

Bruno Maximovich Pontecorvo.

(i suoi primi anni in Russia)

Bruno Pontecorvo nasce a Marina di Pisa il 22 agosto 1913.

Per il centenario della sua nascita in Italia sono stati organizzati alcuni importanti eventi per ricordare la vita e le opere di questo grande fisico italiano del XX secolo.

Un primo evento **“The Legacy of Bruno Pontecorvo: the Scientist and the Man”** (<http://www.roma1.infn.it/pontecorvo/>) si è tenuto a Roma l'11 e il 12 settembre a cui è intervenuto anche il Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano. Al convegno erano presenti anche Gil e Antonio, due dei tre figli di Bruno Pontecorvo oltre che molti suoi nipoti e parenti. Il taglio del convegno è stato prevalentemente storico durante il quale molti scienziati di fama internazionale, tra cui anche un Premio Nobel, hanno illustrato il contributo fondamentale che Pontecorvo ha dato allo sviluppo della fisica delle interazioni deboli ed in particolare alla fisica del neutrino.

Un secondo evento **“Pontecorvo100 - Symposium in honour of Bruno Pontecorvo for the centennial of the birth”** (<http://www.pi.infn.it/pontecorvo100/>) si è tenuto a Pisa dal 18 al 20 settembre. Il taglio di questo secondo convegno è stato di tipo più scientifico tutto rivolto ad illustrare le attività di ricerca che oggi vengono svolte sulla fisica del neutrino. È impressionante il numero e la complessità degli esperimenti che sono attualmente in corso o in preparazione in tutto il mondo volti a svelare la vera natura del neutrino *“Thus the questions which might be answered in experiments based on neutrino oscillations ideology directly concern the very nature of neutrinos”* (così le domande a cui può essere data risposta con esperimenti sulle oscillazioni dei neutrini riguardano direttamente la vera natura del neutrino) scrive Pontecorvo in uno dei suoi articoli fondamentali sulle oscillazioni dei neutrini. È questa la grande eredità che Pontecorvo ci ha lasciato e che speriamo ci possa condurre alla scoperta della nuova fisica oltre la teoria consolidata del così detto “Modello Standard”.

Infine a Pisa è stata allestita la mostra **“Da Pisa a Mosca, un lungo viaggio attraverso storia e scienza”** (<http://www.pontecorvopisa.it/>) sulla vita e le opere di Bruno Pontecorvo presso La Limonaia, vicolo del Ruschi, e sarà visitabile dal 9 novembre al 22 dicembre.

La mostra oltre a ripercorrere i vari periodi della vita dell'uomo e dello scienziato inquadrandola nel difficile contesto storico in cui essa si è articolata, espone anche testimonianze e documenti originali, alcuni inediti, sulla lunga attività scientifica di Bruno Pontecorvo che con le sue idee profetiche e le sue intuizioni rivoluzionarie ha contribuito in modo decisivo allo sviluppo della fisica moderna ponendo questioni che ancora oggi sono ben lungi dall'essere risolte.

Nel quadro di queste manifestazioni in onore di Bruno Pontecorvo sono stato invitato, in rappresentanza di Pisa, a presentare al Convegno che si è svolto a Roma una relazione (<https://agenda.infn.it/materialDisplay.py?contribId=8&sessionId=1&materialId=slides&confId=6051>) su i primi anni della sua attività di scienziato in Russia. Nel preparare questa presentazione ho avuto la possibilità di leggere e studiare un documento inedito, estremamente interessante sia da un punto di vista storico che scientifico sulla vita di questo grande scienziato.

Tale documento è stato consegnato per essere esposto alla mostra di Pisa dal figlio maggiore di Bruno, Gil Pontecorvo, a Gloria Spandre ed Elena Volterrani in occasione di una loro visita, qualche mese fa, al Laboratorio di Dubna.

Il documento è un voluminoso quaderno (Fig. 1) di appunti, idee e considerazioni che Bruno Pontecorvo scrive di proprio pugno, prevalentemente in inglese, durante il primo anno e mezzo della sua attività di scienziato presso lo “Institute of Nuclear Problems” di Dubna.

Questo documento inedito è particolarmente interessante perché anche oggi poco si sa dell'attività scientifica di Bruno Pontecorvo nei primi cinque anni della sua permanenza in Russia.

Pontecorvo infatti ai primi di settembre del 1950 fa perdere le sue tracce dopo una breve vacanza con la famiglia in Italia. Di lui, della moglie e dei suoi tre figli non si sa più niente fino al 4 marzo del 1955 quando nella sede dell'Accademia Delle Scienze di Mosca tiene una conferenza stampa spiegando ai molti giornalisti esteri presenti i motivi che l'avevano portato a prendere la decisione di vivere nell'Unione Sovietica e di diventare cittadino russo.

Il giorno dopo la stampa internazionale dà grande risalto alla notizia. Si parla con grande enfasi dello scienziato italiano che ha trafugato in Russia i segreti della bomba atomica americana e che sta collaborando alla realizzazione russa della bomba all'idrogeno.

Niente di più falso, come lui stesso ripeterà più volte in molte altre occasioni.

In questo documento credo ci sia la conferma più evidente che Bruno Pontecorvo non ha mai lavorato né contribuito alla realizzazione della bomba atomica russa ma che in Russia ha solo fatto ricerca di base in fisica delle particelle elementari.

Ma procediamo con ordine.

