge University Press, Cambridge 1983, pp. 155-172.

M. Conversi, "The period that led to the 1946 discovery of the leptonic nature of the mesotron", in L.M. Brown, L. Hoddeson, cit., pp. 242-250.

M. Conversi, "Early Study of Muons and Muon Decay", in D. Cline, G. Riedasch (eds.), "50 Years of Weak Interactions", 1984, pp. 154-167.

M. Conversi, "L'intricata storia del muone", *Il Nuovo Saggiatore* 1, 1985, pp. 33-40.

M. Conversi, "From the discovery of the Mesotron to that of its Leptonic Nature", in B. Foster, P.H. Fowler (eds.), "40 Years of Particle Physics", Adam Hilger, Boston and Philadelphia 1987, pp. 1-20.

D. Monaldi, "Life of  $\mu$ : The observation of the spontaneous decay of mesotrons and its consequences, 1938-1947", *Annals of Science* 62, 4 (2005), pp. 1-37.

O. Piccioni, "The observation of the leptonic nature of the mesotron by Conversi, Pancini and Piccioni", in L.M. Brown, L. Hoddeson, cit., pp. 222-241.

O. Piccioni, "The history of the discovery of the extended leptonic nature and a comment on an article in *Scientia*", in D. Cline, G. Riedasch, cit., pp. 486-508.

O. Piccioni, "The discovery of the Leptonic property", in G. Baroni, L. Maiani, G. Salvini (eds.), "Present Trends, Concepts and Instruments of Particle Physics. Symposium in honour of Marcello Conversi's 70th birthday", Roma, 3-4 novembre 1987, S.I.F. Bologna, pp. 171-193.

O. Piccioni, "The Discovery of the Muon", in H.B. Newman, T. Ypsilantis (eds.), "History of Original Ideas and Basic Discoveries in Particle Physics", Plenum Press, New York 1996, pp. 143-162.

B. Rossi, "The decay of "mesotrons" (1939-1943): experimental particle physics in the age of innocence", in L.M. Brown, L. Hoddeson, cit., pp. 183-205.

L. Alvarez, Nobel Lecture, 1968:

As a personal opinion, I would suggest that modern particle physics started in the last days of World War II, when a group of young Italians, Conversi, Pancini, and Piccioni, who were hiding from the German occupying forces, initiated a remarkable experiment. In 1946, they showed that the 'mesotron' which had been discovered in 1937 by Neddermeyer and Anderson and by Street and Stevenson, was not the particle predicted by Yukawa as the mediator of nuclear forces, but was instead almost completely unreactive in a nuclear sense. Most nuclear physicists had spent the war years in military-related activities, secure in the belief that the Yukawa meson was available for study as soon as hostilities ceased. But they were wrong.



Marcello Conversi  
(Tivoli 1917 – Roma 1988)

Si laurea a Roma il 17 giugno 1940 con Bruno Ferretti, con una tesi sperimentale sui raggi cosmici. Esonerato dal servizio militare, è a Roma per tutto il periodo 1940-1946

Ettore Pancini  
(Stanghella 1915 – Venezia 1981)

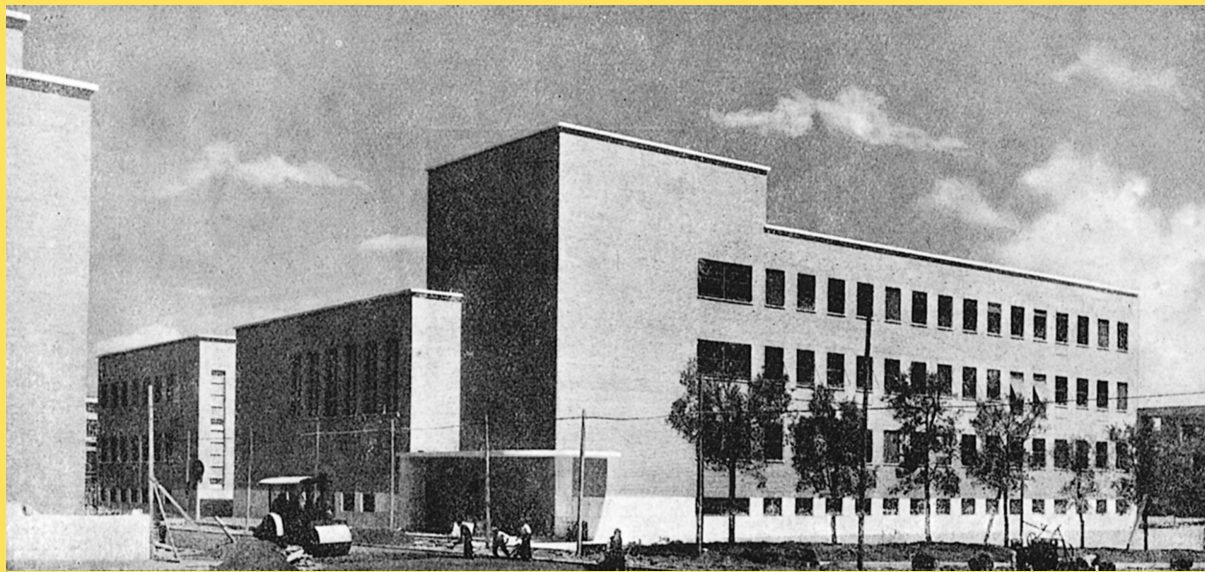
Si laurea a Padova verso la fine del 1938 con Bruno Rossi (che lascia l'Italia il 12 ottobre; relatore della tesi è A. Drigo). Alla fine del 1939 va a Roma con un contratto dell'ING. Nel febbraio 1941 è richiamato alle armi come sottotenente di artiglieria contraerea. Nell'inverno 1942-43 ottiene un permesso che gli permette di lavorare per qualche mese al Plateau Rosa con Bernardini e Piccioni. Dopo l'8 settembre è attivo in Veneto come comandante dei Gruppi di Azione Partigiana di Venezia. Rientra a Roma nel settembre del 1945.





Oreste Piccioni  
(Siena 1915 – Rancho Santa Fè,  
California 2002)

Dopo un anno alla Normale di Pisa passa a Roma, dove si laurea nella primavera del 1938 con Enrico Fermi. Arruolato come tenente dell'esercito, dopo l'8 settembre viene arrestato mentre tenta di oltrepassare la linea del fronte per raggiungere le truppe degli alleati. Viene fortunatamente rilasciato dopo dieci giorni e ritorna a Roma.



## L'Istituto Nazionale di Geofisica e Antonino Lo Surdo

F. Foresta Martin, G. Calcara, *Per una storia della geofisica italiana. La nascita dell'Istituto Nazionale di Geofisica (1936) e la figura di Antonino Lo Surdo*, Springer 2012



G. Bernardini, B.N. Cacciapuoti, O. Piccioni, "Sull'assorbimento della radiazione cosmica e la natura del mesotrone", pubbl. n. 23 dell'ING (1939)

G. Bernardini, M. Conversi, "Sulla deflessione dei corpuscoli cosmici in un nucleo di ferro magnetizzato", Ric. Sci. **11**, 840 (1940)

G. Bernardini, E. Pancini, M. Santangelo, E. Scrocco, "Sulla produzione della radiazione secondaria elettronica da parte dei mesotroni", pubbl. n. 57 dell'ING (1941)

B.N. Cacciapuoti, O. Piccioni, "Determinazione della vita media del mesotrone tra 2000 e 3500 m sul livello del mare", pubbl. n. 68 dell'ING (1941)

G. Bernardini, M. Conversi, E. Pancini, G.C. Wick, "Sull'eccesso positivo della radiazione cosmica", Ric. Sci. **12**, 1227 (1941)

G. Bernardini, B.N. Cacciapuoti, E. Pancini, O. Piccioni, "Sulla vita media del mesotrone", Nuovo Cimento **19**, 69 (1942)

M. Conversi, E. Scrocco, "Ricerche sulla componente dura della radiazione penetrante eseguite per mezzo di nuclei di ferro magnetizzati", Nuovo Cimento **1**, 372 (1945). Ricevuto il 6 luglio 1943.



