

Bruno Maximovich Pontecorvo

i due quaderni di appunti durante il primo anno e mezzo di lavoro a Dubna



È stato per noi un grande piacere aver avuto la possibilità di ricostruire le attività di ricerca che Bruno Maximovich Pontecorvo ha svolto presso lo Institute of Nuclear Problems durante i suoi primi anni di lavoro in Russia.

Questa ricostruzione è stata possibile grazie a due quaderni inediti di appunti che Gil Pontecorvo, il figlio maggiore di Bruno, ci ha gentilmente permesso di leggere e studiare.

Caffè della Scienza
Livorno, 9 Ottobre 2015

Rino Castaldi and Gloria Spandre
INFN-Pisa

Una nuova vita per Bruno Pontecorvo in Russia

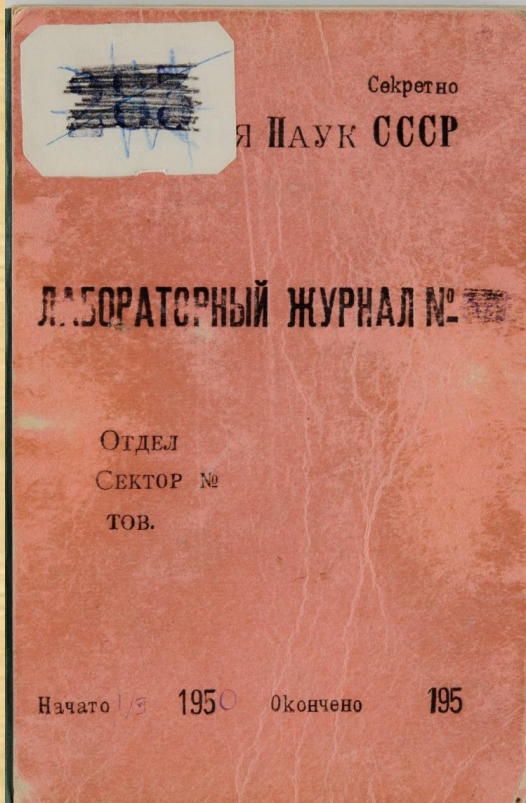
Pontecorvo alla fine di agosto del 1950, dopo una breve vacanza in Italia con la famiglia, fa perdere le sue tracce. Di lui, della moglie e dei suoi tre figli non si sa più niente fino al 4 marzo del 1955 quando nella sede dell'Accademia Delle Scienze di Mosca tiene una conferenza stampa annunciando a giornalisti esteri i motivi che l'avevano portato a prendere la drastica decisione di andare a vivere nell'Unione Sovietica, decisione che cambierà irrevocabilmente non solo tutta la sua vita ma anche quella della moglie e dei figli.

Il giorno dopo la stampa internazionale ed in particolare quella italiana danno 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 più volte ripeterà in molte altre successive occasioni.

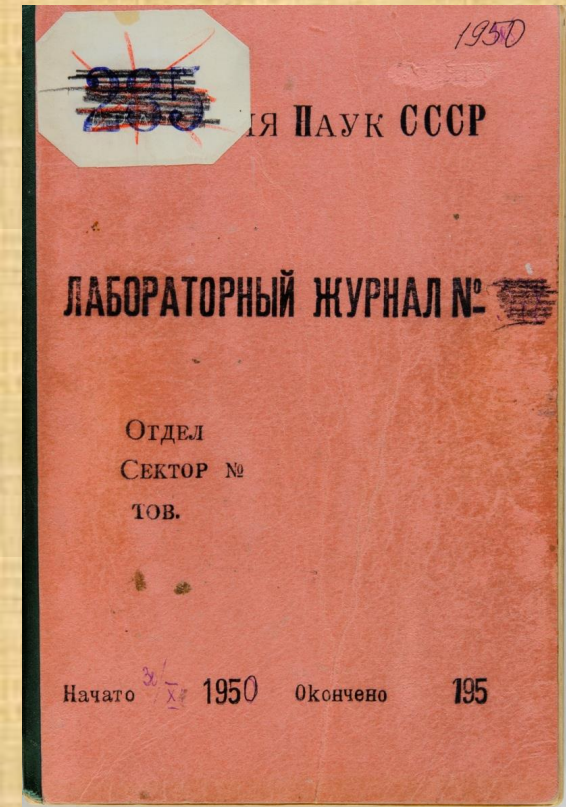


Una nuova vita per Bruno Pontecorvo in Russia

Grazie a Gil, il maggiore dei figli di Bruno, abbiamo avuto la possibilità di leggere e studiare due documenti inediti estremamente interessanti sia da un punto di vista storico che scientifico sulla vita di questo grande scienziato italiano del XX secolo. Questi documenti inediti sono particolarmente ineteressanti perché poco si sa della attività scientifica di Bruno Pontecorvo nei primi anni della sua permanenza in Russia.



Questi documenti sono due voluminosi quaderni di appunti, idee, progetti e risultati di esperimenti di fisica 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.



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

Attraverso la preziosa documentazione di questi due quaderni inediti (anche se, come vedremo, Pontecorvo molto spesso più che scriverci ci scarabocchia formule, numeri e grafici disordinati) abbiamo potuto ricostruire gli interessi scientifici, il lavoro sperimentale, la personalità e anche alcune grandi intuizioni che questo grande scienziato ha avuto nel suo primo anno e mezzo di permanenza in Russia.

... Ma procediamo con ordine ...

Chi è Bruno Pontecorvo come uomo e come scienziato quando, nel settembre del 1950 all'età di 37 anni decide di abbandonare tutto per andare a vivere in Russia?

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.

Persona che crede fermamente nel Comunismo

Bruno Pontecorvo è un comunista convinto che crede in una vera società socialista ispirata ad un profondo senso di giustizia e di eguaglianza:

"Le mie opinioni politiche sono di sinistra.

In origine esse erano dovute soprattutto al mio odio per il fascismo e, io penso ora, al senso di giustizia inculcatomi da mio padre....., opinioni dominate da una categoria non logica che io chiamo adesso "religione", una specie di "credo fanatico"....."

Scrive queste frasi in una nota autobiografica del 1988 per la "Enciclopedia della Scienza e della Tecnica" (Arnoldo Mondadori Editore).

Quando scrive questa nota, nonostante tutto quello che era successo in Russia, è ancora convinto che con la "Perestroika" di Mikhail Gorbachev l'Unione Sovietica diventerà una vera democratica società socialista *"fondata su leggi avanzate e sui diritti dell'uomo"*.



Bruno e il comunismo come visto da Misha Bilenky

Fisico teorico con una visione profetica delle interazioni deboli

Subito dopo l'esperimento di Conversi, Pancini e Piccioni e l'interpretazione datane da Fermi, Teller and Weisskopf, Pontecorvo scrive nel suo famoso articolo del '47:

"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", cioè i muoni).

Pontecorvo per primo concepisce l'universalità muone-elettrone (μ - e) nell'interazione debole

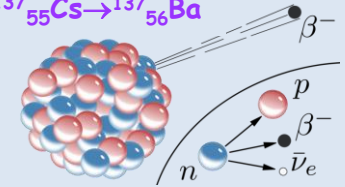
Questa idea è la base fondante di tutta la teoria delle interazioni deboli



Un bravo tennista che gioca con l'universalità e - μ sotto la Torre di Pisa: lo vede così Misha Bilenky



Nucleo radiattivo
 $^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba}$



e-antineutrino

Riassumendo:

i costituenti fondamentali della materia sono i fermioni

Quarks

Leptoni

Le generazioni di materia

Generazione	Quark	Leptoni
I	up, down	e - neutrino, elettrone
II	charm, strange	μ - neutrino, muone
III	top, bottom	τ - neutrino, tau

- Tutta la materia visibile è composta dalle particelle di prima generazione
- Tutte le particelle di seconda e terza generazione sono instabili e decadono rapidamente in particelle di prima generazione
- Inoltre si identificano tre classi di decadimenti corrispondenti a tempi diversi con cui essi avvengono e che dipendono dall'intensità dell'interazione responsabile del decadimento:
 - ✓ **Interazione forte:** le particelle decadono in tempi di circa 10^{-20} secondi o inferiori
 - ✧ Esempio: $\Delta^{++} \rightarrow p\pi^+$
 - ✓ **Interazione elettromagnetica:** le particelle decadono in tempi intorno ai 10^{-15} secondi
 - ✧ Esempio: il pione neutro $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
 - ✓ **Interazione debole:** le particelle decadono in tempi di 10^{-10} secondi e superiori
 - ✧ Esempio: i pioni carichi $\pi \rightarrow \mu\nu$, i kaoni $K \rightarrow \pi e\nu$

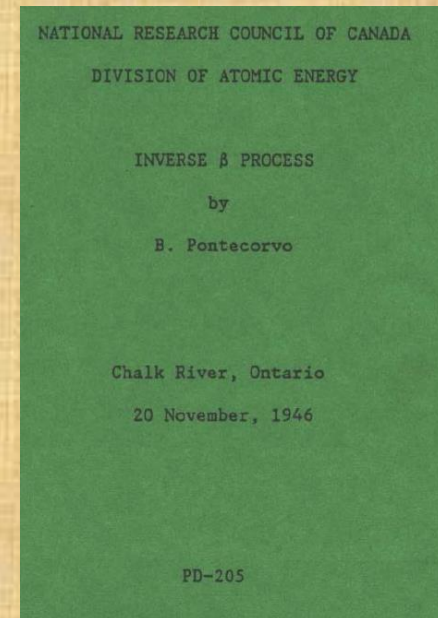
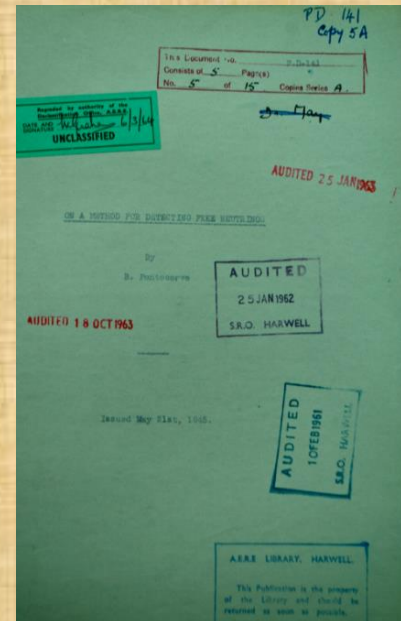
Uno fisico sperimentale con idee e intuizioni geniali

Nel 1934 Bethe e Peierls (Nature 133,532,1934) 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. Concludevano poi il loro articolo affermando "*it is therefore absolutely impossible to observe processes of this kind with neutrinos created in nuclear transformations*". **"È assolutamente impossibile osservare processi di questo tipo con neutrini prodotti in reazioni nucleari"**

Nel 1945 Pontecorvo, quando era in Canada, trova il modo di risolvere il problema e propone di rivelare i neutrini rivelando la reazione:



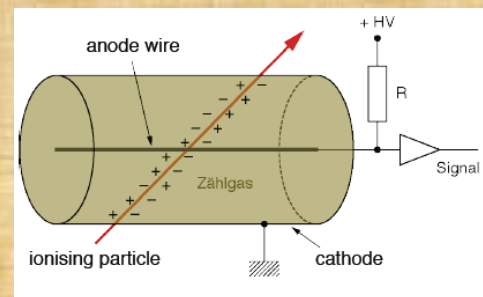
È un'idea geniale che solo dopo molti anni verrà ripresa e messa in pratica da altri che per questo otterranno il premio Nobel.