Bruno arriva a Mosca nell'agosto del 1950 all'età di 37 anni e a fine ottobre dello stesso anno si trasferisce con la famiglia a Dubna presso lo "Institute of Nuclear Problems" dove dal dicembre del 1949 è in funzione un sincrociclotrone che all'epoca era il più potente acceleratore di particelle esistente al mondo.

Chi è Bruno Pontecorvo come uomo e come scienziato quando decide di abbandonare tutto per andare a vivere in Russia? e quali sono i motivi per cui prende questa drastica decisione? decisione che cambierà irrevocabilmente non solo tutta la sua vita ma anche quella della moglie e dei figli.

È certamente un fisico sperimentale con una grande esperienza su i più avanzati rivelatori di particelle dell'epoca ed è al tempo stesso un fisico teorico con una conoscenza profonda delle idee teoriche che si stanno sviluppando a quel tempo sulla fisica delle particelle elementari.

È inoltre un comunista convinto che crede fermamente nella possibilità di realizzare una vera società socialista fondata su un profondo senso di giustizia e di uguaglianza.

Non deve pertanto meravigliare questa sua decisione; anzi Pontecorvo deve essere stato entusiasta di avere la possibilità di fare le sue ricerche al più potente acceleratore di particelle esistente al mondo e, per di più, di andare a vivere in una società che proclamava di voler realizzare il vero comunismo.

La sua fama di geniale discepolo di Fermi lo precede e suscita grande entusiasmo tra i fisici del Laboratorio. È abitudine tra colleghi del laboratorio di chiamarsi col nome seguito dal patronimico e risulta quindi a tutti molto imbarazzante chiamarlo semplicemente Bruno, con il suo solo nome di battesimo. Il padre di Bruno si chiamava Massimo per cui decisero di chiamarlo Bruno Maximovich, nome che gli rimase per sempre.

Inizia a lavorare al laboratorio di Dubna il primo novembre del 1950, e nella prima pagina del quaderno (Fig. 2) sotto la data scritta in russo scrive in inglese una sua prima considerazione su come potrebbe essere possibile valutare l'energia del fascio di neutroni che si ottiene con il ciclotrone di Dubna (*Neutron production by cyclotron particles*).

Nelle successive otto pagine continua a scrivere le sue idee su quali siano gli esperimenti interessanti che possono essere fatti con quell'acceleratore e quali possano essere i rivelatori di particelle da utilizzare per realizzarli.

Pochi giorni dopo smette di scrivere su questo quaderno e solo alcuni mesi più tardi, il 14 settembre 1951, riprende a scrivervi capovolgendo il quaderno ed iniziando a scrivere dall'ultima pagina, la pagina numero 100 (Fig. 3).

Ha ora finalmente deciso quale esperimento vuol fare; ora è diventato uno stimato “group leader” di un piccolo gruppo di giovani fisici e ingegneri del laboratorio con la cui collaborazione può iniziare a fare gli esperimenti che ritiene più interessanti con l’acceleratore.

Con questo primo esperimento intende studiare la produzione di mesoni pi-greco con fasci di neutroni: *“Experiment on production of mesons by neutrons”* titola la pagina sotto la data del 14 settembre scritta in russo e continua descrivendo in dettaglio l’apparato sperimentale necessario per realizzarlo.

Nelle pagine successive, e fino alla fine del quaderno senza ulteriori interruzioni, descrive l’attività scientifica sua e del suo gruppo riportando giornalmente i progressi di questo e di altri successivi esperimenti, annotando i conteggi della presa dati e delle misure effettuate, commentando i risultati delle analisi dei dati raccolti e scrivendo infine le bozze dei relativi articoli che verranno poi pubblicati in russo come report interni del laboratorio.

L’ultima data che si trova sul quaderno è quella del 24 marzo 1952, poche pagine prima che termini il quaderno completando di scrivere la pagina numero 9 che, come abbiamo detto, aveva parzialmente scritto nel novembre del 1950.

Con l’acceleratore di Dubna, che può accelerare protoni fino a 460 MeV e particelle alpha (un nucleo costituito da due protoni e due neutroni) fino a 560 MeV, si possono ottenere fasci accelerati sia di protoni che di neutroni coi quali è possibile studiare le proprietà dell’interazione pione-nucleone nella produzione di pioni neutri e carichi nelle collisioni nucleone-nucleone sia su bersagli di idrogeno che di nuclei complessi. L’interesse per l’epoca nella produzione di pioni con fasci di neutroni risiedeva nel fatto che, come Pontecorvo stesso sottolinea nell’articolo di questo suo primo esperimento, fino ad allora molti esperimenti erano stati fatti sulla produzione di pioni con fasci di protoni mentre poco o nulla era stato fatto con fasci di neutroni.

Questo esperimento, e altri esperimenti simili condotti tra il 1951 e 1955, confermarono che il protone e il neutrone, che ovviamente sono due particelle diverse per quello che riguarda le loro interazioni elettromagnetiche data la diversità della loro carica elettrica, non sono due particelle diverse per le interazioni forti (quelle interazioni responsabili delle forze che tengono legati i neutroni e i protoni nel nucleo nonostante la presenza della forza elettrica repulsiva delle cariche positive dei protoni) ma sono invece la stessa particella in due stati diversi di un nuovo numero quantico chiamato spin isotopico.