G. Bernardini, B.N. Cacciapuoti, E. Pancini, O. Piccioni, "Sulla vita media del mesotrone", Nuovo Cimento **19**, 69 (1942)

Concludiamo perciò che attualmente il valore più attendibile di  $(\tau/\mu c^2)$  è

$$(\tau/\mu c^2) = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ sec/M.E.V.}$$

con un'incertezza di circa il 25%.

Però si deve notare che questo è un valore puramente sperimentale e che è calcolato nell'ipotesi che la componente penetrante della radiazione cosmica sia costituita da un unico tipo di particelle.

Vogliamo infine rilevare che le recenti misure di Rasetti danno una misura di  $\tau$  e non di  $(\tau/\mu c^2)$ ; e che se effettivamente fosse confermato il valore trovato da Rasetti:  $\tau = 1,2 \cdot 10^{-6}$  sec. esso si potrebbe mettere in accordo con quello di  $\tau/\mu c^2$  da noi trovato attribuendo a  $\mu c^2$  un valore intorno a 50 M.E.V., valore da non escludersi affatto in base alle misure di  $\mu$  fino ad oggi effettuate in camera del Wilson.

Per altro la tecnica usata da Rasetti nella sua bella esperienza era, per così dire, un po' acrobatica e i circuiti da lui usati forse non sufficientemente stabili per una esperienza di lunga durata come la sua. Attualmente Piccioni e Conversi stanno effettuando una misura diretta di  $\tau$ , del tipo di quella effettuata da Rasetti, ma con una tecnica che da una maggiore tranquillità.

## Lo sviluppo dell'elettronica

O. Piccioni, "Circuiti di numerazione utilizzando valvole a gas", Ric. Sci. **11**, 409 (1940)

M. Conversi, O. Piccioni, "Un circuito di conteggio a demoltiplicazione di 16 con tubi a vuoto", Nuovo Cimento **1**, 12 (1945). Ricevuto il 4 novembre 1942.

O. Piccioni, "Un nuovo circuito di registrazione a coincidenze", Nuovo Cimento **1**, 56 (1945). Ricevuto il 19 dicembre 1942.

M. Conversi, O. Piccioni, "Sulle registrazioni di coincidenza a piccoli tempi di separazione", Nuovo Cimento **1**, 279 (1945). Ricevuto l'8 marzo 1943.



# Il bombardamento di San Lorenzo, 19 luglio 1943

Circa ottanta bombe caddero entro  
il perimetro della città universitaria.  
L'istituto di fisica rimase  
fortunatamente indenne



## E. Amaldi, “Da via Panisperna all’America”

Decidemmo subito che l’ubicazione della Città Universitaria, così vicina allo scalo S. Lorenzo, era troppo pericolosa e che era necessario mettere in salvo almeno il materiale elettronico che avrebbe permesso di continuare a lavorare, magari fuori Roma, sulla radiazione cosmica. Fummo tutti d’accordo che un posto ragionevole era il nostro appartamento a Viale Parioli 50, ove trasferimmo prima di notte tutto quello che ci sembrava indispensabile per poter continuare a lavorare.

Delle varie esperienze in Istituto ve ne era una che era giunta a buon punto e che volevamo mandare avanti a tutti i costi. Si trattava dell’esperienza di Conversi e Piccioni sulla misura della vita media del mesone basata sulla misura del ritardo fra l’arrivo di uno di questi corpuscoli entro un pezzo di ferro in cui veniva ridotto in quiete e l’emissione del corrispondente elettrone di decadimento. Una prima grossolana misura di questa grandezza era stata fatta da F. Rasetti a Québec, il quale aveva però misurato il numero delle coincidenze fra questi due eventi al variare del potere risolutivo. Aveva così ottenuto la curva di decadimento integrata su tempi via via crescenti. Conversi e Piccioni, invece, avevano cominciato a sviluppare un sistema di coincidenze con potere risolutivo così elevato da poter cercare di osservare la curva di decadimento del mesone. Fu così che preso contatto con il Preside del Liceo Virgilio, verso la metà di luglio la apparecchiatura fu montata su di un carretto tirato a mano e trasportato dall’Istituto Guglielmo Marconi al Liceo Virgilio dove, essendo finite le lezioni e gli esami, fu sistemato in una delle aule a pianterreno. Il trasferimento fu fatto da Piccioni e Renato Berardo, con l’aiuto di tre studenti, Lucio Mezzetti, Carlo Franzinetti e F. Lepri. Io li accompagnai in bicicletta aiutandoli in qualche passaggio reso un poco più difficile dal traffico che del resto era abbastanza modesto.



Looking back I must say that perhaps the period at the Virgilio was, with respect to physics, the happiest one of my life.

(Piccioni 1984)

The period of the Nazi occupation was the darkest and most dramatic period covered by these personal recollections.

(Conversi 1983)

# IL GOVERNO DI ROMA CHIEDE L'ARMISTIZIO ALLE NAZIONI UNITE

Il Capo del Governo, Maresciallo d'Italia Badoglio, la sera dell'8 settembre alle ore 19,45 ha fatto alla radio la seguente comunicazione:

" Il Governo Italiano, riconosciuta l'impossibilità di continuare l'impari lotta contro la soverchiante potenza avversaria, nell'intento di risparmiare ulteriori e più gravi sciagure alla Nazione, ha chiesto un armistizio al generale Eisenhower comandante in capo delle forze alleate anglo-americane.

La richiesta è stata accettata. Conseguentemente ogni atto di ostilità contro le forze anglo-americane deve cessare da parte delle forze italiane in ogni luogo. Esse però reagiranno ad eventuali attacchi da qualsiasi altra provenienza ...

When we resumed our work at the Liceo Virgilio, we had to hide from Germans who made frequent raids in the city to conscript young males for military service. We also took a serious risk by keeping with us for some time weapons and a radio transmitter, which came from the underground antifascist movement. The transmitter came from the Partito d'Azione (via Amaldi) in bad condition: it was repaired by our friend Franco Lepri, who was a great expert in radio and electronics techniques. We has occasionally visits from a few friends and one or two students interested in our work. But contacts with the Physics Institute (far away on another side of the city, and attended by only a few students in those times) were only sporadic.

(Conversi 1983)



## Le tappe dell'esperimento CPP

M. Conversi, O. Piccioni, "Misura diretta della vita media dei mesoni frenati", Nuovo Cimento **2**, 40 (1944)

M. Conversi, O. Piccioni, "On the mean life of slow mesons", Phys. Rev. **70**, 859 (1946)

M. Conversi, O. Piccioni, "Sulla disintegrazione dei mesoni lenti", Nuovo Cimento **2**, 71 (1944)

M. Conversi, O. Piccioni, "On the disintegration of slow mesons", Phys. Rev. **70**, 874 (1946)

M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, "On the decay process of positive and negative mesons", Phys. Rev. **68**, 232 (1945)

M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, "On the disintegration of negative mesons", Phys. Rev. **71**, 209 (1947)

M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, "Sull'assorbimento e sulla disintegrazione dei mesoni alla fine del loro percorso", Nuovo Cimento **3**, 1 (1947)

M. Conversi, E. Pancini, O. Piccioni, "Sul comportamento dei mesoni positivi e negativi alla fine del loro percorso", Atti dell'Accademia dei Lincei **2**, 54 (1947)



## Il primo esperimento (1943 – primavera 1944)

Risultato di Conversi e Piccioni  $\tau = 2,30 \pm 0,17 \mu\text{s}$

B. Rossi, N. Nereson, “Experimental Determination of the Disintegration Curve of Mesotrons”, Phys. Rev. 62, 417 (1942);  $\tau = 2,15 \pm 0,07 \mu\text{s}$

N.C. 2 (1944)

### Misura diretta della vita media dei mesoni frenati

M. CONVERSI e O. PICCIONI

Istituto di Fisica della Università di Roma

(ricevuto il 4 aprile 1944)

**Riassunto.** — Si riferisce su di una ricerca istituita al fine di confermare l'ipotesi dell'instabilità del mesone e di determinare direttamente il valore della vita media  $\tau$  del processo di disintegrazione. Dalle intensità delle coincidenze ritardate corrispondenti a quattro diversi ritardi, si ricavano quattro punti della curva di decadimento, mentre invertendo il ritardo introdotto non si osserva alcun effetto. I risultati delle misure forniscono per  $\tau$  il valore  $\tau = 2,30 \mu\text{sec}$  con una precisione del 7,5 % circa.