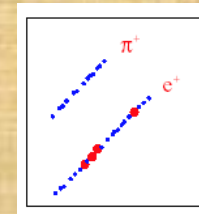
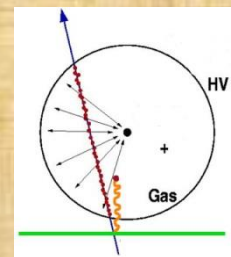
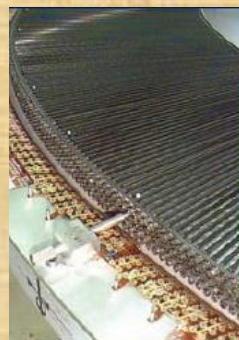
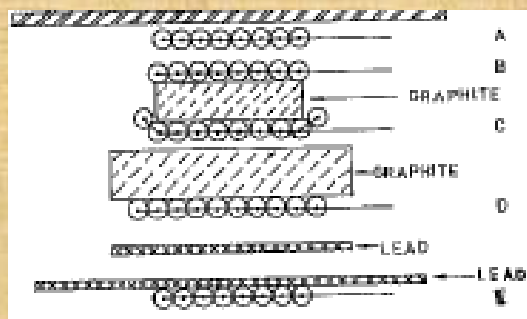
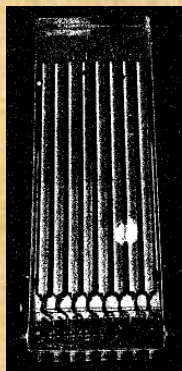
Rapporti interni PD-141 e PD-205. Vengono dichiarati "documenti segreti" perché si teme che possano servire per misurare la potenza dei reattori nucleari.

Fisico sperimentale esperto dei più avanzati rivelatori di particelle

Quando nel '50 arriva in Russia Pontecorvo ha appena pubblicato un articolo di rivista ("Recent development in proportional counter technique, *Helv.Phys.Acta*,1950, vol 23,p.97) sui rivelatori a gas proporzionali con alta amplificazione. Il rivelatore a gas che descrive in questo articolo non è molto diverso dai moderni rivelatori a gas che si usano oggi.



Per esempiop, questi tubi a gas sono molto simili ai così detti "straw tubes" di 4 mm con i quali ATLAS ha costruito il grande rivelatore TRT a LHC !



Tubi proporzionali a gas usati da Pontecorvo

"Straw tubes" a gas proporzionali usati da ATLAS

Un fisico brillante sia come teorico che come sperimentale

Pontecorvo, da buon fisico sperimentale, decide di rispondere alle domande che come teorico pone a se stesso.

Con una serie di esperimenti realizzati in collaborazione con E.P.Hincks ottiene le risposte alle sue domande:

- Nel decadimento del muone la particella carica è un elettrone
- Il decadimento è cinematicamente consistente con un decadimento in un elettrone e due neutrini
- Non ci sono fotoni di alta energia nel decadimento del muone, cioè non si osserva nessun decadimento $\mu \rightarrow e + \gamma$

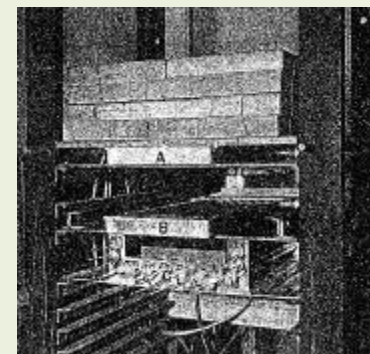
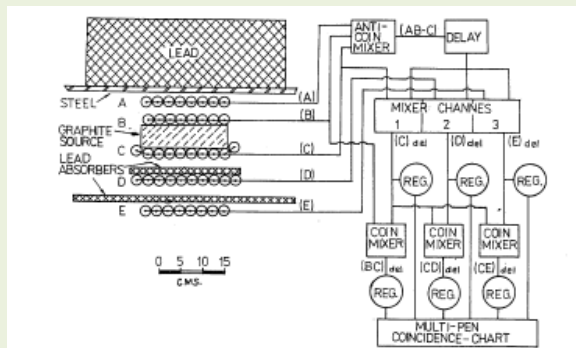
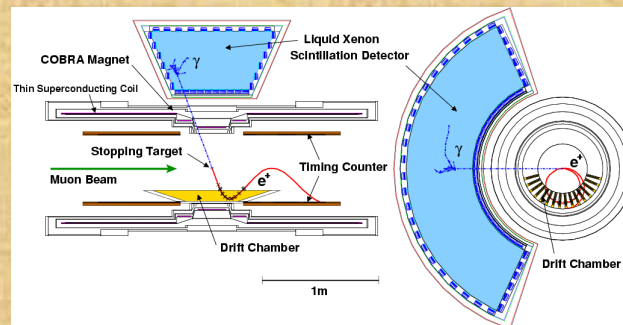


Fig.8. Experimental arrangement for the detection of bremsstrahlung, with simplified block diagram of the circuits. The lengths of the counters and source are ~40 cm

Ancor oggi, 65 anni più tardi, l'esperimento MEG sta cercando il decadimento $\mu \rightarrow e + \gamma$

$$BR(\mu \rightarrow e + \gamma) < 5.7 \times 10^{-13} \quad (90\% \text{ C.L.})$$

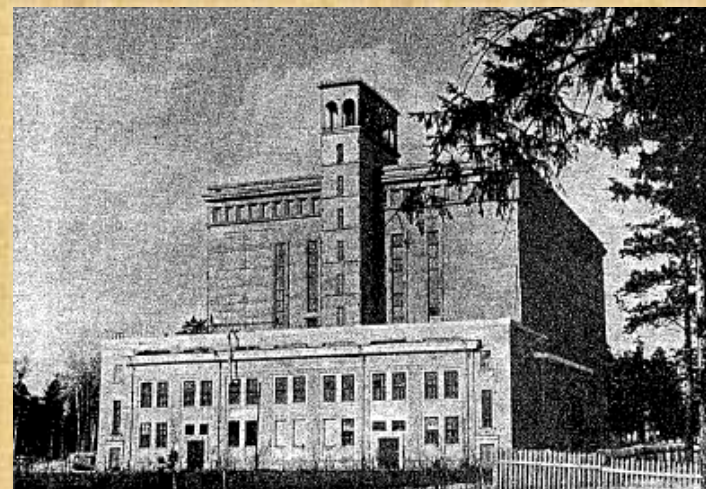


Esperimento MEG

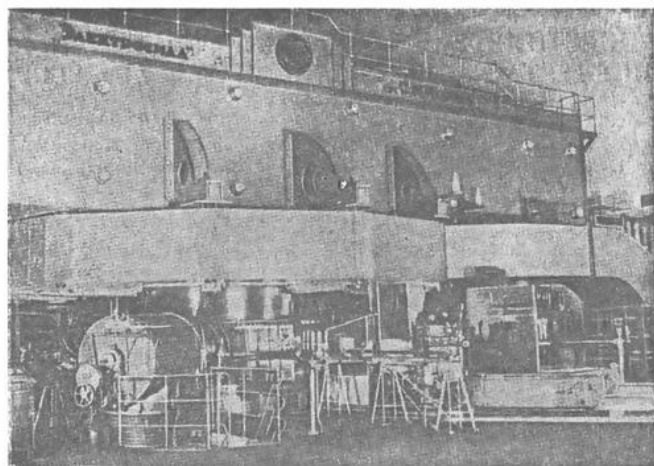
Una nuova vita e nuovi esperimenti a Dubna

Sicuramente Bruno Pontecorvo deve essere stato entusiasta di arrivare allo "Institute of Nuclear Problems" di Dubna all'inizio di Novembre 1950, dove poteva lavorare al sincrociclotrone dell'istituto che all'epoca era il più potente del mondo e per di più 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 anche tra colleghi del laboratorio chiamarsi col nome seguito dal patronimico e risulta quindi a tutti molto imbarazzante chiamarlo semplicemente Bruno, 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.



Edificio del sincrociclotrone

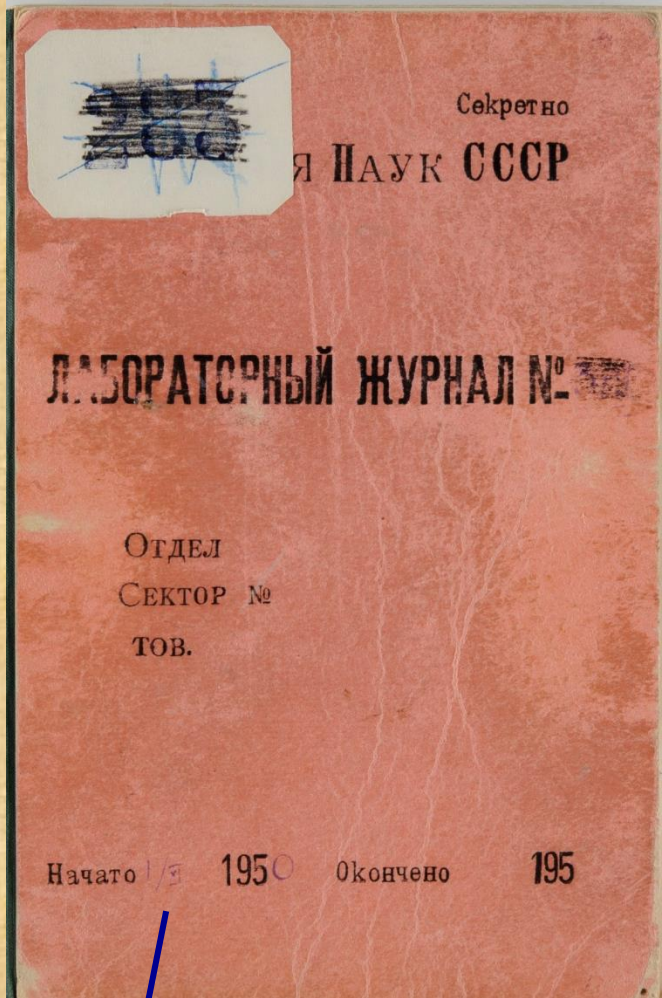


Il sincrociclotrone

	Kind of accelerated particles and their energy		
	280 MeV deuterons	560 MeV α 's	480 MeV protons
Internal target current (μA)	1	0,025	0,2–0,3
Extracted proton flux at a distance of 10 m from the magnetic channel ($cm^{-2} sec^{-1}$) . . .	—	—	$1 \cdot 10^6$ ($E_p = 460$ MeV)
Neutron flux at the maximum of the angular distribution 2 m from the internal target ($cm^{-2} sec^{-1}$)	$8 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^6$
Neutron energy at the maximum of the energy distribution (MeV)	120	120	380
Halfwidth of the angular neutron distribution (radian)	0,17	0,35	0,55
Process responsible for neutron production . .	Stripping	α -particle disintegration	charge exchange

Parametri dei fasci disponibili nel 1950

I/XI 1950 Primo Quaderno: da 01/11/1950 a ≤ 30/11/1950
da 14/09/1950 a ≥ 24/03/1952