Dalle pagine di questo quaderno emerge la figura di un giovane scienziato che coordina questi esperimenti e le attività del suo gruppo con competenza e grande rigore scientifico. In frequenti riunioni definisce i programmi sperimentali e assegna i compiti a tutti i membri del gruppo (Fig. 4). *Vladimir + Anatol. e Alex. devono finire il lavoro sull’esperimento H^4 nella versione attuale e scrivere un report; Adolph deve finire il lavoro sui mesoni con metodo degli indicatori radioattivi; George deve finire il lavoro sul “duty factor” del ciclotrone... etc. etc.* Spesso descrive i test e le misure da fare e come farle per verificare l’efficienza dei vari rivelatori; riporta le richieste delle ore di lavoro e le ore ottenute nell’officina meccanica del laboratorio per costruire i supporti meccanici dei rivelatori; riporta tutti i conteggi presi nell’esperimento e le tabelle dei risultati finali; e infine scrive il draft del report sull’esperimento *“Production of neutral mesons by neutrons”* (Fig. 5) che in questo caso riguarda lo studio della produzione con fascio di neutroni di mesoni pi-greco neutri (π^0) sia su idrogeno che su nuclei complessi. È questo il draft di un report scritto in russo datato 25 settembre 1952 anch’esso fornitoci per la mostra dal figlio Gil Pontecorvo (*B.M.Pontecorvo, G.I.Selivanov, RINP, 1952*) e che verrà poi pubblicato di nuovo, così come altri simili report interni, nel 1955 (*B.M.Pontecorvo, G.I.Selivanov, Dokl.Acad. Nauk SSSR, 102, 253 (1955)*).

Particolarmente interessante per capire come il giovane “group leader” Pontecorvo coordina il lavoro del gruppo è quello che scrive nel preparare quanto dirà nella riunione del

6 marzo 1952 (Fig. 6). *"In my opinion personal relations inside our group were not satisfactory" (a mio avviso le relazioni personali nel nostro gruppo non sono state soddisfacenti)* scrive Pontecorvo in modo gentile ma perentorio redarguendo severamente i suoi bravi ma ambiziosi collaboratori che non collaborano in modo corretto tra loro. Era capitato molte volte che alcuni membri del gruppo avessero chiesto aiuto su problemi di elettronica a persone di altri gruppi mentre c'era all'interno del loro gruppo G.I., persona molto competente in elettronica (*"There were many examples where members of our group, for example, went for advice in electronics to other group, while there exists in our group a very well qualified man in electronics G.I."*). Conclude pertanto in modo deciso che questo stato di cose non è accettabile e deve cambiare radicalmente per l'interesse di tutta la produzione scientifica del gruppo (*"the situation was not satisfactory and we must change it radically for the interest of the total scientific production of the group"*).

Questo problema di garantire una buona collaborazione tra i membri del gruppo ed in particolare tra l'esperto in elettronica e gli altri fisici del gruppo è considerato da Pontecorvo un problema molto importante e pertanto scrive un documento su come pensa sia possibile risolvere il problema.

Il draft di questo documento è scritto in un foglio separato e inserito tra le pagine del quaderno. Sostiene che è ormai necessario, data la complessità degli esperimenti, che lo scienziato si specializzi su particolari aspetti tecnici per quanto spiacevole questo fatto possa essere: *"The specialization in science and techniques today is a necessity, however unpleasant it may be"*. Propone poi la creazione di un gruppo di elettronici che sviluppino l'elettronica per tutti i gruppi sperimentali del laboratorio, ma, aggiunge poi, perché questa soluzione funzioni è necessario che sia garantito lo stesso stato sociale e lo stesso sviluppo di carriera tra le due diverse figure di ricercatori: *"...absolute equality of "status" between the profession in "electronics" and the profession on "nuclear physics"*.

È questo un problema tutt'altro che risolto anche ai giorni nostri, anzi è un problema ancor più serio a causa della sempre maggior complessità tecnica degli esperimenti di fisica e dell'elettronica necessaria a realizzarli; anzi il problema si è esteso anche a chi nel gruppo è esperto di hardware e a chi è esperto di software. Anche in questo aspetto sociale e psicologico Pontecorvo vedeva lontano nel futuro.

Un'altra pagina interessante, scritta addirittura in italiano, è quella in cui Pontecorvo si appunta la lista delle formule e dei calcoli che vuol discutere probabilmente in una lezione di fisica da fare ai suoi giovani collaboratori (Fig. 7): *"Dare formule approssimate per: 1) Masse in MeV (per) e (elettrone), mesone π , mesone μ , p (protone), D (deutone). 2) Relazione tra momento (MeV/c), Total energy (in MeV), Kinetic energy (in MeV), β (v/c). 3) Istruzioni per trovare β , momento, KE, Total energy quando si sa la massa di una particella e una di queste quantità. etc. etc."* Infatti nelle tre pagine successive scrive una lista di formule di cinematica relativistica e riporta i risultati del calcolo del cammino libero medio per protoni e deutoni in rame ed alluminio per vari valori dell'energia di queste particelle.

Fin da subito si manifesta la vocazione didattica di Pontecorvo che lo porterà ad essere titolare della cattedra di fisica delle particelle elementari all'Università di Mosca e ad essere un professore tra i più amati e rispettati dai suoi studenti. Molti di loro sono oggi affermati fisici a livello internazionale e parlano di lui come di un maestro e di un didatta ineguagliabile.

Tuttavia l'interesse scientifico di Pontecorvo va ben oltre questi, seppur importanti esperimenti di diffusione di nucleoni e mesoni pi-greco su nuclei, e molte delle sue riflessioni di questi anni riguardano ancora le interazioni deboli e lo studio delle così dette particelle strane.