#### 1. — Introduzione.

I corpuscoli costituenti la componente dura della radiazione penetrante, sono stati ormai da tempo identificati <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>, come è noto, con la particella introdotta da YUKAWA <sup>(3)</sup> per spiegare le forze nucleari. Questa particella (mesone, positivo o negativo) di massa pari a circa 200 masse elettroniche, si disintegra spontaneamente dando luogo — secondo lo schema che finora generalmente si accetta — ad un elettrone (positivo o negativo risp.) e ad un neutrino. L'identificazione di cui sopra fu suggerita precisamente per render conto dell'assorbimento anomalo della componente dura, cioè del fatto

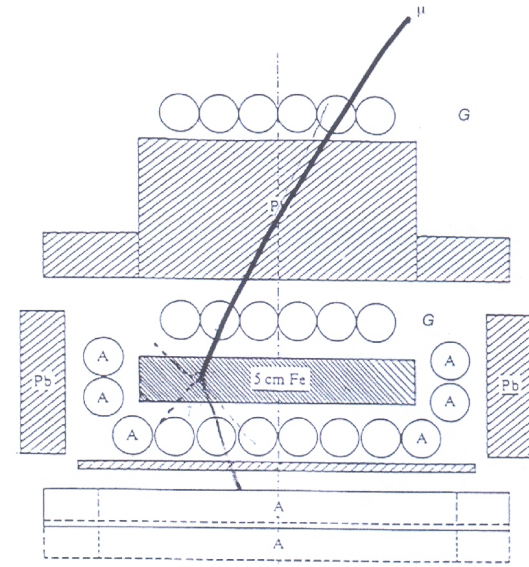


Fig. 5. — Disposizione sperimentale adottata da Piccioni e Conversi nella prima misura della vita media del muone. Particolari nel testo [6, 7].

After the war I learned that while Nereson and I were working in the comfortable surroundings of Cornell University, two of my Italian colleagues, Marcello Conversi and Oreste Piccioni, in defiance of the harsh conditions prevailing in Rome under German occupation, had succeeded in carrying out a carefully designed experiment aiming, like ours, at a measurement of the mean life of mesotrons at rest.

(Rossi 1983)

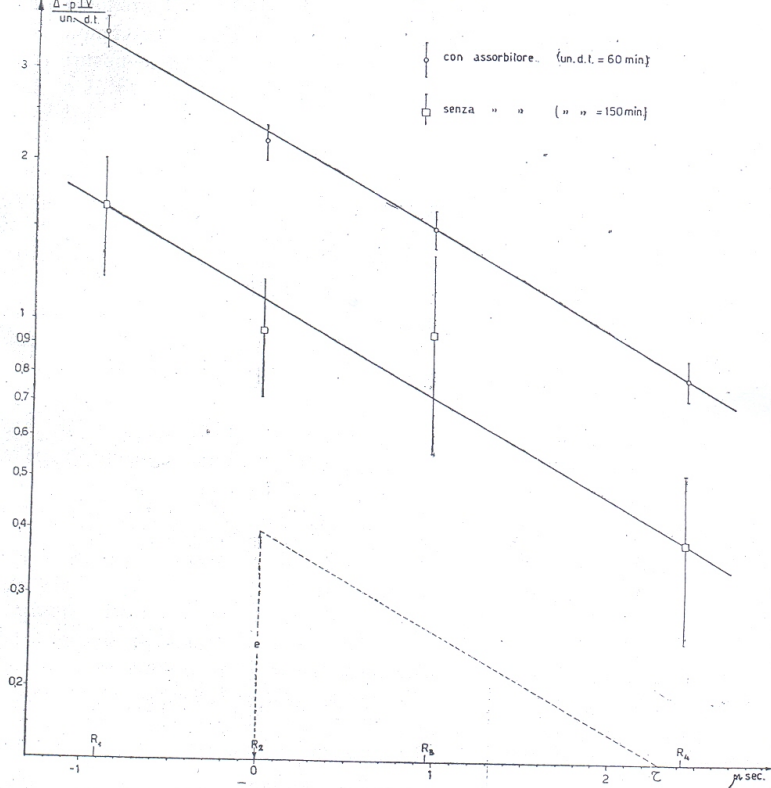


Fig. 20. - Curve di decadimento ottenute con assorbitore (di sopra) e senza assorbitore (di sotto).

Early in 1944 we had the complete data of Figures 6a and 6b. We could touch and see with our eyes the unquestionable proof that those mesotrons stopped and decayed thus showing their identity card. For Italy, that was the discovery of the mesotron with its decay properties. Even the (few) examples of the cloud chamber did not have the power of such a large number of events so clearly displaying the exponential decay. That breakthrough was the foundation for all four steps of the research on the mesotron decay conducted in Rome (Piccioni 1984)

Compare, accanto all'Istituto Nazionale di Geofisica, il "Centro di Fisica Nucleare" del CNR

Ringraziamo il Prof. G. BERNARDINI per le discussioni avute con lui e per il suo vivo interessamento durante la progettazione e l'esecuzione dell'esperienza.

È pure un nostro grato dovere ringraziare vivissimamente il prof. A. BANDINI, preside del Liceo Ginnasio «Virgilio» e il prof. L. FAGIOLO, vicepresidente, per averci offerto la più completa e cortese ospitalità, fornendoci così la possibilità di condurre a termine questa esperienza, già iniziata presso l'Istituto di Fisica della R. Università.

Vogliamo infine esprimere la nostra gratitudine al personale del Liceo e, in particolare, al sig. O. TOPINI, per le gentilezze usateci.

I fondi usati sono stati forniti parte dal Centro di Fisica Nucleare del C.N.R. e parte dall'Istituto Nazionale di Geofisica dello stesso C.N.R.

## Il secondo esperimento (primavera 1944)

### Sulla disintegrazione dei mesoni lenti

M. CONVERSI e O. PICCIONI

Istituto di Fisica dell'Università di Roma

(ricevuto il 22 maggio 1944)

**Riassunto.** — A seguito di un precedente lavoro nel quale è stato misurato direttamente il valore della vita media  $\tau$  dei mesoni lenti, si sono eseguite, utilizzando lo stesso dispositivo sperimentale, delle misure destinate a fornire ulteriori indicazioni sul processo di disintegrazione dei mesoni frenati in una lastra di ferro. I risultati di queste misure, confermando le previsioni teoriche di TOMONAGA e ARAKI, suggeriscono che soltanto la metà circa delle particelle ionizzanti costituenti la componente dura della radiazione cosmica e che vengono assorbite nel ferro, subisce effettivamente il processo disintegrativo. Da tali risultati si deduce inoltre che la penetrazione media degli elettroni di disintegrazione nel ferro è di circa 2,5 cm con una precisione probabile del 20 %. Sono state effettuate infine delle misure del tutto analoghe a quelle già riferite nella nota precedente: esse conglobate con le antecedenti, forniscono per  $\tau$  il valore 2,33  $\mu\text{sec}$  e riducono al 6,5 % ca. l'incertezza relativa a tale valore.

#### 1. — Introduzione.

In un precedente lavoro <sup>(1)</sup> noi abbiamo eseguito una misura diretta del valore della vita media  $\tau$  del processo di disintegrazione dei mesoni frenati in un blocco di ferro trovando  $\tau = 2,3 \mu\text{sec} \pm 7,5 \%$ . Con lo stesso dispositivo sperimentale adoperato in tale lavoro, ci siamo proposti, successivamente, di eseguire delle misure dalle quali si potesse dedurre, in primo luogo, quale è la percentuale delle particelle costituenti la componente dura della radiazione penetrante che, frenate in uno spessore di materiale denso (ferro), subiscono effettivamente il processo disintegrativo.