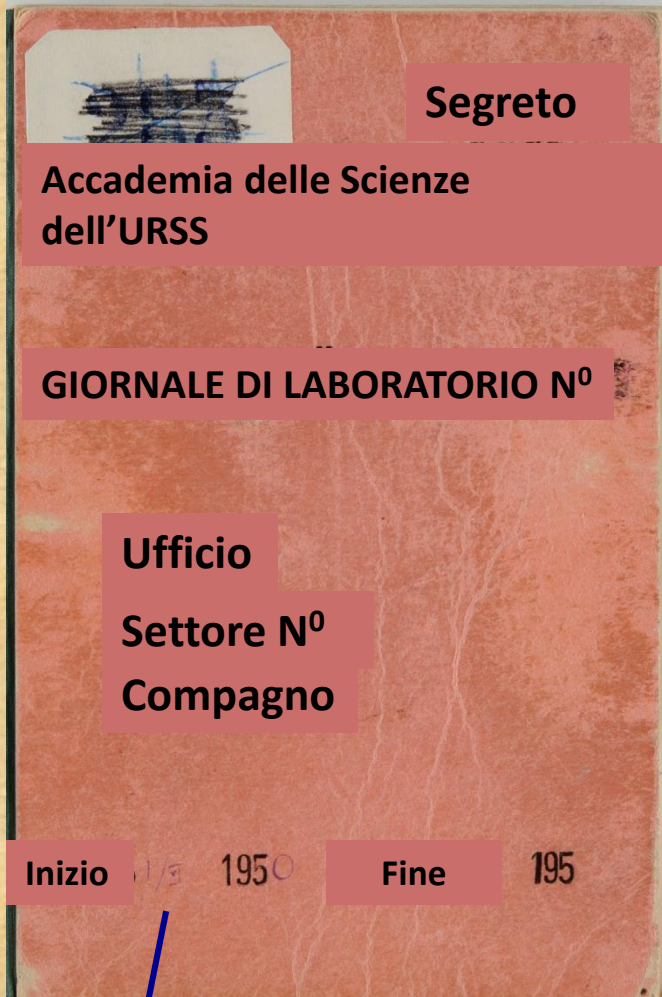


1/11/1950: Pontecorvo inizia il suo lavoro di ricerca presso il sincrociclotrone dello "Institute of Nuclear Problems" di Dubna. La segretezza è rigorosa: non si può prendere appunti e scrivere formule se non su un quaderno ufficiale che viene riconsegnato a fine giornata e controllato periodicamente dalle autorità.

Questa è la foto del primo quaderno di appunti dove Pontecorvo annota giornalmente la sua attività scientifica presso il sincrociclotrone di Dubna a partire dal suo primo giorno di lavoro.



I/XI 1950 Primo Quaderno: da 01/11/1950 a ≤ 30/11/1950
da 14/09/1950 a ≥ 24/03/1952



1/11/1950: Pontecorvo inizia il suo lavoro di ricerca presso il sincrociclotrone dello "Institute of Nuclear Problems" di Dubna. La segretezza è rigorosa: non si può prendere appunti e scrivere formule se non su un quaderno ufficiale che viene riconsegnato a fine giornata e controllato periodicamente dalle autorità.

Questa è la foto del primo quaderno di appunti dove Pontecorvo annota giornalmente la sua attività scientifica presso il sincrociclotrone di Dubna a partire dal suo primo giorno di lavoro.



Pagina 1 del primo quaderno

Pontecorvo è subito interessato alla possibilità che offre il sincrotrone di produrre fasci di neutroni; immediatamente propone un metodo per stimarne la distribuzione in energia.

1 Novembre (1950)

- Neutron production by cyclotron particles -

$^{120}\text{Mordone}$
- Neutron production by 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 $r^2|_{Av}$). A comparison at different energies is interesting. $r^2|_{Av}$ would be probably representative of the "evaporation" process, while the mean ~~value~~ relaxation length would be probably characteristic of the "see knock on" process.

"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 $r^2|_{Av}$)."

(I neutroni sono prodotti a partire da un fascio di particelle α accelerate a 560 MeV e fatte collidere su una targhetta interna. Pertanto la loro distribuzione in energia non è conosciuta).

- Fission from highly excited states -
 The normal fission happens usually from low excited states (≈ 10 MeV), with high energy bombardment. Now, as the fission of medium A shows, these must be fissions ~~not~~ arising from very highly excited states, in very few cases. These fissions from highly excited states must release plenty of energy, ~~the~~ in U or Th. The difficulty in detecting them is "electrical" noise. This is stated to be $\sim 1/\text{min}$. It is possible to reduce it by gas amplification.

2

Pontecorvo scrive nel quaderno le sue idee su quali siano gli esperimenti interessanti da fare con questo acceleratore e quali siano le tecniche e i rivelatori più idonei per realizzarli

- Fission from highly excited states -
The difficulty in detecting them is "electrical" noise. This is stated to be $\sim 1/\text{min}$. It is possible to reduce it by **gas amplification**

H⁴ problem - Is it possible to detect the H⁴ particles inside the chamber? One could use the magnetic field of the cyclotron to curve the electrons.

3 November

H⁴ problem - Is it possible to detect the H⁴ particles inside the chamber? One could **use the magnetic field of the cyclotron to curve the electrons**.
 3th November

According to Anatoly Alexandrovich, the experiment with H⁴ is possible "inside the tank", with an arrangement of 3 counters in coincidence.

According to Anatoly Alexandrovich, the experiment with H⁴ is possible "inside the tank", with an arrangement of 3 counters in coincidence.

Multiple meson production Multiple
 The threshold for multiple ^(double) production, for example:
 $n+p \rightarrow p+n+\pi^+\pi^-$ or $n+p \rightarrow D+\pi^+\pi^-$
 $p+p \rightarrow n+n+\pi^+\pi^+$
 $p+p \rightarrow p+p+\pi^+\pi^-$ (1)
 $p+p \rightarrow p+n+\pi^+\pi^0$ etc.

Incidentally, note that the detection of π^- in alpha count (energy of $\approx 10^6$ eV) would be a proof of pure multiple, according to (1).

is ~ 600 MeV in H. But in heavy materials the threshold is of the order of 300 MeV! An experiment can be done as follows: a) $2+p \rightarrow 2+3 + 2\pi^- + \begin{cases} \text{nothing} \\ n \\ 2n \end{cases}$

I irradiate a target, and separate chemically the element 2+3 - Let us evaluate the σ for the emission of $2\pi^-$. It is:
 (Heavy element) $\frac{\sigma}{(2\pi^-)} \approx \frac{\sigma}{(\pi)} \times \frac{\sigma_{(2\pi^-)}}{\pi R^2} = 10^{-26} \times \frac{10^{-28}}{10^{-24}} \approx 10^{-30} \text{ cm}^2$

In Pb, this gives a mean free path for double π^- equal to:
 $l = \frac{200}{12 \times 10^{23} \times 10^{-30}} \text{ cm} = 3 \times 10^7 \text{ cm}$.

Multiple meson production
 The **threshold for multiple (double) production**, for example:
 $n+p \rightarrow p+n+\pi^+\pi^-$ or $n+p \rightarrow D+\pi^+\pi^-$
 $p+p \rightarrow n+n+\pi^+\pi^+$
 $p+p \rightarrow p+p+\pi^+\pi^-$
 $p+p \rightarrow p+n+\pi^+\pi^0$
 etc.
 is ~ 600 MeV in H. But in heavy material the threshold is of the order of 300 MeV. An experiment can be done as follows:

Proton beam, internal scattering

It is easy to see that the nuclear scattering is very important. So the intensity in point 5 is mainly due to ^{nuclear} scattered protons, ^{and not coulomb} this effect is tremendous, and it is certain that Deuterons, H^3 particles, etc, also come out of the cyclotron. One way of measuring this, of course, is measuring the ionization in a proportional counter

Cerenkov detector

It may well be that the "water Cerenkov detector", about 30 cm long, is the "perfect" neutral meson detector. In fact γ ray of small energy are biased off, and recoil proton etc are not detected

Organic solution -

A organic solution detects, for a given energy loss, more electrons than α . This may also be used

Estimate of m.f.p of π^0 in nuclear matter.

The mean free path of charged mesons in nuclei can be investigated in photoplates. To investigate the mean free path of π^0 , the only way is to use as a ~~nucleus~~ ~~another~~ absorber the nuclear matter itself, as it is necessary to have a substance of such density that the m.f.p for interaction is $\ll \lambda_{decay}$. This means that one must use as an absorber the same nucleus which produces mesons. Using γ , study the ratio $\frac{\sigma_{\pi^+ + \pi^-}}{\sigma_{\pi^0}}$ as a function of Z .

Pontecorvo continua a scrivere fino a pagina 9 del quaderno le sue idee su quali siano gli esperimenti interessanti da fare con questo acceleratore e quali siano le tecniche e i rivelatori più idonei per realizzarli.

- Proton beam, internal scattering -

It is easy to see that the nuclear scattering is very important. So the intensity in point 5 is mainly due to nuclear scattered protons (and not coulomb). This effect is tremendous, and it is certain that Deuterons, H^3 particles etc, also come out of the cyclotron. One way of measuring this, of course, is measuring the ionization in a proportional counter

Cerenkov detector

It may well be that the "water Cerenkov detector", about 30 cm long, is the "perfect" neutral meson detector. In fact γ ray of small energy are biased off, and recoil proton etc are not detected

Organic solution -

A organic solution detects, for a given energy loss, more electrons than for α , so this may also be used

A estimate of m.f.p of π^0 in nuclear matter

The mean free path of charged mesons in nuclei can be investigated in photoplates. To investigate the mean free path of π^0 , the only way is to use as an absorber the nuclear matter itself, as it is necessary to have a substance of such density that the m.f.p for interaction is $\ll \lambda_{decay}$. This means that one must use as our absorber the same nucleus which produces mesons. Using γ , study the ratio $\sigma_{\pi^+ + \pi^-} / \sigma_{\pi^0}$ as a function of Z .

Interessantissimo è ciò che scrive a pagina 8! !

(primi di Novembre del 1950)

On the transformations of mesons

8

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 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 . But this M then would decay into π quicker than in Σ . So there is a contradiction between the evidence of a strong 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 a) Σ mesons have a long life, b) that they are present in abundance, we can conclude that there are mesons (not mesons) which are strongly produced in pairs. A consistent picture until now would be:

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

$V_{\text{light}} \rightarrow \pi^+ + \mu^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^- ?$
 $V_{\text{heavy}} \rightarrow p + \pi$

$V_{\text{light}} \Rightarrow \pi^+ + \mu^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^- ?$
 $V_{\text{heavy}} \Rightarrow p + \pi$

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

Other mesons have been produced.

On the transformations of mesons -

The τ 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 τ does not interact with nuclei, because, if the τ interacts with nucleons then the rate of the 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 . But this M then would decay into π quicker than in τ . So 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 pairs. (*) So from the very fact that a) τ mesons have a long life, b) that they are present in abundance, - we can conclude that there are mesons (not necessarily the τ mesons) which are strongly produced in pairs.

(incidentally these considerations explain the fact that until present day cyclotron no other mesons than π mesons have been produced.)

A consistent picture until now would be:

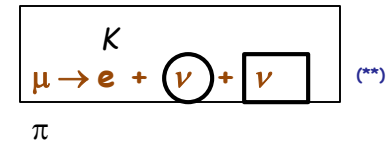
$$\mu \rightarrow e + 2\nu$$

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

$$\tau^+ = K = V^+ \rightarrow \begin{cases} \mu^+ + \pi^+ + \pi^+ \\ \mu^+ + \pi^0 \end{cases}$$

$$V_{\text{light}} \rightarrow \pi^- + \mu^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^- ?$$

$$V_{\text{heavy}} \rightarrow p + \pi$$



(*) a fine 1950 senza la nozione della stranezza, è necessaria una profonda intuizione per proporre che una produzione in coppia risolve la contraddizione.