L'interazione debole aveva da sempre affascinato Pontecorvo, alla cui comprensione aveva dato contributi fondamentali. Nel 1947, subito dopo il famoso esperimento di Conversi, Pancini, Piccioni (Phys Rev 71 (1947) 209) e la sua interpretazione fatta da Fermi insieme a Teller e Weisskopf, si capisce che il mesotrone prodotto nei raggi cosmici (la nuova particella scoperta da Anderson e Neddermeyer nel 1937) e che oggi si chiama muone non è la

particella di Yukawa che interagisce forte (il pione) perché interagisce con i nuclei dell'atmosfera in modo molto, ma molto più debole.

Dopo aver letto l'articolo di Fermi e collaboratori " *The capture of negative mesotrons in matter*" Pontecorvo pubblica l'articolo " *Nuclear capture of mesons and mesons decay*" su Physical Review (Phys. Rev. 72 (1947) 246). In questo articolo Pontecorvo osserva che le probabilità di cattura nucleare di un elettrone e di un muone sono praticamente identiche (se si tiene conto del pur grande fattore dovuto agli effetti cinematici che la diversità della massa delle due particelle comporta). Pontecorvo conclude poi l'articolo dicendo: " *there exists fundamental analogy between β - processes and processes of emission and absorption of charged mesons* " (*esiste una fondamentale analogia tra i processi del decadimento β ed i processi di emissione ed assorbimento dei mesoni carichi, i muoni*).

Per primo quindi Pontecorvo concepisce l'idea fondamentale dell'universalità muone-elettrone ($\mu-e$) nell'interazione debole, idea che è la base fondante di tutta la teoria delle interazioni deboli.

Non stupisce quindi che nei primi anni cinquanta, quando Pontecorvo è a Dubna, sia fortemente interessato al comportamento delle così dette particelle strane. Queste particelle instabili, da poco scoperte in esperimenti con i raggi cosmici (*G.D.Rochester, C.C.Butler, Nature 160,855 (1947)*), vengono prodotte con probabilità elevata tipica delle interazioni forti e decadono invece con vite medie relativamente lunghe (10^{-8} - 10^{-10} sec), il che induce a pensare che le interazioni deboli siano le forze responsabili del loro decadimento. Ma perché, se queste particelle vengono prodotte nell'interazione forte dei raggi cosmici con i nuclei dell'atmosfera e quindi sono soggette all'interazione forte, non decadono con vite medie tipiche dei decadimenti forti?

Per risolvere questo problema A. Pais nel 1952 ipotizza che queste particelle strane quali il mesone K e l'iperone Λ^0 debbano essere prodotte in coppia; ciò verrebbe spiegato dall'esistenza di un nuovo numero quantico, successivamente chiamato stranezza, che viene conservato nelle interazioni forti ma non nelle interazioni deboli.

Sappiamo che Pontecorvo in quegli stessi anni, come testimonia V.P. Dzhelepov l'allora direttore del laboratorio di Dubna e come afferma lui stesso in un articolo del 1955 ma con riferimento a report interni precedenti (*B.Pontecorvo, JETP, 1955, vol.29, p.140, with quotations on previous papers.*), predice sulla base di semplici argomenti e indipendentemente da Pais, che la produzione degli iperoni Λ debba avvenire in coppia con i mesoni pesanti (i K).

Nella pagina 8 di questo quaderno (Fig. 8), scritta poco dopo il primo novembre 1950, e quindi ben due anni prima dell'articolo di Pais, Bruno Pontecorvo asserisce che la contraddizione tra l'esistenza di una particella che interagisce forte e la sua lunga vita media può essere risolta con l'ipotesi che questo tipo di particelle vengano prodotte in coppie " *...there is a contradiction between the existence of a strong interacting particle and his long lifetime. This contradiction, of course, is resolved if the strongly interacting particle is produced in pair.*"

È questa una profonda intuizione che porta Bruno nel 1953 a proporre e realizzare un esperimento all'acceleratore del laboratorio di Dubna per verificare se la sua ipotesi è vera, e cioè che non è possibile produrre iperoni Λ^0 singoli in una interazione forte tra protoni e nucleoni non essendo l'energia dell'acceleratore sufficiente a produrli in coppia con i mesoni K. I risultati dell'esperimento " *The possibility of the formation of Λ^0 -particles in collisions of 670 MeV protons with carbon nuclei*" (Baladin M.P., Balashov B.D., Zhukov V.A., Pontecorvo B.M., Selivanov G.I. Report of the Inst. for Nuclear Problem, Acad.Sci. USSR, 1954) confermarono la sua ipotesi.

Successivamente al Cosmotron di Brookhaven e al Bevatrone di Berkeley, grazie alle energie sufficientemente elevate di questi acceleratori, fu possibile dimostrare che la produzione di K e di iperoni avviene in coppia, dimostrando così che l'interazione forte

conserva la stranezza e che solo l'interazione debole può violare questo numero quantico in decadimenti che pertanto risultano a vita media lunga.

Queste ricerche di Pontecorvo sulle particelle strane non vengono mai, o quasi mai, citate come un suo contributo importante a quelle idee che porteranno poi allo sviluppo del modello a quarks e successivamente del Modello Standard delle particelle elementari.