In effetti dai calcoli di TOMONAGA e ARAKI <sup>(2)</sup> risulta che la probabilità che ha un mesone di interagire con i nuclei della sostanza attraversata dipende, oltre che dalla densità di quest'ultima e dall'energia del mesone, anche dal segno della carica. Precisamente i mesoni positivi, per effetto della repulsione coulombiana, avrebbero una probabilità di cattura da parte del nucleo così piccola da potersi ritenere trascurabile di fronte alla probabilità che essi hanno di disintegrarsi. Per i mesoni negativi invece la probabilità

Rapporto tra i mesoni M  
che si disintegrano e  
quelli A che vengono  
frenati nell'assorbitore

$$M/A = 0,56 \pm 0,08$$

Il valore da noi ottenuto, in accordo con quello trovato da Rasetti, non con quello di Auger, Maze e Chaminade, sembra dunque confermare le previsioni teoriche di Tomonaga e Araki, giacché i mesoni negativi catturati dal nucleo provocherebbero in questo un processo disintegrativo di vita media troppo breve per essere registrato dal nostro dispositivo. In effetti l'eccesso positivo riscontrato, in misura del 20% circa, nella componente dura della radiazione penetrante, dovrebbe far assumere a  $M/A$  il valore 0,6 che peraltro è abbastanza in accordo con il nostro risultato.

Diversamente il risultato da noi conseguito si potrebbe spiegare ammettendo che la componente dura della radiazione cosmica fosse costituita per metà da particelle instabili con vita media  $\tau = 2,33 \mu\text{sec}$  e per metà stabili. Tuttavia una simile interpretazione non sembra compatibile con l'accordo relativamente buono tra il valore del rapporto  $\tau/\mu c^2$  che si ricava dalle più attendibili esperienze... La presenza di particelle stabili accanto ai mesoni disintegranti con vita media  $\tau = 2,33 \mu\text{sec}$  dovrebbe difatti ridurre il valore osservato del rapporto  $\tau/\mu c^2$  e la riduzione diverrebbe notevole qualora tali particelle costituissero effettivamente la metà della componente dura...

Le conclusioni di Tomonaga e Araki sembrano dunque le più idonee a spiegare il risultato

$$M/A = 1/2$$

Un'esperienza atta a fornire una risposta presumibilmente definitiva sull'argomento in questione è stata da tempo suggerita dal dott. Ettore Pancini; essa doveva consistere nel misurare le coincidenze ritardate prodotte da elettroni di disintegrazione, concentrando alternativamente i mesoni positivi e quelli negativi per mezzo di blocchi di ferro magnetizzati. Purtroppo questa esperienza, in seguito alle attuali contingenze, non si è ancora potuta realizzare.

### On the Decay Process of Positive and Negative Mesons

M. CONVERSI, E. PANCINI, AND O. PICCIONI

*Istituto di Fisica della R. Università di Roma, Centro di Fisica nucleare del C.N.R., Rome, Italy*  
October 15, 1945

SOME years ago Tomonaga and Araki<sup>1</sup> pointed out that on account of the electrostatic interaction with nuclei, the capture probability should be for negative mesons in dense material much greater than the decay probability; while for positive mesons the decay probability should prevail on the capture probability.

In 1941 in a direct measurement of the mean-life of mesons stopped in Al-absorber, Rasetti<sup>2</sup> obtained for the ratio  $\eta$  between decay-processes and stopped mesons the value  $\eta = 0.42 \pm 0.15$ . Successively Auger, Maze, and Chaminade<sup>3</sup> found no essential lack from unity for  $\eta$ . Further experiments by Rossi and Nereson<sup>4</sup> (Al absorber), and by ourselves<sup>5</sup> (Fe absorber) gave, respectively,  $\eta = 0.4$  and  $\eta = 0.49 \pm 0.07$ .

From the above mentioned works it seems reasonable to conclude that  $\eta$  is about 0.5. However, some doubt can be raised against the precision of such a value of  $\eta$ , considering that it is deduced from the comparison between its evaluated value and the rate of the actually registered decay-electrons, which represent only a small fraction of all the decay-processes occurring in the absorber.

Among other sources of error affecting the evaluation of  $\eta$ , one ought to consider the determination of the minimum delay of the registered electrons which depends on the size and shape of the counter-pulses. In order to avoid such a difficulty, in our previous work<sup>5</sup> we counted the delayed coincidences with little and slightly different delays and obtained from the plotted results the point "zero" of the time-scale. In order to obtain an independent determination of  $\eta$  and to check at the same time whether, according to Tomonaga and Araki prediction, negative mesons do not undergo the decay-process in dense materials, we performed an experiment based on the possibility of concentrating positive and negative mesons by means of magnetized iron cores.

The registering set—whose circuit has been already described in a previous paper<sup>6</sup>—consisted of three-fold (III) delayed-coincidences and of an anticoincidence unit. (This unit was really a four-fold (IV) coincidences unit.) It registered the decay-electrons, due to mesons stopped in a Fe absorber 3 cm thick. By means of convenient magnetized iron cores we could concentrate on this absorber alternatively positive or negative mesons. The energy of such mesons was well defined as that corresponding to the range interval between 20 cm of iron (magnetized iron cores) and 20+3 cm (absorber). We took care that the value of the magnetic induction  $B$  inside the magnetized iron cores was high enough ( $B \approx 15,000$  gauss) to concentrate on or bend away from the absorber all mesons of such an energy.

With a fixed delay we found the following results:

Concentrating positive mesons:

$$(III-IV)_+ = 58/177^h 16' = 0.33 \pm 0.04,$$

Concentrating negative mesons:

$$(III-IV)_- = 13/168^h 06' = 0.077 \pm 0.02.$$

Regarding the actual result only as a qualitative one, we have not taken into account the small lack of efficiency of the four-fold coincidences.

These results point out the greatly different behavior of negative and positive mesons, so that the prediction of Tomonaga and Araki seems to be confirmed experimentally. We have not yet checked whether the small rate (III-IV)<sub>-</sub> is caused by some instrumental effect, or not. Further experiments are now in progress.

<sup>1</sup>S. Tomonaga and G. Araki, *Phys. Rev.* 58, 90 (1940).

<sup>2</sup>F. Rasetti, *Phys. Rev.* 60, 198 (1941).

<sup>3</sup>Auger, Maze, and Chaminade, *Comptes rendus* 213, 381 (1941).

<sup>4</sup>B. Rossi and N. Nereson, *Phys. Rev.* 62, 417 (1942).

<sup>5</sup>M. Conversi and O. Piccioni, *Nuovo Cimento* II, 71 (1944); *Phys. Rev.* (submitted for publication).

<sup>6</sup>M. Conversi and O. Piccioni, *Nuovo Cimento* II, 40 (1944).

### On a Type of Kinematical "Red-Shift"

E. L. HILL

*University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota*

September 29, 1945

THE work of Page and Milne on the introduction of accelerated coordinate systems in relativity theory has recently been put on a more definite basis by the explicit reduction of the transformations involved to the 4-dimensional conformal group.<sup>1</sup> One of the important points thus introduced is the necessary use of a 15-parameter group of transformations, whereas the corresponding classical group requires but thirteen. The purpose of this note is to indicate an interpretation of one of these new parameters which leads to a type of "red-shift" phenomenon. We use the notation of reference 1 and leave aside transformations based on  $X_{15}$ , since these do not lead directly to velocity changes. If we consider an observer situated at the origin of coordinates, but having neither velocity nor acceleration, we can still modify his coordinate system by the 1-parameter subgroup of transformations based on  $X_{14}$ . To first orders this yields the equations

$$r' = (1 - \alpha_{14})r, \quad t' = t - \alpha_{14} \frac{1}{c} (v^2 + r^2/c^2),$$

which, in turn, lead to the velocity formula

$$v' = v - \alpha_{14} [r - v(r \cdot v)/c^2] \\ = v - \alpha_{14} r, \quad \text{as terms in } v^2/c^2.$$

To this order of approximation the added term is a simple radial velocity with magnitude proportional to the distance from the observer. The sign of the velocity may be either positive or negative, and to obtain formal agreement with the observed red-shift we take  $\alpha_{14} = -1.8 \times 10^{-17}$  sec.<sup>-1</sup>. At very great distances, at which the radial velocity approaches that of light, the term in  $v^2/c^2$  acts to limit the speed, but its effect is too small to be observable at present, since it amounts to only about 0.01 km/sec. at a distance of  $2 \times 10^6$  parsec., at which the red-shift gives a radial speed of around 1000 km/sec. In any event the first-order approximation which has been used here would become invalid, and the calculation would need to be carried out more exactly.