(**) forse solo una coincidenza! Due righe prima scrive $\mu \rightarrow e + 2\nu$ mentre qui scrive $\mu \rightarrow e + \nu + \bar{\nu}$ indicando i due neutrini con due diversi segni.

Due profonde intuizioni in una singola pagina ?!

A pagina 9 Pontecorvo scrive solo un breve commento "On the multiple production of mesons". Nella restante parte della pagina c'è scritto, in senso capovolto, il un draft di un articolo.

- On the multiple production of mesons -

In discussing the phenomenon of multiple production, from an experimental point of view, it is necessary to remember the possibility that an appearance of multiple production may be given by the production of heavy mesons (spin integer, strong interaction with matter), which of course, decay into π mesons immediately, giving the appearance of multiple production, while, in fact there maybe only one particle produced per hit.

-On the multiple production of mesons -

In discussing the phenomenon of multiple production, from an experimental point of view, it is necessary to remember the possibility that an appearance of multiple production may be given by the production of heavy mesons (spin integer, strong interaction with matter), which of course decay into π mesons immediately, giving the appearance of multiple production, while, in fact there maybe only one particle produced per hit.

... with a compensating filter of Al (2.5cm) in front of the collimator, equivalent (2.5cm) in... This method is preferable for small angle of detect(ion) to the (?) method.

Apparentemente dopo le prime 9 pagine Pontecorvo smette di scrivere su questo quaderno e riprende a scriverci il 14 settembre del 1951 (si veda la prossima slide) girando il quaderno e iniziando dall'ultima pagina.

- On the multiple production of mesons -

In discussing the phenomenon of multiple production, from an experimental point of view, it is necessary to remember the possibility that an appearance of multiple production may be given by the production of heavy mesons (spin integer, strong interaction with matter), which of course, decay into π mesons immediately, giving the appearance of multiple production, while, in fact there maybe only one particle produced per hit.

... with a compensating filter of Al (2.5cm) in front of the collimator, equivalent (2.5cm) in... This method is preferable for small angle of detect(ion) to the (?) method.

-On the multiple production of mesons -
In discussing the phenomenon of multiple production, from an experimental point of view, it is necessary to remember the possibility that an appearance of multiple production may be given by the production of heavy mesons (spin integer, strong interaction with matter), which of course decay into π mesons immediately, giving the appearance of multiple production, while, in fact there maybe only one particle produced per hit.

Pontecorvo riprende a scrivere sul quaderno il 14 settembre 1951 iniziando dall'ultima pagina (la numero **100**) dopo aver capovolto il quaderno. Ha ora finalmente deciso quale esperimento fare: **"Experiment on production of mesons by neutrons"**:

$\frac{1.5 \times 10^{14}}{8 \times 10^6} \times \frac{1.5 \times 10^{14}}{8 \times 10^6} \times 2 = \frac{10^6}{10^6} = 1$

$10000 \text{ neutrons} \times 150 \text{ sec} = 1.5 \times 10^6$

$2 N_1 N_2 Z = C$

$\pi^+ + p \rightarrow n + \pi^+$
 $\pi^+ + p \rightarrow n + \pi^0$
 $\pi^+ + n \rightarrow \pi^+ + p$
 $\pi^0 + p \rightarrow \pi^+ + n$
 $\pi^0 + n \rightarrow \pi^+ + p$

14 September

Experiment on production of mesons by neutrons:

- π^0
It is necessary: 1) the "radiator" R
2) the "converter" C
3) the "absorber" A between the last counters
4) the absorber of γ radiation T

R → The radiator must be a "sphere" of diameter = m.f.p. for γ . *exp. Diameter 10 cm approx*

C → The converter must be 1 cm Pb, area equal to the counter tray area.

A → The absorber between counters must be 1 cm Al, area equal to the tray counter, small.

T → Must be about 1 cm thin of Pb and 1 cm thin of Cu (to see that the condition is fully γ), area equal to *by* tray counter.

The geometry as follows:

The detecting counters (five away) are the track tray to increase the coincidence efficiency.

14 September

Experiment on production of mesons by neutrons:

- π^0
It is necessary:
 - the "radiator" R
 - the "converter" C
 - the "absorber" A between the 2 last counters
 - the absorber of γ radiation T

R → The radiator must be a "sphere" ...

C → The converter must be 1 cm Pb, ...

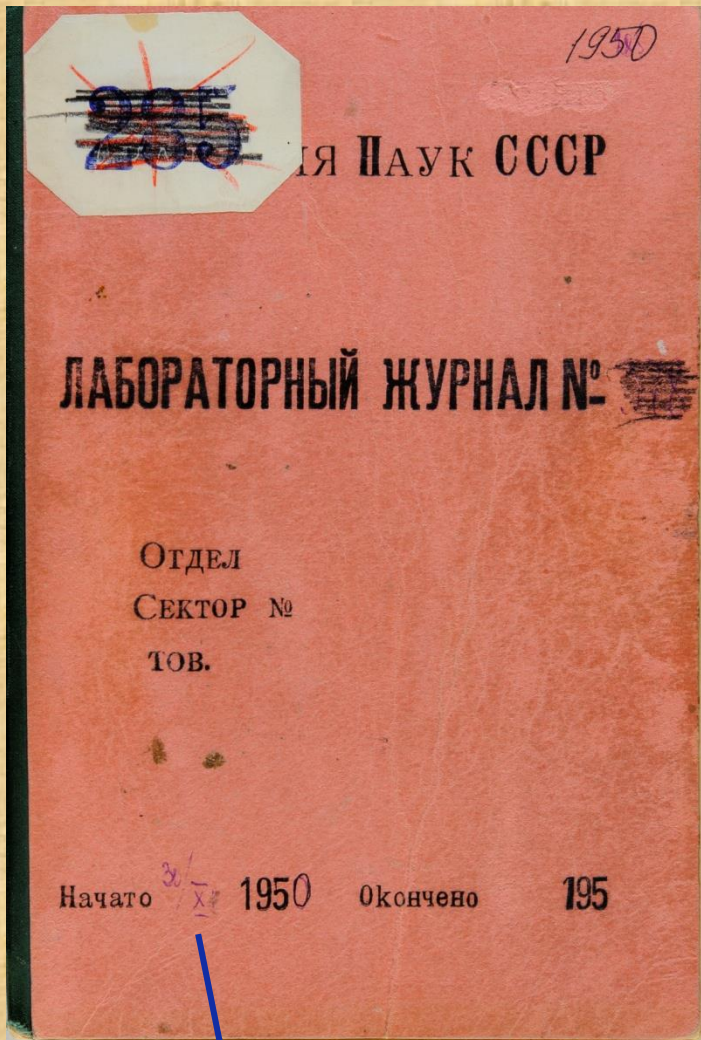
A → The absorber between counters ...

T → Must be about 1 cm thin of Pb, ...

The geometry as follows:

E continua a scrivere quello che oggi chiameremmo il "Technical Proposal" dell'esperimento...

30/XI 1950 Secondo quaderno: da 30/11/1950 a ≥ 18/07/1951



Cosa ha fatto Pontecorvo dal **novembre 1950 al settembre 1951** e perché ha smesso di scrivere su questo primo quaderno solo pochi giorni dopo aver iniziato a lavorare al sincrotrone di Dubna?

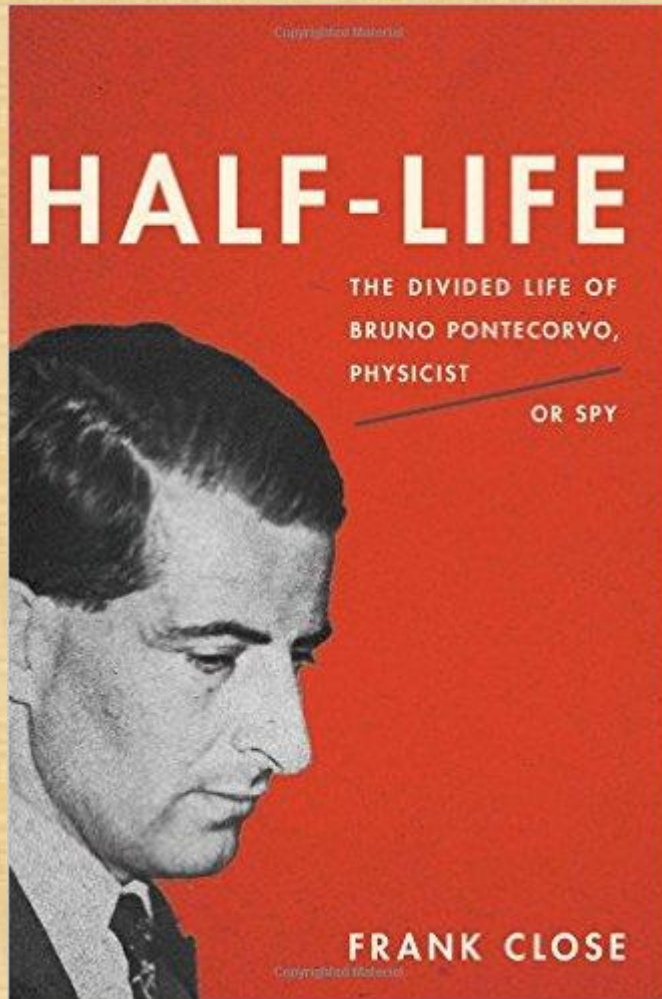
Con l'aiuto del figlio Gil siamo riusciti a ritrovare un secondo quaderno in cui viene descritta la sua attività di ricerca durante i mesi mancanti nel primo quaderno.

La copertina riporta la data del **30 novembre 1950** mentre l'ultima data che si trova scritta sul quaderno è quella del **18 luglio 1951**, nove pagine prima della fine del quaderno.

30/XI 1950

Half-Life: The Divided Life of Bruno Pontecorvo, Physicist or Spy

Frank Close



Publicato il 3 Febbraio 2015 da Basic Books

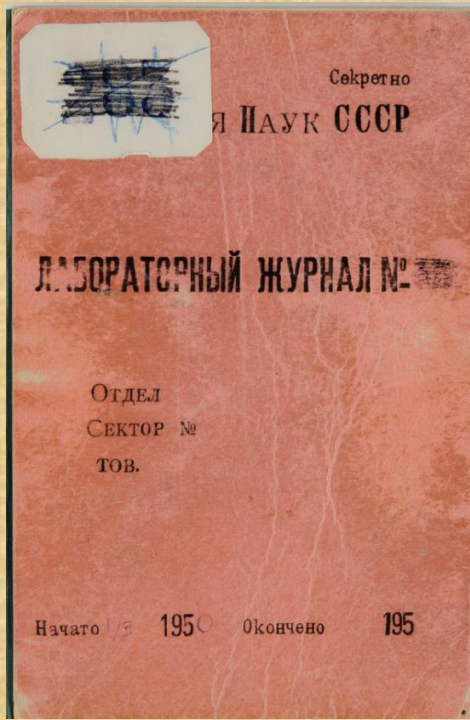
Ancora oggi si continua a considerare Pontecorvo una spia che ha trafugato in Russia i segreti della bomba atomica americana e che ha poi contribuito allo sviluppo della bomba ad idrogeno russa.