Come dimostra ora quello che è scritto a pagina 8 di questo quaderno, Bruno è stato il primo ad avere l'intuizione che il comportamento contraddittorio di queste particelle strane può essere spiegato dall'ipotesi che esse vengono prodotte in coppie.

Sfortunatamente questa idea rimase nascosta in questo quaderno e in successivi report interni scritti in russo, non accessibili per molto tempo alla comunità dei fisici al di fuori dell'Unione Sovietica.

Ma c'è un'altro elemento estremamente interessante in questa stessa pagina 8 del quaderno che fa supporre che già nel 1950 Pontecorvo sospettasse che i due neutrini del decadimento del muone in elettrone e due neutrini ($\mu \rightarrow e + 2\nu$) fossero due particelle di natura diversa, ben dodici anni prima che questo fatto fosse provato sperimentalmente. Infatti dopo aver scritto che *"a consistent picture until now would be: $\mu \rightarrow e + 2\nu$ "* (un quadro consistente fino ad oggi sarebbe che $\mu \rightarrow e + 2\nu$), poche righe più in basso, verso la fine della pagina, riscrive il decadimento come $\mu \rightarrow e + \nu + \nu$ indicando i due distinti neutrini con due segni diversi.

Otto anni più tardi, nel 1958, a Dubna prende forma il progetto di costruire un ciclotrone di alta intensità capace di accelerare protoni fino a 800 MeV. È questa una buona occasione per Pontecorvo di dimostrare che i due neutrini presenti nel decadimento del μ non sono lo stesso tipo di particella così come il neutrino/anti-neutrino del decadimento dei pioni ($\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu / \text{anti-}\nu_\mu$) è di natura diversa dall'anti-neutrino del decadimento β , del decadimento cioè del neutrone in protone + elettrone + anti-neutrino. Scrive allora l'articolo *"Electron and Muon Neutrino" (J.Exptl. Theoret.Phys.37 (1959) p.1751)* dove propone una lunga serie di reazioni indotte da neutrini (o antineutrini) che non possono avvenire se i due neutrini sono di natura diversa, uno associato all'elettrone (ν_e) e l'altro associato al muone (ν_μ), così come lo sono i corrispondenti anti-neutrini. Sono semplici argomenti di simmetria tra i leptoni carichi (l'elettrone ed il muone che sono particelle ben diverse tra loro) e i corrispondenti leptoni neutri (i neutrini) che spingono Pontecorvo ad intuire che debbano esistere due diversi tipi di neutrini il ν_e e il ν_μ . *"There are no reasons for asserting that ν_e and ν_μ are identical particles"* (non c'è nessun motivo per asserire che il ν_e e il ν_μ siano due particelle identiche) asserisce nell'articolo e continua poi con una serie di considerazioni che invece favoriscono l'ipotesi della diversità dei due neutrini.

In particolare propone poi di usare un fascio di anti- ν_μ (ottenuto dai decadimenti dei mesoni π prodotti col nuovo potente acceleratore in progetto) per dimostrare che la reazione anti- $\nu_\mu + p \rightarrow e^+ + n$ è proibita mentre la reazione anti- $\nu_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$ sarebbe possibile.

Purtroppo il progetto di Dubna di costruire un acceleratore di protoni a 800 MeV di alta intensità non andò in porto e quindi Pontecorvo non poté realizzare l'esperimento.

Un simile esperimento fu invece realizzato tre anni più tardi al Brookhaven AGS da G. Danby et al. (Phys. Rev. Lett. 9 (1962) 36) e fu dimostrato che in effetti $\nu_e \neq \nu_\mu$.

Per questa scoperta L.M.Lederman, M.Schwartz and J.Steinberger furono insigniti del Premio Nobel nel 1988.

Come riconoscimento che fu Bruno Pontecorvo ad avere avuto per primo l'intuizione di questo importante fatto fisico e per aver proposto per primo un esperimento per dimostrarlo, sulla lapide della sua tomba è stata incisa l'epigrafe $\nu_\mu \neq \nu_e$.

Quando nel '50 arriva in Russia ha già dato contributi decisivi per la comprensione di questa elusiva particella battezzata da Fermi "neutrino". Nel 1945, quando Pontecorvo era in

Canada al Chalk River Laboratory aveva proposto un metodo geniale per rivelare i neutrini, cosa che all'epoca si riteneva impossibile.

Nel 1934 Bethe e Peierls (Nature 133, 689, 1934) avevano valutato che i neutrini, a causa della loro bassissima probabilità di interagire con la materia, potevano penetrare ben 10^{16} Km (corrispondenti a ~ 1000 anni luce) di materia solida prima di interagire o, equivalentemente, che solo un neutrino su 10^{11} neutrini avrebbe interagito nell'attraversare la terra da una parte all'altra (avevano calcolato un valore della sezione d'urto $\sigma < 10^{-44}$ cm²). Concludevano poi il loro articolo affermando che è assolutamente impossibile rivelare direttamente i neutrini prodotti in trasmutazioni nucleari: *"it is therefore absolutely impossible to observe processes of this kind with neutrinos created in nuclear transformations"*.