## Il terzo esperimento (estate 1944 – ottobre 1945)

We found the following results:  
Concentrating positive mesons:

$$(III-IV)_+ = 58/177^h 16' = 0.33 \pm 0.04$$

Concentrating negative mesons:

$$(III-IV)_- = 13/168^h 06' = 0.077 \pm 0.02$$

These results point out the greatly different behavior of negative and positive mesons, so that the prediction of Tomonaga and Araki seems to be confirmed experimentally. We have not yet checked whether the small rate (III-IV)<sub>-</sub> is caused by some instrumental effect, or not. Further experiments are now in progress.

The magnet experiment confirmed our previous experiment, indicating that negative muons were captured in iron. We were out of work.  
(Piccioni 1982)

M.C. + E. PANCINI + O. PICCIONI

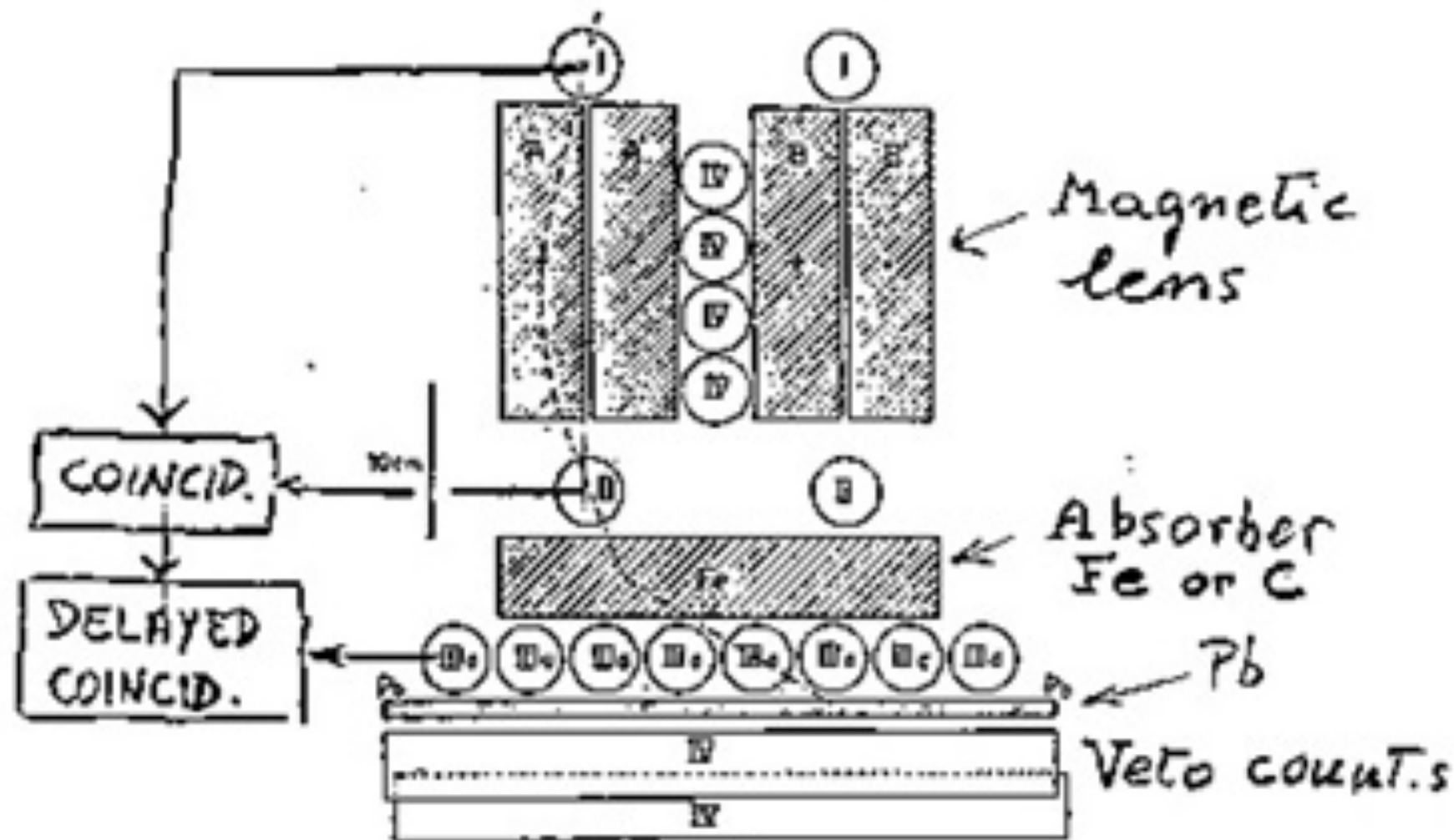


Fig. 1.

Il disegno originale con le annotazioni di  
Conversi

Main ingredient: fast delayed  
coincidences

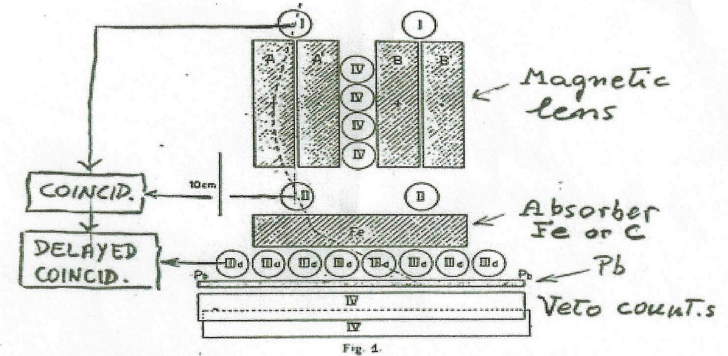
Choice of carbon absorber:

to extend check of theoretical  
predictions to low Z

to search for possible  $\gamma$  from  $\mu^-$  capture

to clarify uncertain indication of  
previous exp. in Al (Maze + Chaminade)  
that  $> \frac{1}{2} \mu$  decay

M.C. + E. PANCINI + O. PICCIONI



Main ingredient : "fast delayed  
coincidences" using Piccioni's "series  
coincidences" with secondary emission  
tubes (EESO)

CHOICE of CARBON ABSORBER  
(in my personal recollections)

To extend check of theor. predict. s  
to low Z (see large  $\hbar^2/Z^2 m_\mu$ )

To search for possible  $\gamma$  from  
 $\mu^-$  capture (later done by Piccioni in USA)

To clarify uncertain indication  
of previous exp. in Al (Maze + Chaminade)  
that  $> \frac{1}{2} \mu$  decay

# Letters to the Editor

PUBLICATION of brief reports of important discoveries in physics may be secured by addressing them to this department. The closing date for this department is, for the issue of the 1st of the month, the 8th of the preceding month and for the issue of the 15th, the 23rd of the preceding month. No proof will be sent to the authors. The Board of Editors does not hold itself responsible for the opinions expressed by the correspondents. Communications should not exceed 600 words in length.

## On the Disintegration of Negative Mesons

M. CONVERSI, E. PANCINI, AND O. PICCIONI\*  
 Centro di Fisica Nucleare del C. N. R. Istituto di  
 Fisica dell'Università di Roma, Italia  
 December 21, 1946

IN a previous Letter to the Editor,<sup>1</sup> we gave a first account of an investigation of the difference in behavior between positive and negative mesons stopped in dense materials. Tomonaga and Araki<sup>2</sup> showed that, because of the Coulomb field of the nucleus, the capture probability for negative mesons at rest would be much greater than their decay probability, while for positive mesons the opposite should be the case. If this is true, then practically all the decay processes which one observes should be owing to positive mesons.

Several workers<sup>3</sup> have measured the ratio  $\eta$  between the number of the disintegration electrons and the number of mesons stopped in dense materials. Using aluminum, brass, and iron, these workers found values of  $\eta$  close to 0.5 which, if one assumes that the primary radiation consists of approximately equal numbers of positive and negative mesons, support the above theoretical prediction. Auger, Maze, and Chaminate<sup>4</sup> on the contrary, found  $\eta$  to be close to 1.0, using aluminum as absorber.

Last year we succeeded in obtaining evidence of different behavior of positive and negative mesons stopped in 3 cm of iron as an absorber by using magnetized iron plates to concentrate mesons of the same sign while keeping away mesons of the opposite sign (at least for mesons of such energy that would be stopped in 3 cm of iron). We obtained results in agreement with the prediction of Tomonaga and Araki. After some improvements intended to increase the counting rate and improve our discrimination against the "mesons of the opposite sign," we continued the measure-

TABLE I. Results of measurements on  $\beta$ -decay rates for positive and negative mesons.