Nel suo recente libro Frank Close scrive che dopo un periodo iniziale di considerazioni generali sulle attività che potevano essere fatte col ciclotrone di Dubna, Pontecorvo *"was apparently assigned another task until September 1951"* (veniva assegnato ad un altro progetto fino a settembre 1951) e che pertanto *"whatever he did in the intervening ten months was not part of that original program, and was thus not recorded in the logbook"* (qualunque cosa abbia fatto nei seguenti dieci mesi non faceva parte del programma originario e per questo non viene documentato sul quaderno).

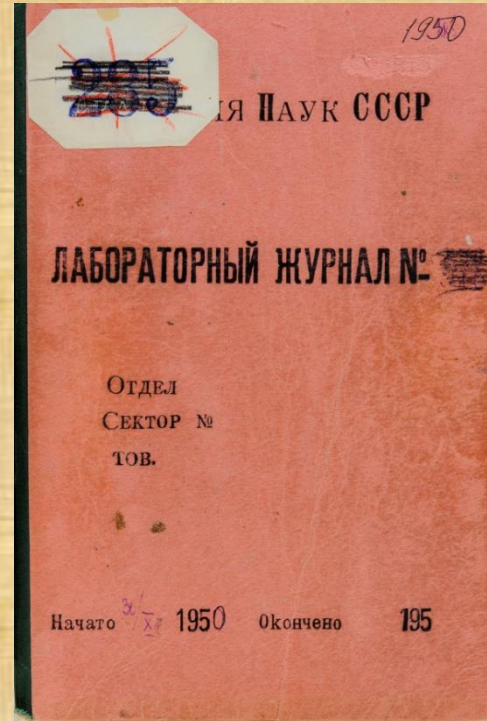
Queste frasi lasciano subdolamente far credere al lettore che durante questi 10 mesi Pontecorvo abbia lavorato al programma atomico russo.

Frank Close aveva saputo del contenuto del primo quaderno da una presentazione fatta da uno di noi (R.C.) alla conferenza "The Legacy of Bruno Pontecorvo: the Man and the Scientist" (Roma, 11-12 Settembre 2013). Tuttavia avevamo informato Close dell'esistenza di questo secondo quaderno (che nel frattempo avevamo ottenuto da Gil) prima della pubblicazione del suo libro per averlo presentato ufficialmente al 100th Congresso della Società Italiana di Fisica (Pisa, 22-26 Settembre 2014).

I Due Quaderni Inediti



01/11/1950 — ≤ 30/11/1950
14/09/1951 — ≥ 24/03/1952



30/11/1950 — ≥ 18/07/1951

Per qualche strano motivo Pontecorvo dopo aver scritto solo nove pagine di appunti sul primo quaderno inizia a scrivere su un nuovo quaderno identico al primo in cui approfondisce e comincia a mettere in pratica alcune delle idee a cui aveva accennato nelle prime pagine del primo quaderno. Si noti che la parola Секретно (Segreto) in alto a destra è stata cancellata; probabilmente è avvenuto successivamente quando queste ricerche sono diventate non più segrete o forse (ma questa è solo una nostra fantasia) è stato lo stesso Pontecorvo a farlo ed è proprio questo il motivo per cui cambia quaderno quasi subito: non vuole un quaderno ufficiale ma solo un brogliaccio.

Pagina ① del secondo quaderno

$\sigma \propto \pi R^2$ $R \propto A^{1/3}$ $\sigma \propto A^{2/3}$ $A^{2/3}$ Heavy elements ①
 $\frac{1}{2}$ $z=1$ $\sigma \propto A$ A Light elements

Collision \Rightarrow Meson
 Meson collision \Rightarrow N+N $\left\{ \begin{array}{l} \text{Collision } \sigma_c \\ \text{Meson collision} \\ \text{scattering} \end{array} \right.$
 M+N $\left\{ \begin{array}{l} \text{Disintegration} \end{array} \right.$

$\mu\mu$ 10^{-28} cm^2

$\pi^+ + \left\{ \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right.$ σ_{π} nuclear High energies
 $\mu\mu$ 100 MEV
 $N+N \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P+\pi^- \\ \text{---} \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} \pi^+ + P \rightarrow N + \pi_0 \\ \pi^+ + P \rightarrow N + 2\pi^+ \text{ Cascade} \\ \pi^+ + N \rightarrow P + \pi_0 \\ \text{scattering processes } \sigma \\ P + \pi^- \rightarrow N + N \end{array} \right.$

$\sigma = \pi R^2 \propto A^{2/3}$

σ (mb)	E (MeV)
4	1
1	10
0.07	100
0.03	300

$\lambda \ll R$ $(\mu\mu) 10^{-13}$ πR^2

$\xi = \frac{E-200}{200}$ $\frac{1}{2} \frac{M^2}{2M} v^2$

$\sigma \propto A^{2/3}$ $A^{2/3}$ Heavy elements
 $\sigma \propto A$ A Light elements

Pontecorvo inizia il quaderno valutando con considerazioni di tipo geometrico l'ordine di grandezza delle sezioni d'urto totale e di produzione di mesoni nell'urto nucleone-nucleone e nucleone-nuclei.

$\sigma = \pi R^2 \propto A^{2/3}$

$\lambda \ll R$

Pagina (2) del secondo quaderno

1) $\sigma \ll \pi \left(\frac{\hbar}{mc}\right)^2$ $\sigma \ll 6 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$ nucleon, nucleon, 2

when $\lambda \ll \frac{\hbar}{mc}$

2) In a collision of parameter b the predominant v will be that such that $2\pi v \times b = u$ (relative velocity). Then the collision will take place with great probability only if b is so small, that v corresponds to the relative energy E . $\frac{\hbar v}{2\pi} = E$

~~$b \leq \frac{u \hbar}{2\pi E}$~~
 ~~$\sigma \leq \pi \left(\frac{u \hbar}{2\pi E}\right)^2 = \frac{u^2 \hbar^2}{4\pi^2 E^2} = \frac{u^2 \hbar^2}{4\pi^2 \frac{1}{2} m u^2} = \frac{2 \hbar^2}{\pi m}$~~

$b \leq \frac{u \hbar}{2\pi E} = \frac{2 \hbar}{\pi} \frac{u}{E}$ $E = \frac{1}{2} m u^2$
 $\frac{u}{E} = \frac{2}{m u}$

$b \leq \frac{2 \hbar}{\pi} \frac{2}{m u} = \frac{4 \hbar}{\pi m u}$

$\sigma \leq 4\pi b^2 \ll \frac{4\pi \hbar^2}{m^2 u^2}$ $\sigma_{p > 300} \rightarrow 10^{-28}$ (D.K.)

3.50 MeV 10^{-27}

Pontecorvo continua per alcune pagine a valutare con considerazioni di tipo geometrico l'ordine di grandezza delle sezioni d'urto totale e di produzione di mesoni nell'urto nucleone-nucleone e nucleone-nuclei.

1) $\sigma \ll \pi \hbar^2 / (mc)^2$ $\sigma \ll 6 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$
 nucleon, nucleon,
 when $\lambda \ll \hbar / mc$

2) In a collision of parameter b the predominant v will be that such that $2\pi v \times b = u$ (relative velocity) Then the collision will take place with great probability only(?) if b is so small that v corresponds to the relative energy $\hbar v / 2\pi = E$ (?! $\hbar v / 2\pi = E \rightarrow v = E / 2\pi \hbar$)

$b \leq u / 2\pi v = u / 2\pi (2\pi \hbar / E) = 2\hbar / mu = 2\hbar / p = 2 \lambda$
 $\{E = 1/2 mu^2 \rightarrow u/E = 2/mu = 2/p\}$

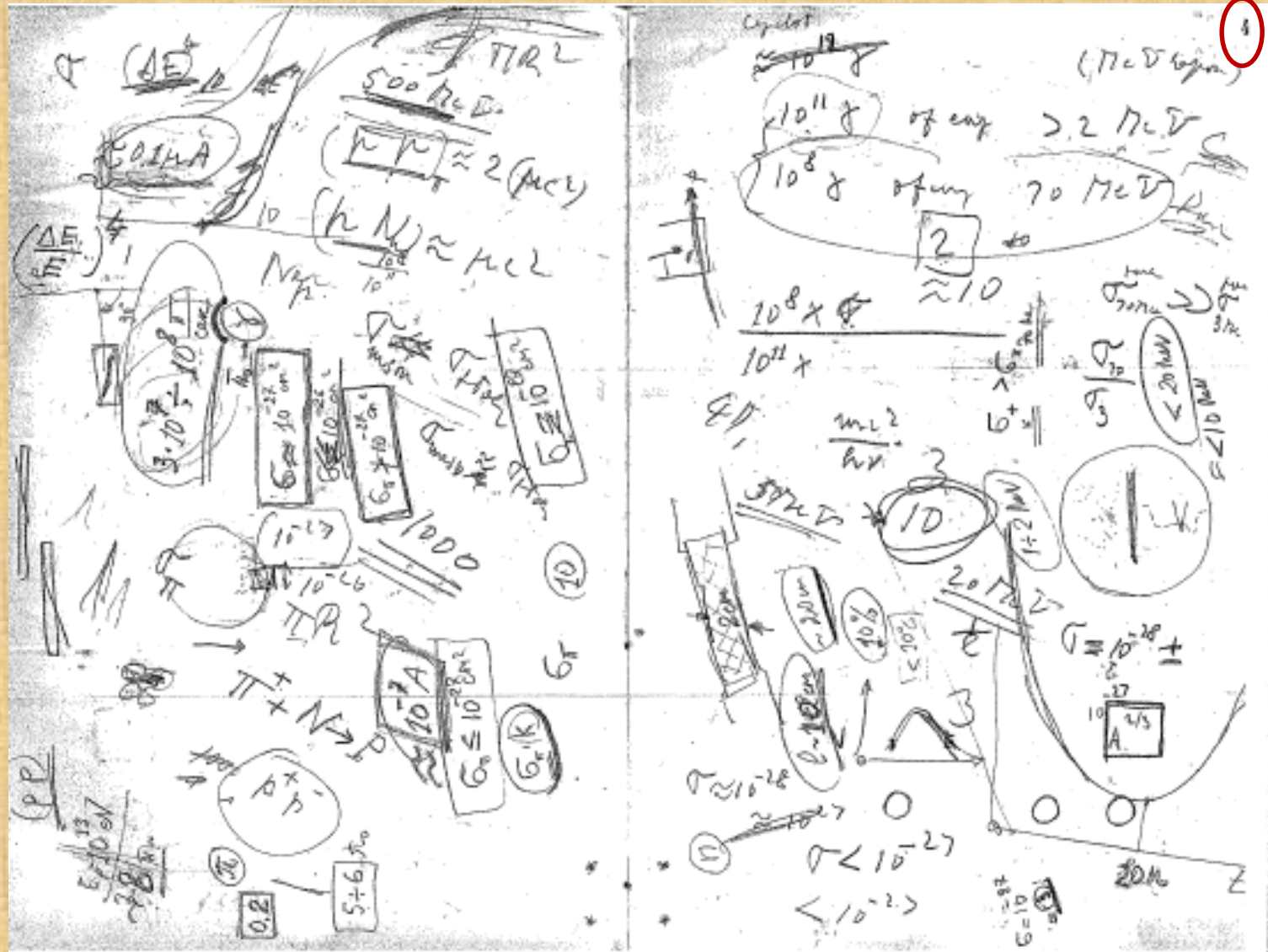
$\sigma \leq \pi b^2 \leq 4\pi \lambda^2 = 4\pi \hbar^2 / (mu)^2 \rightarrow$
 $\sigma \ll 4\pi \hbar^2 / (2mE)$

3.50 MeV 10^{-27}

$\sigma_{p > 300} \rightarrow 10^{-28}$ (D.K.)