Nel 1945 Pontecorvo, con un'idea assolutamente geniale, in un Report Interno dei Laboratori di Chalk River (*"On a method for detecting free neutrinos"*, Chalk River, 1945, P.D.-141) sostiene invece che rivelare direttamente il neutrino è possibile nonostante la sua infinitesimal probabilità di interagire con la materia. Un anno dopo, in un secondo Report (*"Inverse β process"*, Chalk River, 1946, P.D.-205) di nuovo propone di rivelare il neutrino col così detto processo inverso del decadimento beta, il processo cioè in cui un neutrino interagisce con un neutrone di un nucleo di carica Z , il neutrone si trasforma in un protone con l'emissione di un elettrone, e conseguentemente il nucleo diventa radioattivo con carica $Z+1$. In questo rarissimo processo (di probabilità piccolissima come calcolato da Bethe e Peierls) Pontecorvo stesso asserisce che l'emissione diretta del singolo elettrone in pratica non è rivelabile: *"it is true that the actual β transition involved, i.e., the actual emission of a β particle in process $\nu+Z \rightarrow \beta+Z+1$ is certainly not detectable in practice"*, ma aggiunge anche che è possibile rivelare gli atomi radiattivi prodotti nell'irraggiamento con neutrini di una grande quantità di materiale opportunamente scelto grazie alle differenti proprietà chimiche della nuova sostanza radiattiva che viene prodotta: *"However, the nucleus of charge $Z+1$, which is produced in the reaction may be (and generally will be) radioactive with a decay period well known..... The essential point, in this method, is that radioactive atoms produced by an inverse beta-ray process have different chemical properties from the irradiated atoms. Consequently it may be possible to concentrate the radioactive atoms from a very large irradiated volume."*

Pontecorvo nel suo articolo suggerisce poi di usare la reazione $\nu+^{37}\text{Cl} \rightarrow ^{37}\text{Ar}+e^-$; di irraggiare quindi una grossa quantità di Clorine (un materiale molto comune spesso usato come smacchiatore) con un'intensa sorgente di neutrini, di separare successivamente l'Argon-37 radiattivo prodotto e rivelare poi la cattura di un elettrone da parte del nucleo di Argon-37 che ritorna Cloro-37 (il nucleo da $Z+1$ ritorna a Z) misurando l'elettrone (o il raggio X) emesso dall'atomo Cloro-37 eccitato che torna allo stato fondamentale.

È a questo metodo di rivelazione diretta dei neutrini a cui chiaramente si riferisce Pontecorvo quando, alla fine del 1951 nella pagina n. 76 del quaderno, commenta alcune delle attività svolte dal suo gruppo durante l'anno che è appena terminato (Fig. 9).

Inizia la pagina scrivendo in alto a destra proprio la reazione Cloro-Argon ($\nu+^{37}\text{Cl} \rightarrow ^{37}\text{Ar}+e^-$) che aveva proposto di usare nel suo articolo del '46; subito prima scrive anche quella distanza astronomica di 10^{16} Km che i neutrini secondo i calcoli di Bethe e Peierls possono percorrere nella materia prima di interagire. Mi immagino che Pontecorvo nello scrivere questa enorme distanza stia valutando quanto grande debba essere la quantità di Clorine necessaria per rivelare una così elusiva particella come il neutrino.

Scrive poi che durante l'anno, in un seminario, è stato discusso nel gruppo il problema di rivelare direttamente i neutrini e aggiunge che la conclusione è stata che ormai non è più troppo remota la possibilità di avere i mezzi necessari per realizzare l'esperimento; e su questo è stato scritto un breve report: *"At the seminaire a method was discussed the problem of the detection of free neutrinos,..... The conclusion is that such possibility is not too far from present day facilities. A short report on this subject was written"*.

È evidente da questa pagina che già alla fine del 1951 Pontecorvo pensa di essere ormai in grado di rivelare il neutrino. Sarebbe veramente interessante poter trovare lo "short report" a cui si riferisce per capire come e dove ritenesse possibile fare questo esperimento in Russia.

Sfortunatamente questa possibilità per lui non si concretizzò mai, forse perché, come testimonia il fisico russo S.S.Gershtein, gli era perfino negato l'accesso ai reattori nucleari che, come Pontecorvo aveva scritto nel suo articolo, sembravano essere la sorgente di neutrini più promettente per l'esperimento.

Tre anni più tardi, nel 1954, R. Davis cercò di utilizzare per la prima volta questo metodo esponendo 3900 litri di Clorine al reattore nucleare di Brookheven; successivamente espose ben 11.400 litri di Clorine al più potente reattore nucleare di Savannah River senza riuscire a rivelare la reazione Cloro-Argon. Fu questa la prima indicazione sperimentale che i reattori nucleari sono sorgente di antineutrini e non di neutrini.

L'anno prima, nel 1953, F. Reines and C.L.Cowan Jr. avevano già iniziato ad utilizzare, come aveva proposto Pontecorvo nel suo articolo, i reattori nucleari come intensa sorgente neutrinica. Finalmente, nel 1960, riuscirono a rivelare direttamente in maniera inequivocabile gli antineutrini che venivano emessi dal reattore di Savannah River anche se con una tecnica di rivelazione diversa da quella proposta da Pontecorvo.