Sign	Absorber	III	IV	Hours	M/100 hours
(a) +	5 cm Fe	106	155.00'	67 ± 6.5	
(b) -	5 cm Fe	172	206.00'	3	
(c) -	none	71	107.45'	-1	
(d) +	4 cm C	101	179.20'	36 ± 4.5	
(e) -	4 cm C	118	243.00'	27 ± 3.5	
(f) -	6.2 cm Fe	128	240.00'	0	

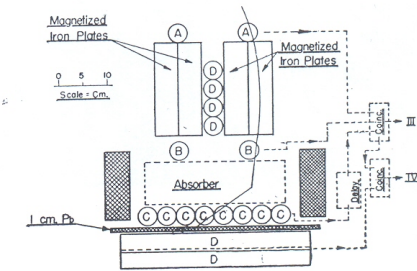


FIG. 1. Disposition of counters, absorber, and magnetized iron plates. All counters "D" are connected in parallel.

ments using, successively, iron and carbon as absorbers. The recording equipment was one which two of us had previously used in a measurement of the meson's mean life.<sup>5</sup> It gave threefold (III) and fourfold (IV) delayed coincidences. The difference (III) - (IV) (after applying a slight correction for the lack of efficiency of the fourfold coincidences) was owing to mesons stopped in the absorber and ejecting a disintegration electron which produced a delayed coincidence. The minimum detected delay was about 1  $\mu$ sec. and the maximum about 4.5  $\mu$ sec. Our calculations of the focusing properties of the magnetized plates (20 cm high;  $\beta = 15,000$  gauss) and including roughly the effects of scattering, showed that we should expect almost complete cut-off for the "mesons of the opposite sign." This is confirmed by our results, since otherwise it would be very hard to explain the almost complete dependence on the sign of the meson observed in the case of iron.

The results of our last measurements with two different absorbers are given in Table I. In this table "Sign" refers to the sign of the meson concentrated by the magnetic field.  $M = (III) - (IV) - P(IV)$ , the number of decay electrons, is corrected for the lack of efficiency ( $p$ ) in our fourfold coincidences ( $\sim 0.046$ ).

The value  $M$  (5 cm Fe) is but slightly greater than the correction for the lack of efficiency in our counting, so that we can say that perhaps no negative mesons and, at most, only a few ( $\sim 5$ ) percent undergo  $\beta$ -decay with the accepted half-life.

The results with carbon as absorber turn out to be quite inconsistent with Tomonaga and Araki's prediction. We used cylindrical graphite rods having a mean effective thickness of 4 cm because we were unable to procure a graphite plate. In addition, when concentrating negative mesons, we placed above the graphite a 5-cm thick plate of iron to guard against the scattering of very low energy mesons which might destroy the concentrating effect of our magnets. We alternated the following three measurements:

- A. Negative mesons with 4 cm C and 5 cm Fe,
- B. Negative mesons with 6.2 cm Fe (6.2 cm Fe is approximately equivalent to 4 cm C + 5 cm Fe as far as energy loss is concerned).
- C. Positive mesons with 4 cm C.

## Il quarto esperimento (1946)

Ferretti had speculated that photons might be emitted after the capture. Then we started planning an experiment to see those photons. The experiment would have been done without magnets but we wanted to see what the rates with carbon were, so we put carbon in the apparatus with the magnets. There was absolutely no other reason for using carbon, as no one dreamed Tomonaga's theory could be wrong by ten orders of magnitude. We found that negative mesons were not captured any more. We were sure something was wrong. (Piccioni 1982)



TABELLA I. - Risultati delle misure.

Serie	Se- gno	Assorbitore	III	IV	$t$	IV/ora	$M$	$\frac{M_-}{M_+}$
1°	+	3 cm Fe	117	59	117 <sup>h</sup> 16'	0,33 ± 0,045	0,31 ± 0,045	0,17
	-	3 cm Fe	92	79	168 <sup>h</sup> 06'	0,47 ± 0,055	0,054	
	-	Assente	20	17	80 <sup>h</sup> 46'	0,21 ± 0,05	0,027	
2°	+	5 cm Fe	213	106	155 <sup>h</sup> —	0,69 ± 0,07	0,67 ± 0,065	0,048
	-	5 cm Fe	172	158	206 <sup>h</sup> —	0,77 ± 0,06	0,03	
	-	Assente	71	69	107 <sup>h</sup> 45'	0,64 ± 0,08	— 0,01	
3°	+	4 cm C	170	101	179 <sup>h</sup> 20'	0,56 ± 0,055	0,36 ± 0,045	0,75
	-	4 cm C + 5 cm Fe	218	146	243 <sup>h</sup> —	0,60 ± 0,05	0,27 ± 0,035	
	-	6 cm Fe	128	120	240 <sup>h</sup> —	0,50 ± 0,045	0,008	

When we found that delayed coincidences were recorded at essentially the same rates (about 0.3 per hour) for positive and negative mesons focused on the graphite absorber, we at first believed that something was wrong with our apparatus.  
(Conversi 1983)

Obviously our results contradicted Tomonaga and Araki, because they had calculated exactly what we should observe. We were very happy about that: it is always fun for experimentalists to prove theorists wrong. But none of us understood that our data showed that the cosmic ray mesotrons were not the Yukawa particles. In fact, such an assertion is not in our publication. It would have meant that we had understood some nonobvious points faster than a long list of theorists, including N. Bohr...  
(Piccioni 1984)

We had been lucky also because we had no reason to expect the magnets to work so well. Though the apparatus looked pretty with the magnets, we had taken a great risk. If after our Tomonaga experiment on the capture in Iron we had passed to the search for photons and tried carbon in that apparatus we might have reached the result sooner.  
(Piccioni 1982)

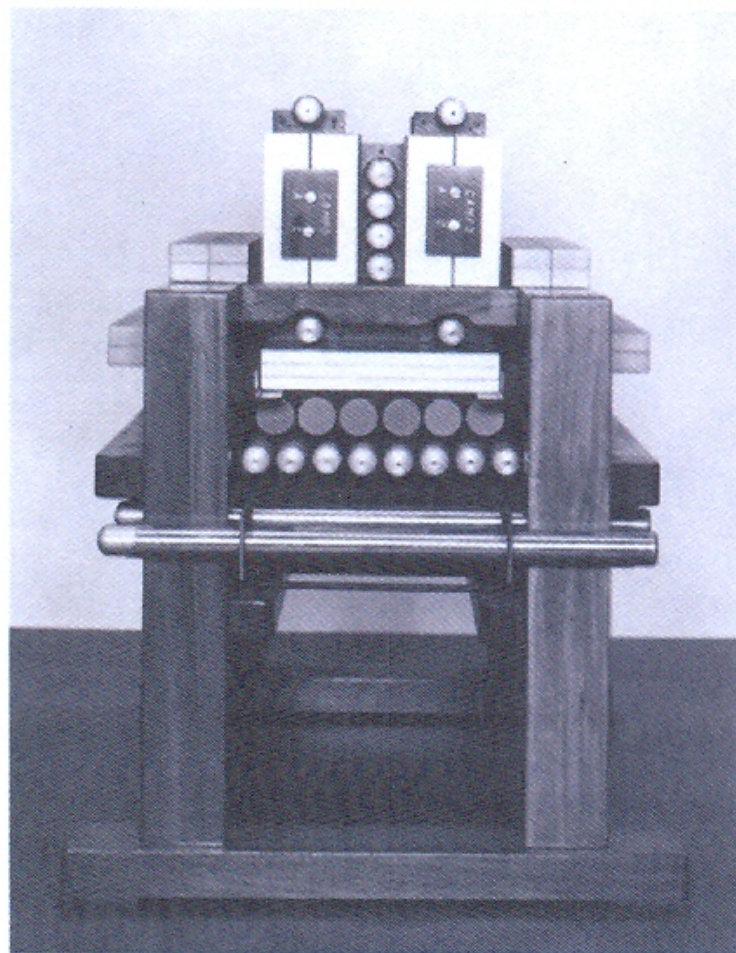
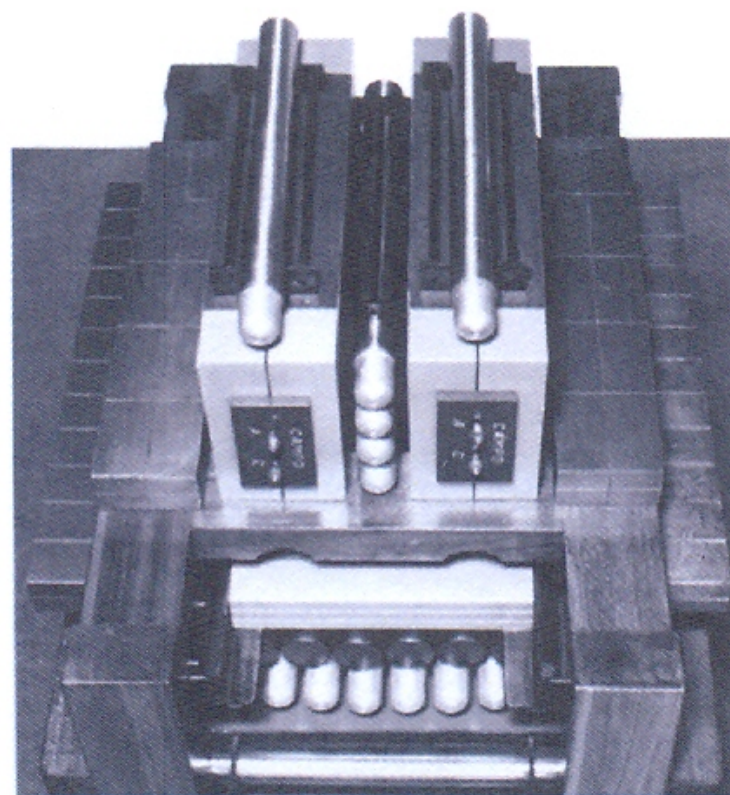
*a)**b)*