Pagina 4 del secondo quaderno

Pontecorvo molto spesso usa le pagine di questi quaderni solo come un "brogliaccio" scarabocchiandovi in modo disordinato e senza alcun ordine logico numeri, formule e grafici, forse solo per fissare i pensieri e le idee che gli turbinano nella mente. Risulta pertanto spesso difficile capire con esattezza, gli esperimenti e le misure che Bruno e il suo gruppo vogliono fare.



Page 33-36: Draft "Measurement with a "star detector" of total cross sections for neutrons produced in the bombardment of Be with 475 400 Megavolt protons -"

Measurement with a "star detector" of total cross sections for neutrons produced in the bombardment of Be with 475 400 MeV Megavolt protons -

33

Introduction - Total cross sections of several nuclei for several energies have been reported in the literature for energies of about 90 MeV, 156 MeV and 280 MeV. For H and C are also available measurements at 40 MeV and 156 MeV.

Total cross sections are usually best measured by an attenuation method, in "good geometry conditions", with a great distance between the attenuator and the detector.

Until now the following detectors have been used:

- 1) Radioactive indicators, such as C^{11} , produced in a n-2n reaction (threshold ≈ 20 MeV)
- 2) Bi fission chamber, which has the threshold ≈ 50 MeV
- 3) A telescope counting high energy recoils protons from a radiator placed in the beam. The telescope consists of proportional counter and a scintillating counter in coincidence. The threshold of the detector is

Measurement with a "star detector" of total cross sections for neutrons produced in the bombardment of Be with 400 Megavolt protons

Introduction - Total cross section of several nuclei have been measured for energies of ~ 40 , 90 MeV () and ~ 280 MeV (). For H and C are also available measurements at 40 MeV () and 156 MeV ().

Total cross sections are usually best measured by(?) an attenuation method, in "good geometry conditions", with a great distance between the attenuator and the detector.

Until now the following detectors have been used:

- 1) Radioactive indicators, such as C^{11} , (threshold ~ 20 MeV) () produced in a n-2n reaction (threshold \approx
- 2) Bi fission chamber (threshold ≈ 50 MeV) ()
- 3) A telescope counting high energy recoils protons from a radiator placed in the beam () The telescope consists of proportional and a scintillating counters in coincidence (?) the threshold of the detector is

Page 33-36: Draft "Measurement with a "star detector" of total cross sections for neutrons produced in the bombardment of Be with 475 400 Megavolt protons -"

without correction an average intensity of counts/min, when the frequency repetition of the cyclotron is /sec and the total pulse length is .

~~The BF_3 counter~~ The purity of the BF_3 was not known to us, but must have been high because:

- 1) It was possible to count B^{10} in presence of strong γ radiation.
- 2) An inspection of the oscilloscope showed quite clearly the presence of two energy groups corresponding to the disintegration to the excited state and to the ground state of Li^7 .

The integral bias curve was very flat, as well as the curve giving the number of pulses as a function of counter voltage, at a given bias, ~~the~~ ~~component~~ ~~of~~ ~~the~~ ~~stability~~ ~~of~~ ~~the~~ ~~apparatus~~ ~~was~~ ~~very~~ ~~good~~ ~~and~~ ~~it~~ ~~could~~ ~~be~~ ~~reproduced~~ ~~with~~ ~~the~~ ~~same~~ ~~accuracy~~ ~~at~~ ~~distance~~ ~~of~~ ~~several~~ ~~hours~~.

without correction an average intensity of counts/min, when the frequency repetition of the cyclotron is /sec and the total pulse length is .

+ The BF_3 counters.

The purity of BF_3 was (?) not known to us, but must have been high because:

- 1) It was possible to count all B^{10} (?) protons in presence of strong γ radiation.
- 2) An inspection of the oscilloscope showed quite clearly the presence of **two energy groups corresponding to the disintegration to the excited state and to the ground state of Li^7 .**

The fact that the integral (?) bias curve was very flat, as well as the curve giving the number of pulses as a function of counter voltage, at a given bias, resulted in a **good stability of the apparatus, permitting the reproducibility, within the statistical error, at distance of several hours.**

I contatori per neutroni BF³ (pag. 17)

March 10, 1951

BF³ counters

No. 1, brass, 30 cm pressure BF³, contains effectively:
 20.8×10^{19} atoms of B¹⁰ in total.

No. 2, glass, 10 cm pressure BF³, contains effectively:
 3.4×10^{19} atoms of B¹⁰ in total.

kompare counter

glass
2x64+44

brass
32x64+60

3x64+28

29x64+4

90

March 10, 1951

BF³ counters

N. 1, brass, 30 cm pressure BF³, contains effectively:
20.8x10¹⁹ atoms of B¹⁰ in total

N. 2, glass, 10 cm pressure BF³, contains effectively:
3.4x10¹⁹ atoms of B¹⁰ in total

kompare counter

glass
2x64+44
3x64+28

brass
32x64+60
29x64+4

Pagine 50-52: Draft "Measurement with a "star detector" of total cross sections for neutrons produced in the bombardment of Be with 475 400 Megavolt protons -"

detector. The same conclusion ^{was} reached
 of measuring the attenuation ^{in Cu} (for $X_{Cu} \cong$ one mean
 free path) with and without a filter
 of paraffine ^{with thickness \cong X_{Cu}}
 in paraffine for neutrons of ^{the} fact
 that the attenuation in Cu ^{was} with
 and without filter, was equal with the quite
 small statistical error, ^{confirmation} of the
 stable import of neutrons $<$ in our
 measurements.

Results

Once ^{we} established that the absorption
 curve were exponential, ^{we} performed
 all our measurements with thickness
 of absorber approximately equal to the
 m f p. This is preferable for the
 following reasons:

- 1) ~~The cross section, ^{is given by} $\sigma = \frac{A}{0.693 \times X \times \log d}$~~
~~knowing the cross section, ^{is given by} $\sigma = \frac{A}{0.693 \times X \times \log d}$~~
~~relation:~~



detector. The same conclusion can be reached
 by measuring the attenuation in Cu (for $X_{Cu} \cong$
 one mean free path) with and without a filter
 of paraffine ... long: such paraffine thickness
 is the m f path in paraffine for neutrons of
 The fact that the attenuation in Cu, with and
 without filter, was equal with the quite small
 statistical error, is another information of the
 stable (?) import (?) of neutrons $<$ in our
 measurements.

Results

Once we **established that the absorption curve
 were exponential**, we performed all our
 measurements with thickness of absorber
 approximately equal to the m. f. p. This is
 preferable for the following reasons:

- 1) ~~The cross section is given by the relation:~~

~~$\sigma = \frac{A}{0.693 \times X \times \log d}$~~

Measurements in Cu of "Total σ with star detector"

(pag.22)

Results

(Normalised)