Per questa scoperta, nel 1995, purtroppo dopo la morte di C.L. Cowan Jr., F. Reines fu insignito del Premio Nobel

Pontecorvo, sempre nel suo articolo del '46, aveva proposto anche il sole come possibile sorgente per realizzare l'esperimento per rivelare i neutrini. Venti anni più tardi R. Davis utilizzò proprio questo metodo per rivelare i neutrini emessi dal sole installando un rivelatore di 378.000 litri di Clorine nella miniera di Homestake nel South Dakota e scoprendo così un vistoso deficit nel flusso dei neutrini rispetto al flusso che ci si aspettava fosse emesso dal sole. Nasce così il famoso problema del deficit dei neutrini solari che proprio Pontecorvo, nel suo famoso articolo "*Inverse beta processes and non-conservation of lepton charge*" (*J.Exptl. Theoret. Phys, 34, 247 (1958)*), aveva previsto più di dieci anni prima con quella che è certamente stata la sua più grande e ardita intuizione: l'oscillazione dei neutrini. Nell'articolo asserisce infatti che tale fenomeno doveva essere certamente osservabile almeno su distanze astronomiche come la distanza terra-sole: "...it will certainly occur, at least, on an astronomical scale".

Nel 2002 R. Davis fu insignito del Premio Nobel.

Appare chiaro che Pontecorvo, da quello che scrive in questa pagina del quaderno, avrebbe potuto e voluto fare questi esperimenti già nel 1951 se solo avesse avuto la possibilità di accedere alle risorse che riteneva che fossero ormai disponibili in Russia.

Credo quindi che dalla testimonianza di questo quaderno risulti ancor più evidente, se mai ci fossero stati dei dubbi al riguardo, che Bruno Maximovich Pontecorvo avrebbe meritato più di un Premio Nobel. Naturalmente fu insignito dei più prestigiosi riconoscimenti dell'Unione Sovietica: nel 1963 gli fu assegnato il Premio Lenin e nel 1964 divenne membro dell'Accademia delle Scienze dell'Unione Sovietica.

Purtroppo l'esser vissuto in Russia, a Dubna, e il non aver avuto quindi a disposizione acceleratori di particelle sufficientemente potenti, né aver avuto accesso ai reattori nucleari russi, né aver avuto le risorse necessarie per costruire i necessari apparati sperimentali gli hanno impedito di concretizzare le sue profetiche idee teoriche in altrettanti esperimenti di successo, esperimenti che hanno invece permesso a molti altri fisici di essere insigniti del Premio Nobel.



Figura 1: Il quaderno di appunti

^{120}Mg Hodson

- Neutron production of cyclotron particles - 1

In the experiment with the water tank, one can get an idea of the neutron energy by measuring the space distribution of neutrons (for example measure $(\text{R}^2)_{\text{Av}}$). A comparison at different energies is interesting. R^2_{Av} would be probably representative of the "evaporation" process, while the ~~mean~~ relaxation length would be probably characteristic of the "knock on" process.

Figura 2: La prima pagina del quaderno

14 Gennaio

Experiment on production of mesons by neutrons:

1) π^0

- It is necessary:
- 1) the "radiator" R
 - 2) the "converter" C
 - 3) the "absorber" A between ^{the} last counter
 - 4) the absorber of positron T

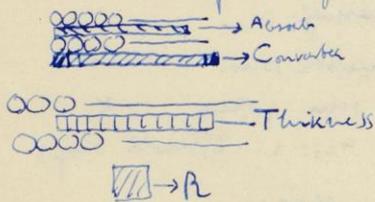
R \Rightarrow The radiator must be a "sphere" of diameter \approx m.f.p. for γ . ^{or (width of side)} Ist exp: Diameter 10 cm approx. *

C \rightarrow The converter must be 1 cm Pb, area equal \times to the ^{total} counter trap area.

A \rightarrow The absorber between counters must be 1 cm ^{Al} ~~Al~~, \times area equal to the trap counter. ^{total}

T \rightarrow Must be about 1 cm thin of Pb and 1 cm thin of Cu (to see that the radiation is ^{by} ~~total~~ trap counter) \times

The geometry as follows:



The detaching counters (for away) are the ^{total} trap to increase the coincidence efficiency.

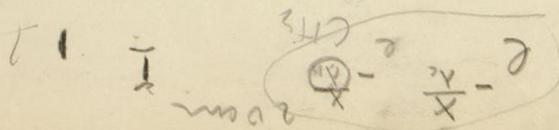


Figura 3: Il primo esperimento

- Production of neutral mesons in $n-p$ collisions -

- Schema:
- A) Introduction B) Apparatus C) Absolute experiment in $n-p$ D) Relative measurements
E) Relative measurements F) Discussion in relation to production of mesons G) Conclusions - spectrum

Introduction -

While ^{writes} ~~it is~~ ^{from accelerator} considerable amount of data have been published ⁽¹⁾ in the last years on the production of ~~charged~~ mesons by protons. The ~~subject~~ ^{production} of ~~charged~~ mesons by neutrons has been so far only the object of a short communication ⁽²⁾ and the production of neutral mesons by neutrons ~~so far~~ ^{has} not been observed. The following table summarizing the present day information on this subject.

Table I

It ~~is clear~~ ^{may be seen} from this table that production of charged and neutral mesons in ~~$n-p$~~ ^{$n-p$} collisions has not yet been observed, and ~~even~~ ^{even} in complex nuclei ~~the~~ ^{the} production of neutral mesons by neutrons has not yet been observed. For this reason,

Because of the absence of data on this subject, it was ~~rather~~ ^{a considerable} presents ~~some~~ ^{interests}. In the present work we report experiments we ~~have~~ ^{are} making utilizing the neutrons from the synrocyclotron of our laboratory, we have investigated (and observed, for the first time), the production of neutral mesons in Hydrogen and complex nuclei by neutrons. The ~~production~~ ^{investigation} of neutral mesons in hydrogen ~~is of this~~ will be described in a separate report, while the production in complex nuclei is the object of the present report, which is divided in 2 parts. 1) ~~Determined~~ ^{Relative} cross sections for the production of π^0 by neutrons were measured in Be, C, Al, Fe, Cu, In, Pb, and ~~also~~ ^{also} ~~in~~ ⁱⁿ ~~hydrogen~~ ^{hydrogen}.