Fig. 11. – Modello dell'apparato usato nell'esperimento di Roma, ricostruito allo Smithsonian Institute in Washington: *a)* vista frontale; *b)* vista dall'alto.



Componenti elettronici  
realizzati per  
la missione "Venera 1"

3 December 1956

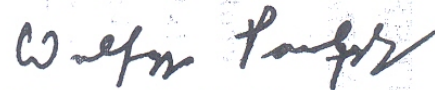
Dear Professor Amaldi:

I have been asked by the Nobel Committee to nominate a candidate or candidates for the 1957 prize in physics. It is my intention to nominate all or some members of the group M. Conversi, E. Pancini and O. Piccioni for this prize in recognition of their contribution by the experiment on the sign dependence of  $\mu$ -mesic absorption rates. I believe that their experiment was certainly the first significant step after the War which very profoundly influenced everyone's thinking on the role of the  $\mu$ -meson's nature.

Unfortunately, I am not sufficiently familiar with the details of their work to separate the relative contributions of the three authors. I am familiar with Piccioni's and Conversi's later work, but do not have any information on Pancini's contributions. Could I ask you for any remarks you care to make concerning the roles of these authors in this experiment? Any help you can give me would be appreciated.

With best regards,

Sincerely,



Wolfgang K. H. Panofsky

WKHP:1b

W. Panofsky a E. Amaldi, 3 dicembre 1956

Deep River, 8 Maggio 1947

Caro Gian Carlo,

è ormai certo che sarò qui verso la metà di giugno e più tardi, quindi ti rinnovo l'invito a venire a Deep River (con costume da bagno), se vai al meeting di Montreal.

Sono poi arrivati, da un pezzo, i tuoi due lavori per il Phys. Rev. e li ho già dati a Clayton. Sono troppo elevati per me, ma ho, credo, ricavato il succo dal secondo. Grazie.

In occasione di seminari che ho voluto dare per avere una scusa per imparare un po' di raggi cosmici, ho avuto occasione di studiare per la prima volta un po' seriamente questo argomento. Ho studiato i vari vostri lavori italiani, il libro di Heisenberg che mi pare straordinariamente bello e chiaro, e un mucchio di altra roba. Il risultato è che 1) mi sono arrapato, come dicono a Roma, per i raggi cosmici e 2) ti attacco il seguente bottone e ti chiedo di dirmi senza complimenti se tutte le cose che seguono sono fregnacce.

Partendo dall'ipotesi che le esperienze recenti di Pancini, Piccioni e Conversi siano corrette (i mesotroni negativi hanno il tempo di disintegrarsi con emissione di elettroni quando sono fermati in elementi leggeri) e che non ci sia meccanismo che impedisca al mesotrone di avvicinarsi al nucleo in un tempo brevissimo, secondo il lavoro di Fermi, Weisskopf e Teller, si arriva al risultato che la probabilità di cattura del mesotrone dai nuclei è molto meno probabile (per un fattore di oltre  $10^{10}$ ) di quanto qualunque teoria basata sulle particelle di Yukawa richieda (Fermi etc, Wheeler). Le conseguenze sono:

1) L'interazione tra nucleoni e mesotroni è così debole ~~che l'interazione~~ (d'ora in poi quando dirò mesotroni intenderò mesotroni carichi) che le forze risultanti dallo scambio di mesotroni sono del tutto insufficienti a spiegare rendere conto delle forze nucleari, proprio come le forze derivanti dalla trasformazione di neutrone in protone con emissione di elettrone e neutrino erano insufficienti nella pre-Yukawa teoria dei raggi beta di Fermi. E' da notarsi che la probabilità sperimentale di cattura di un mesotrone da un nucleo è dell'ordine della probabilità di un ordinario processo di cattura ~~di K~~ K (tenuto conto dell'energia e della differenza del volume dell'anello K e dell'orbita mesotronica più profonda). Similmente l'emissione di mesotroni prodotta da bombardamento di raggi gamma, che si può calcolare dall'esperienza di Piccioni etc, ha una probabilità dell'ordine della probabilità di indurre un processo beta con raggi gamma. E così via; se ne deduce una similarità tra processi beta e processi ~~che concernono~~ l'assorbimento e l'emissione di mesotroni, che, assumendo che non si tratti di una coincidenza, sembra di carattere fondamentale.

THE EDITOR

The theory here used is obviously not consistent; we have carried out all calculations with the one-body Dirac equation and taken into account the two-body nature of the problem by the empirical introduction of  $R_N$  and  $R_D$ . This point will need further theoretical study.

We have also investigated the question of how the electronic magnetic moment may be expected to depend on the nuclear mass and have found different results depending on the physical interpretation given to the coordinates which enter into the Dirac equation.

A detailed paper will follow shortly.

J. E. Nafe, E. B. Nelson, and I. I. Rabi, Phys. Rev. 71, 914 (1947). I am greatly indebted to the authors for telling me about their results before publication.

### Nuclear Capture of Mesons and the Meson Decay

B. PONTECORVO  
National Research Council, Chalk River Laboratory, Chalk River,  
Ontario, Canada  
June 21, 1947

THE experiment of Conversi, Pancini, and Piccioni<sup>1</sup> indicates that the probability of capture of a meson by nuclei is much smaller than would be expected on the basis of the Yukawa theory.<sup>2,3</sup> Gamow<sup>4</sup> has suggested that the nuclear forces are due exclusively to the exchange of neutral mesons, the processes involving charged mesons and the  $\beta$ -processes having probabilities which are smaller by a factor of about  $10^{10}$ .

We notice that the probability ( $\sim 10^6$  sec.<sup>-1</sup>) of capture of a bound negative meson is of the order of the probability of ordinary  $K$ -capture processes, when allowance is made for the difference in the disintegration energy and the difference in the volumes of the  $K$ -shell and of the meson orbit. We assume that this is significant and wish to discuss the possibility of a fundamental analogy between  $\beta$ -processes and processes of emission or absorption of charged mesons.

An immediate consequence of the experiments of the Rome group<sup>1</sup> is that the usual interpretation of the  $\beta$ -process as a "two-step" process ("probable" production of virtual meson and subsequent  $\beta$ -decay of the meson) completely loses its validity, since it would predict too long  $\beta$ -lifetimes: the meson is no longer the particle responsible for nuclear  $\beta$ -processes, which are to be described according to the original Fermi picture (without mesons). Consequently there is no need to assume that charged mesons have integral spin, as the Yukawa explanation of  $\beta$ -processes required. Once we believe that the ordinary  $\beta$ -process is not connected in any way with the meson, it is difficult to see strong reasons for the usual assumption that the meson decays with emission of a  $\beta$ -particle and a neutrino. We shall consider then the hypothesis that the meson has spin  $\frac{1}{2}$  and that its instability is not a  $\beta$ -process, in the sense that it does not involve the emission of one neutrino. The meson decay must then be described in a different way: it might consist of the emission of an electron and a photon or of an electron and 2 neutrinos<sup>5</sup> or some other process.