Total σ with star detector Results (Normalised)		
Cu 60cm + Pb cube	0.0405 ± 0.0012	
Cu 60cm, no Pb cube	0.0389 ± 0.0012	
No Cu, no Pb cube	0.0438 ± 0.006	
No Cu, Pb cube	0.542 ± 0.010	
Cu 10cm, Pb cube	0.214 ± 0.004	
Cu 20cm, Pb cube	0.106 ± 0.002	
Cu 30cm Pb cube	0.0627 ± 0.0012	
No Cu Pb cube	0.543 ± 0.010	
Cu 15cm Pb cube	0.158 ± 0.002	
Cu 5cm Pb cube	0.405 ± 0.006 0.360 ± 0.006	✓
Cu 25cm Pb cube	0.0845 ± 0.002	✓
Cu 10cm Pb cube	0.218 ± 0.004	✓
No Cu, Pb cube	0.544 ± 0.010	22
No Cu, No Pb cube	0.0469 ± 0.0018	0
No Cu, No Pb cube	0.0413 ± 0.0012	0
Cu 20cm, No Pb cube	0.0413 ± 0.0012	0
<p>~~~~~ ↓ Pb position is not exactly in the center, because keeping diameter. However as close as possible it was put</p>		
No Cu, Pb cube (no paraffin)	0.555 ± 0.008	
No Cu, Pb cube paraffin, 36cm before Pb cube	0.352 ± 0.005	✓
Cu 10cm, Pb cube, paraffin 36cm before Pb cube	0.156 ± 0.003	✓
Cu 10cm, Pb cube (no paraffin)	0.235 ± 0.0035	
No Cu, Pb cube	0.551 ± 0.012	
~~~~~		
AC 30cm, Pb cube absorber	0.216 ± 0.003	

Questo plot su carta semilogaritmica si trova inserito alla pagina delle misure precedenti

Attenuation curve in Cu

Attenuation curve in Cu

~~** without paraffine filter~~

* Point without paraffine filter

o Point with paraffine filter

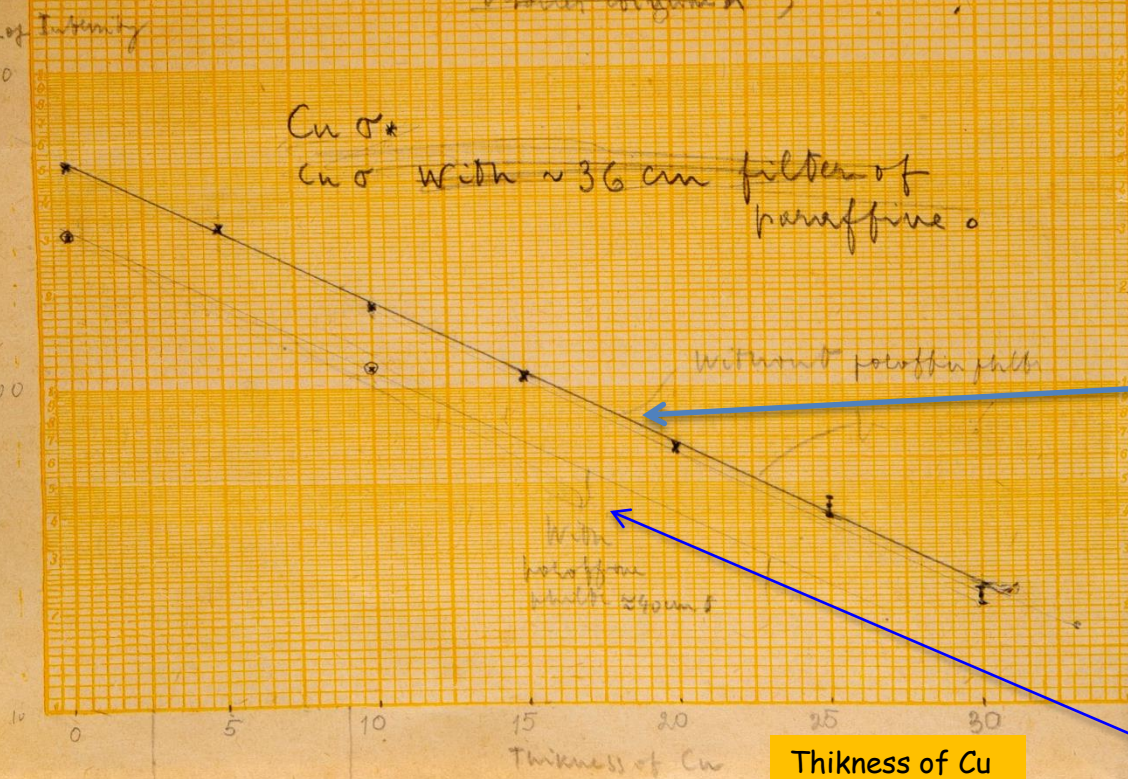
~~X normalized to (The intensity is normalized ?? so that the intensity without absorber ?? X 3~~

Log Intensity

Log Intensity

1000

100



Cu σ *

Cu σ with ~ 36 cm filter of paraffine o

Without paraffine filter

With paraffine filter \approx 40 cm

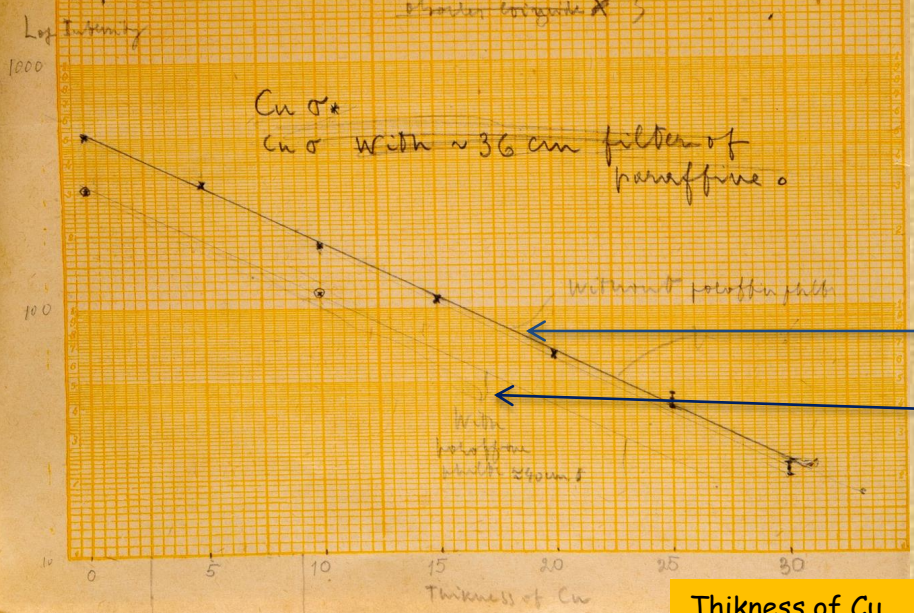
X - *модуль без парафина и абсорбента*
 модуль без парафина

O - *модуль с парафином и абсорбентом*
 модуль с парафином

X - *модуль без парафина и абсорбента*
 O - *модуль с парафином и абсорбентом*

Attenuation curve in Cu

* * Without paraffine filter
 * Without paraffine filter
 O With paraffine filter
 X normalized to (The intensity is normalized ?? so that the intensity without absorber ?? X 3)



Attenuation curve in Cu
 ** without paraffine filter
 * Point without paraffine filter
 o Point with paraffine filter
 X normalized to (The intensity is normalized ?? so that the intensity without absorber ?? X 3)

Cu σ*
 Cu σ with ~ 36 cm filter of paraffine o

Without paraffine filter

With paraffine filter ≈ 40 cm

Questo plot su carta semilogaritmica si trova inserito alla pagina delle misure precedenti (pag.22)

Risultati di misure di sezione d'urto totale su alcuni nuclei complessi (Cu,Pb,Al)
 Per ottenere le sezioni d'urto totali pensa di dover graficare in carta logaritmica
 i conteggi in funzione dello spessore della targhetta (metodo di trasmissione).
 Nel frattempo prova a scrivere in russo la richiesta di cittadinanza sovietica.

Summary of results

Total σ :

$\sigma = 1.19 \pm 0.02$

$\sigma_{Pb} = 2.89 \pm 0.07$

$\sigma_{Al} = 0.60 \pm 0.02$

Председателю Президиума Верховного
 Совета СССР
 тов. Швернику

~~Прошу Вас, т. Шверник, разрешить~~
~~подданство~~ ~~меня~~ ~~и~~ ~~мою~~ ~~семью~~
 перейти в Советское подданство.

Прошу Вас, т. Шверник, разрешить мне и моей семье
 перейти в Советское подданство.

for
 ()

then

Summary of results

Total σ :

$\sigma_{Cu} = 1.19 \pm 0.02$

$\sigma_{Pb} = 2.89 \pm 0.07$

$\sigma_{Al} = 0.60 \pm 0.02$

-- **Presidente del Praesidium del
 Soviet supremo dell'URSS
 Compagno Shvernik (товарищу швернику)**

**Vi chiedo, compagno Shvernik, di permettere a
 me e alla mia famiglia di diventare cittadino
 sovietico.**

(nella parte cancellata c'è scritto male in russo la stessa cosa)

↑ **Log I**

→ **Th Cu**

Le misure di sezione d'urto totale vengono estese a altri nuclei complessi

Programma

Cu¹ - Sn, Fe, U, C, Rosoff

- I) Pb, no absorber
- II) No Pb, no absorber
- III) No Pb, 3 or 4 absorbers Sn, Fe, C
- IV) Pb, no absorber
- V) Pb + U
- VI) Pb + Sn
- VII) Pb + Fe
- VIII) Pb + U
- IX) Pb + C
- X) Pb + Rosoff
- XI) Pb + Cu (5cm)
- XII) Pb no absorber
- XIII) Pb + Rosoff
- XIV) Pb + purple
- XV) 5 Cu
- XVI) 10cm Cu
- XVII) No Pb no absorber

Pag. 27

A - Normalized Total σ
^{results}

Pb, no absorber 0.612 ± 0.009

No Pb, no absorber 0.0413 ± 0.0016

No Pb, Sn 20cm 0.0384 ± 0.0016

No Pb, Fe 12cm 0.0397 ± 0.0020

No Pb, C 40cm 0.0405 ± 0.0020

Pb, no absorber 0.605 ± 0.009

Pb, Sn 20cm 0.166 ± 0.002

Pb, Fe 12cm 0.220 ± 0.003

Pb, U 10cm 0.154 ± 0.002

Pb, no absorber 0.597 ± 0.006

Pb, C 40cm 0.224 ± 0.003

Pb, Rosoffine 8cm 0.210 ± 0.003

Pb, no absorber 0.603 ± 0.008

Pb, Rosoffin 8cm 0.207 ± 0.003

Pb, C 40cm 0.221 ± 0.002

Pb Cu 5cm 0.360 ± 0.005

	85	95	280	15623	270 Pb absorber	15640
H	0.034 ± 0.005	0.045 ± 0.007	0.033 ± 0.003	0.046 ± 0.007	0.038 ± 0.002	0.16
C	0.325 ± 0.006	0.550	0.279 ± 0.004	0.330 ± 0.003	0.288 ± 0.003	31
Al	0.60 ± 0.02	1.12	0.566 ± 0.018		0.555 ± 0.008	
Fe	1.11 ± 0.03					
Cu	1.19 ± 0.02	2.22	1.19 ± 0.02		1.145 ± 0.0015	
Sn	2.02 ± 0.04	3.28	1.83 ± 0.03		1.87 ± 0.03	
Pb	2.84 ± 0.07	4.53	2.83 ± 0.03		2.84 ± 0.03	
U	3.40 ± 0.07	5.03	3.14 ± 0.05		3.24 ± 0.03	

Pag. 31

Pag. 29

Pontecorvo prova ad interpretare le misure di sezione d'urto totale su nuclei complessi in termini del "opaque nucleus model"

R (10 ⁻¹³ cm)	Z	$2\pi R^2$	$\frac{\sigma_{total 400}}{2\pi R^2}$	$1 - \frac{\sigma_{total 400}}{2\pi R^2}$	$\frac{\sigma_{total 95}}{2\pi R^2}$	$1 - \frac{\sigma_{total 95}}{2\pi R^2}$	$\frac{\lambda^{400}}{\lambda^{90}}$	λ
3.5	C	0.62	0.51	0.49	0.80	0.20	6.2	
4.1	Al	1.06	0.57	0.43	0.94	0.06	6.4	
5.5	Cu	1.90	0.65	0.35			6.4	
6.7	Sn	2.80	0.72	0.28			6.4	
8.1	Pb	4.10	0.70	0.30			8.1	
8.5	U	4.50	0.75	0.25			7.0	

Start all over again:

R , opaque:

$$R = (1.3 + 1.37 A^{1/3}) \times 10^{-13} \text{ cm}$$

Probability of escape when the neutron hits the nucleus = $1 - \frac{\sigma_{inel}}{\pi R^2} \approx 1 - \frac{\sigma_{total}}{2\pi R^2} =$

$$= \int_0^R \frac{2\pi x}{\pi R^2} e^{-\frac{2\sqrt{R^2-x^2}}{\lambda}} dx = \text{(where } \lambda \text{ is the mean free path in nuclear matter)}$$

$$= \left(\frac{\lambda^2}{2R^2}\right) \left[1 - \left(1 + \frac{2R}{\lambda}\right) e^{-\frac{2R}{\lambda}}\right] = \text{(let us call } R/\lambda = a)$$

$$= \frac{1}{2a^2} \left[1 - (1 + 2a) e^{-2a}\right]$$

$$R_1 = R + 1.3 \times 10^{-13} = (1.3 + 1.37 A^{1/3}) \times 10^{-13} \text{ cm}$$

$$R (10^{-13} \text{ cm}), Z, 2\pi R^2, \sigma_{total 400}/2\pi R^2, 1 - \sigma_{total 400}/2\pi R^2, \sigma_{total 95}/2\pi R^2, 1 - \sigma_{total 95}/2\pi R^2, \lambda^{400}/\lambda^{90}$$

Start all over again:

R , opaque:

$$R_{(1)} = (1.3 + 1.37 A^{1/3}) \times 10^{-13} \text{ cm}$$

Probability of no collision when the nucleon hits the nucleus = $1 - \sigma_{inel}/\pi R^2 \approx 1 - \sigma_{total}/2\pi R^2 =$

$$= \int_0^R \frac{2\pi x}{\pi R^2} e^{-\frac{2\sqrt{R^2-x^2}}{\lambda}} dx = \text{(where } \lambda \text{ is the mean free path in nuclear matter)}$$

$$= 1/(2a^2)[1 - (1 + 2a)e^{-2a}]$$

$$R_1 = R + 1.3 \times 10^{-13} = (1.3 + 1.37 A^{1/3}) \times 10^{-13} \text{ cm}$$

The "nuclear radius" R is defined conventionally by the empirical relation $R = (1.3 + 1.37 A^{1/3}) \times 10^{-13}$, which is the best fit to data of total cross section for neutrons of $\sim 15 \text{ MeV}$ (opaque nucleus model)

The "nuclear radius" R is defined conventionally by the empirical relation $R = (1.3 + 1.37 A^{1/3}) \times 10^{-13}$, which is the best fit to data of total cross section for neutrons of $\sim 15 \text{ MeV}$ (opaque nucleus model)

Pontecorvo prova ad interpretare le misure di sezione d'urto totale su nuclei complessi

Table

Element, R (10^{-13}cm), $2\pi R_1^2(10^{-24})$, $\sigma_{\text{total}400}/2\pi R_1^2$, $\sigma_{\text{total}95}/2\pi R_1^2$, $1-\sigma^{400}/2\pi R_1^2$, $1-\sigma^{95}/2\pi R_1^2$, $\lambda^{400}(10^{-13})$, λ^{90}, R_1