Figura 5: Draft del primo articolo

March 6, 1952

We have this meeting in relation to some reorganization of our group. The first thing is that there is a new addition. The second is that we must have internal discussions more frequently. For this we will make a ~~seminar~~ ^{seminar} every week, of 2^h, on Thursday at 6^h. This seminar will be on informal arguments and will have 2 parts: a) Briefly ~~each~~ ^{each} member of group will describe the progress of the week.

b) There will be a brief mention of what ~~has been the progress in the week~~ is interesting in the week's new ~~our own foreign~~ ^{our own foreign} ~~found~~ ^{found} ~~of papers.~~

The third is the most important thing that we have to discuss. In my opinion personal relations inside our group were ~~not~~ ^{not} satisfactory. ~~There~~ ^{There} were many examples where members of our group, for example, went for advice ^{in consultation} to other group, while there exist in our group a very well qualified man ^{in laboratory} ~~and I~~ ^{and I} ~~in~~ ⁱⁿ ~~general~~ ^{general} speaking our group, because of these relations, could not make use of the ~~full~~ ^{full} ~~possibilities~~ ^{possibilities} of ~~working~~ ^{the group}. ~~What~~ ^{on the part of a group} ~~I think~~ ^{we must not discuss} ~~now~~ ^{now} whose is fault. And also we must not discuss, in general, the past. ~~The only~~ ^{The only} ~~thing~~ ^{thing} in which we must agree, is ~~to forget~~ ^{to admit} ~~to~~ ^{to} ~~admit~~ ^{admit} that the situation was not satisfactory and ~~we~~ ^{that} ~~must~~ ^{we} ~~forget~~ ^{must} ~~change~~ ^{change} it radically. ~~How~~ ^{How} can we change it radically, for the ~~good~~ ^{interest} of the total scientific production of the group? ~~For this is~~ ^{For this is} ~~also~~ ^{also} ~~the~~ ^{the} ~~interest~~ ^{interest} of each ~~individual~~ ^{individual}. ~~It is~~ ^{It is} ~~necessary~~ ^{necessary} that it is established those collaboration in our group. What does this

Figura 6: La riunione di gruppo

Due formule approssimate per:

- 1) Massa in MeV e , m , π , m , μ , π D
- 2) Relazione tra momento (MeV/c), Total energy (in MeV), Kinetic energy (in MeV), β
- 3) Istruzioni in un programma per trovare β , momento, KE, Total Energy quando si ha la massa di una particella e una di queste quantità

- 4) ~~Range~~
- 5) Prossimità
- 6) Momenta: relativistiche

88

Figura 7: La lezione

On the transformations of mesons

The Σ meson has a long life $\approx 10^{-9}$ sec, and is supposed to decay into $\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$. If this is so, it must be concluded that Σ does not interact with nuclei, because, if the Σ interacts with nuclei, then the rate of the ~~reaction~~^{disintegration} would be very fast. (through the interaction with nucleons of the vacuum) Let us suppose that it does not interact strongly. Since it is strongly produced, it must be produced as a decay product of a strongly interacting meson M_0 . But this M_0 then would decay into π quicker than in Σ . So there is a contradiction between the existence of a strongly interacting particle, and its long lifetime. This contradiction, of course, is resolved if the strongly ^{interacting} particle is produced in pairs. So from the very fact that Σ mesons have a long life, it can be concluded

b) that they are present in abundance, we can conclude that there are ~~mesons~~ ^{mesons (not necessarily Σ mesons)} which are strongly produced in pairs. A consistent picture until now would be:

$$\mu \rightarrow e + 2\nu$$

$$\pi \rightarrow \mu + \nu$$

$$\Sigma^+ = K^+ = V^+ \rightarrow \begin{cases} \mu + 2\nu \\ \mu^+ + \pi^+ + \pi^- \\ \mu^+ + \pi^0 \end{cases}$$

question no other mesons that π mesons have been produced.

~~the stability~~

$$V_0 \text{ meson} \Rightarrow \pi^+ + \mu^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^- \text{ ?}$$

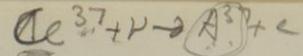
$$V_0 \text{ meson} \Rightarrow \mu + \pi^-$$

$$\boxed{\mu \rightarrow e + \nu + \nu}$$

Figura 8: Due grandi intuizioni

38 On the charge symmetry - on the charge symmetry -

$$c \ 10^{16} \text{ km}$$



A. Alex. -

Observations

In the course of this year several remarks or proposed experiments were made in the 62 group, of which it is possible to mention some.

1) ~~At~~ the ~~seminaire~~ ~~method~~ was discussed ~~for~~ ~~into~~ the problem of the detection of free neutrons, i.e. of ~~the~~ ~~detection~~ of neutrons ^{which} is not connected with the act of a β decay (like the classical experiment of Leipun). The conclusion is that such possibility is not too far from present day frontiers. A report on this subject was written.

2) ~~Life time of~~ ~~the heavy mesons~~ - ~~possible~~ ~~experiment on~~ ~~mesons~~. In photographic plates it was observed.

(3) Lifetime etc

Figura 9: Come rivelare il neutrino