LETTERS TO T

In the hypothesis that the meson decay is not a  $\beta$ -process (meson of spin  $\frac{1}{2}$ ) the process of nuclear absorption or production of a single meson would be accompanied by the emission of a neutrino. This analogy between  $\beta$ -particles and mesons suggests, in addition, that just as the production of single  $\beta$ -particles is extremely unlikely, while the production of electron pairs is a very likely phenomenon, so the production of a single charged meson would be very unlikely, while the production of pairs of mesons would be quite probable. The experimental evidence is, in fact,<sup>6</sup> that most, if not all, of the meson showers are created in connection with large Auger showers.

The assumption that the emission or absorption of one meson is accompanied by the emission of a neutrino would explain in a natural way a somewhat puzzling experimental result. Among the few pictures of a meson stopping in the gas of a cloud chamber, no "star" has been observed at the end of the meson track.<sup>7</sup> The absence of a star must be due to a process leaving the capturing nucleus in a not too excited state: the mechanism proposed here would explain that the capture of a negative meson from a nucleus  $Z$  results in a nucleus  $Z-1$  close to its ground level, since the excess energy could be carried away by the neutrino. Actually, in such a process we should expect that the emission of a neutrino of high energy with consequent production of the nucleus  $Z-1$  in a state of low excitation would be more likely than the emission of a neutrino of low energy with the production of the nucleus  $Z-1$  in a state of high excitation (cf.  $K$ -capture process).

The hypothesis that the meson decay is not a  $\beta$ -process, while the meson absorption is a  $\beta$ -process, does not require that hypothetical particles such as neutral mesons are invoked to account for nuclear forces. In fact, a heavy electron pair theory of nuclear forces was successfully developed by Marshak.<sup>8</sup> Moreover, a pair theory is capable of accounting, at least in principle, for the existence of processes in which several pairs of mesons are produced in a single act, as suggested by Heisenberg in connection with a different problem.<sup>9</sup>

Returning to the actual decay of the meson, an experiment suggests itself which might answer the following question: Is the electron emitted by the meson with a mean life of about 2.2 microseconds accompanied by a photon of about 50 Mev? This experiment is being attempted at the present time, since it is felt that the available analysis<sup>10</sup> of the soft component in equilibrium with its primary meson component is probably insufficient to decide definitely whether the meson decays into either an electron plus neutral particle(s) or electron plus photon.

<sup>1</sup> M. Conversi, E. Pancini, and O. Piccioni, Phys. Rev. 71, 209 (1947). See also T. Sturgeson and A. Yamakawa, Phys. Rev. 71, 319 (1947).

<sup>2</sup> E. Fermi, E. Teller, and V. Weisskopf, Phys. Rev. 71, 314 (1947).

<sup>3</sup> J. A. Wheeler, Phys. Rev. 71, 320 (1947).

<sup>4</sup> G. Gamow, Phys. Rev. 71, 550 (1947). See also G. Gamow and E. Teller, Phys. Rev. 51, 289 (1937).

<sup>5</sup> W. Nordheim, Phys. Rev. 59, 544 (1941).

<sup>6</sup> G. Cocconi, A. Loveredo, and V. Torigiorgi, Phys. Rev. 70, 852 (1946).

<sup>7</sup> See for a critical survey: T. H. Johnson and R. P. Shutt, Phys. Rev. 61, 380 (1942).

<sup>8</sup> R. E. Marshak, Phys. Rev. 57, 1101 (1940).

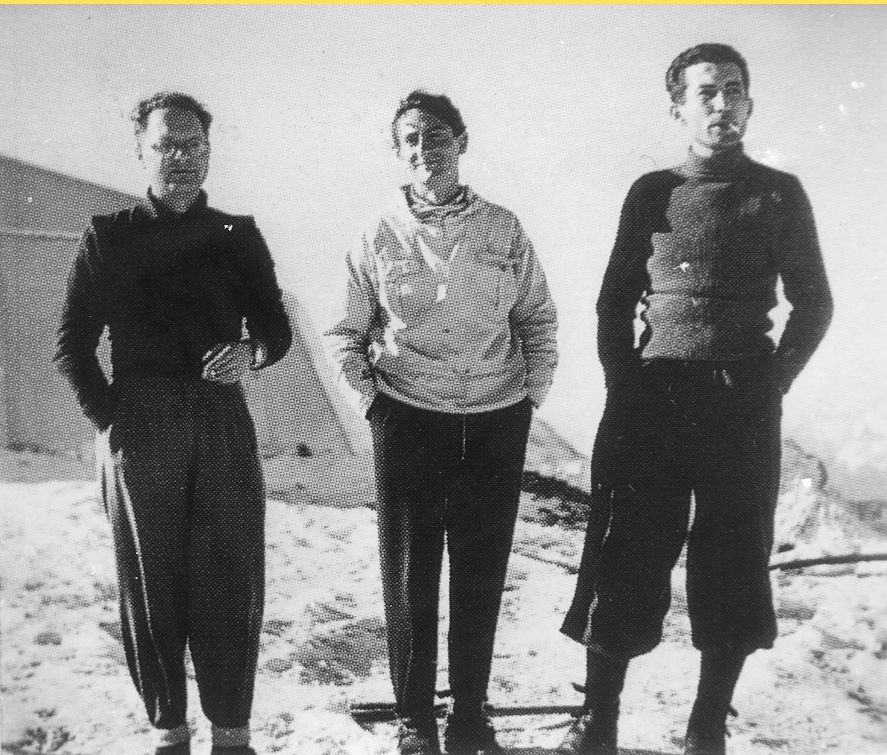
<sup>9</sup> References can be found in Cosmic Radiation, edited by W. Heisenberg (Dover Publications, New York, 1946), p. 127.

<sup>10</sup> See reference 9, pp. 84-97.

B. Pontecorvo, "Nuclear Capture of Mesons and the Mesons Decay", Phys. Rev. 72, 246 (1947)

Lettera di Bruno Pontecorvo a Gian Carlo Wick, 8 maggio 1947

From then on, accelerators and committees took over, offering experimental opportunities unavailable with cosmic rays and depriving us of the ski slopes of Plateau Rosa and Berthoud Pass, and perhaps decreasing our candor also in other respects.  
(Piccioni 1983)



Nessuno dei tre protagonisti di questa storia ha mai ricevuto il Nobel, anche se la loro candidatura al premio è stata più volte avanzata. Rimane il rilievo dei loro risultati nella storia della fisica delle particelle. Ma rimane anche, per la storia del nostro paese, il rilievo che questa vicenda assume qualora la si consideri nel contesto in cui si è sviluppata. Bisogna tornare, per questo, alla Roma degli anni della guerra e al clima in cui si svolgeva la ricerca in quegli anni: con Amaldi che faceva lezione alle sei e mezza del mattino, per permettere ai giovani ufficiali in servizio – come Pancini e Piccioni – di frequentare i corsi di fisica nucleare; con l’istituto di fisica sotto le bombe; con Piccioni che dopo l’8 settembre cercava di passare la linea del fronte per raggiungere le truppe alleate, veniva catturato e riusciva ad uscire di prigione per tornare alla sua elettronica nello scantinato del Virgilio; con Conversi che costruiva un trasmettitore per incitare i romani alla rivolta armata contro i tedeschi; con le notti passate a controllare il ticchettio dei contatori, nella preoccupazione di dover ancora una volta tornare a casa durante il coprifuoco; con le notizie, che giungevano tra una presa dati e la successiva, del rastrellamento del ghetto il 16 ottobre 1943, dell’attentato di via Rasella e dell’eccidio delle Ardeatine nel marzo 1944. Che in queste circostanze sia stato possibile anche soltanto “cominciare un notevole esperimento” è di per sé un fatto su cui merita riflettere, perfino al di là dei pur notevoli risultati cui quell’esperimento ha condotto.