Element	R (10^{-13}cm)	$2\pi R_1^2$ (10^{-24})	$\frac{\sigma_{\text{total}400}}{2\pi R_1^2}$	$\frac{\sigma_{\text{total}95}}{2\pi R_1^2}$	$1-\frac{\sigma^{400}}{2\pi R_1^2}$	$1-\frac{\sigma^{95}}{2\pi R_1^2}$	λ^{400} (10^{-13})	λ^{90}	R_1
C	3.15	1.2	0.27	0.42	0.73	0.58	12	8	4.4
Al	4.1	1.8	0.33	0.55	0.67	0.45	13	7	5.4
Fe	5.5	2.9	0.41	0.69	0.59	0.31	14		6.8
Cu	6.7	4.0	0.50	0.79	0.50	0.21			8
Pb	8.1	5.6	0.52	0.78	0.48	0.22			8.4
U	8.5	6.6	0.56	0.80	0.44	0.20			8.8

Conclusion



Z does not work -

$$3.15 \times 10^{-13} \approx 3 \times 10^{-13} / 2 \times \sqrt{2} =$$

$$\frac{\pi \times (3 \times 10^{-13})^2}{4} = 5 \times 10^{-26}$$

What is the evidence that the n-p σ increases at high energies again?

$$0.27 \times (1.3 + 1.37 \sqrt{56}) = 2.65$$

$$= 1.3 + 1.37 \times 3.8 = 6.28 \times 6.5^E$$

$$= 1.3 + 5.2 = 6.5$$

Conclusion

$$A^{2/3}$$

Z does not work -

What is the evidence that the n-p σ increases at high energy again?

Pontecorvo si tiene ben informato sugli esperimenti fatti in occidente su π^+/π^-

Data on π^+/π^-

76,
(1467A-

76,588,A

77,526,A

79,198

Hoyer, Maden, Hilsenrath, Knable, Hales, Bullitt. Ann
Phys. Rev. April 1951, pp 15. $p+p \rightarrow \pi^0$

78, 497, 1950 - Chew and Steinberger

Pauli principle, in normal interpretation, 2 effects:

- 1) $\frac{\pi^+}{\pi^-}$ increase at high meson energy, for a given proton energy
- 2) $\frac{\pi^+}{\pi^-}$ increase with decreasing proton energy.

And viceversa with neutron bombardment.

- 78, 85, 1950, Richmon and Wilson -

340 MeV protons: $\frac{\pi^+}{\pi^-}$ in C = 5 ± 1.5

Weissbluth, 78, 86, 1950

$\frac{\pi^+}{\pi^-} = 1.5 \pm 1$ in Pb, p 340 MeV

Brodner and Jones, 78, 90, 1950

$\frac{\pi^+}{\pi^-}$	Be	2.7 ± 2
	C	4.8 ± 5
	Al	5.4 ± 1
	Cu	4.3 ± 2

Data on π^+/π^-

75,1467 A; 76,588, A; 77,526 ; 79,198

Mayer (?) et al, , Aprile 1951, pp 15. $p+p \rightarrow \pi^0$

78, 497, 1950 - Chew and Steinberger

Pauli principle, in normal interpretation, 2 effects:

- 1) π^+/π^- increase at high meson energy, for a given proton energy
- 2) π^+/π^- increase with decreasing proton energy

And viceversa with neutron bombardment

- 78, 85, 1950, Richmon and Wilson -

380 MeV protons: π^+/π^- in C = 5 ± 1.5

Weissbluth, 78, 86, 1950

$\pi^+/\pi^- = 1.5 \pm 1$ in Pb, p 340 MeV

Brodner and Jones, 78, 90, 1950

π^+/π^- Be 2.7 ± 2 ; C 4.8 ± 5 ; Al 5.4 ± 1 ; Cu 4.3 ± 2

Brauner et al. Phys. Rev. 79, 720

n 270 MeV $\pi^+/\pi^- = 14$

Brauner, not published:

π^+/π^- , protons 260-270 MeV = ≈ 15

Brauner, Cornell, Princeton

Phys. Rev. 79, 720.

n 270 MeV.

$\frac{\pi^-}{\pi^+} = 14$

50 MeV mesons

61

Pag. 61

Brauner, not published:

$\frac{\pi^+}{\pi^-}$, protons 260-270 MeV
= ≈ 15

Pag. 64: Seminario di Pontecorvo sul suo programma di ricerca sulle collisioni nucleone-nucleone e sulla misura del rapporto π^+/π^- .

~~Seminario~~ - Seminario

I want to talk on nucleon-nucleon collisions, and $\frac{\pi^+}{\pi^-}$ ratios -
 Discussion of experimental method - Conclusion on what are the collision which produce mesons -

Usually $p+p \rightarrow \pi^+ + n + p$ ✓
 $n+n \rightarrow \pi^- + n + p$ ✓
 $n+p \rightarrow \begin{cases} \pi^+ + n + n & \text{v ✓ (neutron beam (n+Z))} \\ \pi^- + n + p & \text{v ✓ (proton beam (p+Z))} \end{cases}$

What is the evidence?

~~p+Z~~ $p+Z \rightarrow \pi^-$
 $n+Z \rightarrow \pi^+$

since $p+p \rightarrow \pi^-$, must be $p+p$
 $n+n \rightarrow \pi^+$, must be $n+p$.
Not true proof, reasonable

Z p n,n
 Too small - No (Misstatement)
 ~~$\sigma_{p,Z} \approx \sigma_{n,Z} \times \frac{\sigma_{p,p}}{\sigma_{n,p}}$~~
 ~~$\sigma_{p,Z} \approx \sigma_{n,Z} \times \frac{\sigma_{p,p}}{\sigma_{n,p}}$~~

Assume only $n+n \rightarrow \pi^-$, then
 $\sigma_{n,Z}^{\pi^-} = \sigma_{\text{neut, recoil}} \times \frac{\sigma_{n,n}^{\pi^-}}{\pi R^2}$ since $\sigma_{\text{neut, recoil}}/\pi R^2$

is a big number, let us say $\approx 1/5$, it is clear
 that this hypothesis not against facts.
 Similarly from the fact that $n+Z \rightarrow \pi^+$,
 not possible conclude that $n+p$ etc. pp

Conclusion:
 Only things we know:
 $p+p \rightarrow \pi^+$
 $p+p \rightarrow \text{no } \pi^0$
 $n+n \rightarrow \pi^-$

- Seminaire -

I want to talk on nucleon-nucleon collisions, and π^+/π^- ratios -

Discussion of experimental method -

Conclusion on what (??) are the collision which produce mesons

Usually $p+p \rightarrow \pi^+ + n + p$
 $n+n \rightarrow \pi^- + n + p$
 $n+p \rightarrow \begin{cases} \pi^+ + n + n & \text{(neutron beam (n+Z))} \\ \pi^- + p + p & \text{(proton beam (p+Z))} \end{cases}$

What is the evidence?

$p+Z \rightarrow \pi^-$
 $n+Z \rightarrow \pi^+$

Since $p+p \rightarrow \text{no } \pi^-$, must be $p+n$
 $n+n \rightarrow \text{no } \pi^+$, must be $n+p$

Not true proof, reasonable

Z p n,n
 Too small - No

Assuming only (?) $n+n \rightarrow \pi^-$, then

$$\sigma_{p,Z}^{\pi^-} = \sigma_{\text{neut, recoil}} \times \sigma_{n,Z}^{\pi^-} / \pi R^2$$

since $\sigma_{\text{neut, recoil}} / \pi R^2$

is a big number, let us say $\approx 1/5$, it is clear
 that this hypothesis not against facts.

Similarly from the fact that $n+Z \rightarrow \pi^+$,
 not possible conclude that $n+p$ etc. pp

Conclusion:

only ??? we know:

$p+p \rightarrow \pi^+$
 $p+p \rightarrow \text{no } \pi^0$
 $p+n \rightarrow \pi^0$

Valutazioni sulla fattibilità di un "H⁴ experiment" (pag. 13)

- H⁴ experiment -

~~Energy~~ Possibility of measuring α recoil; which will be of the order of (neglect neutrinos)

$$Mv = \frac{E_\alpha}{c} \quad E_\alpha = \frac{1}{2} M_\alpha \frac{E^2}{M_\alpha^2 c^2} = \frac{1}{2} \frac{E^2}{M_\alpha c^2}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{E^2}{M_\alpha c^2} = \frac{1}{2} \frac{(20 \times 10^6)^2}{4 \times 10^9} = \frac{1}{2} \times 10^5 \text{ eV} \approx$$

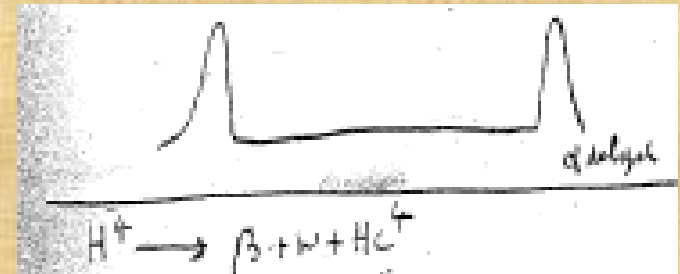
$\approx 50000 \text{ eV}$. This could be measured in a small prop. counter. Let us assume that the H⁴ track have 20 cm air range. The number stopping in the counter will be of the order of $\frac{\text{counter diameter (cm)}}{\text{range (cm)}}$.

If we have a 0.1 cm counter with A, then the number stopping is of the order of $\frac{1}{200} \approx \frac{1}{1000}$ of those produced in a thickness = range, in solid matter, i.e.: in a volume = $2\pi \times 0.1 \times 3$

- H⁴ experiment -

Possibility of **measuring α recoil** which will be of the order of (neglect neutrinos) $Mv = E_\alpha/c$ $E_\alpha = \frac{1}{2} M_\alpha E^2 / (M_\alpha^2 c^2) = 1/2 E^2 (M_\alpha c^2) = \frac{1}{2} (20 \times 10^6)^2 / 4 \times 10^9 = \frac{1}{2} 10^5 \text{ eV} \approx 50000 \text{ eV}$. This could be measured in a **small prop. counter**.

Let us **assume** that the H⁴ track have **20 cm avr (?) Range**. The number stopping in the counter will be of the order of $\frac{\text{counter diameter (cm avr)}}{\text{Range (cm avr)}}$. If we have a 0.1 cm counter with A, then the number of stopping is of the order of $1/200 \approx 1/1000$ of those produced in a thickness range, in solid matter, i.e.: in a volume = $2\pi \times 0.1 \times 3$



H⁴ ipotetico stato legato di tre neutroni ed un protone: non è mai stato osservato.

Fisica ma anche Poesia

50kV

$4 \times \frac{1800}{250}$

77

$\frac{1}{250}$

4

$H^4 \rightarrow \beta + \nu + He^4$		L^4 - unstable probably
$Be^8 \rightarrow \beta + \nu + Be^8$ x 0 x	x	$B^8 \rightarrow \beta + \nu + Li^8$ 0
$B^{12} \rightarrow \beta + \nu + C^{12}$ x 0?	x	$N^{12} \rightarrow \beta + \nu + C^{12}$ 0
$N^{16} \rightarrow \beta + \nu + O^{16}$ x		F^4 - unstable
$Na^{20} \rightarrow \beta + \nu + Ne^{20}$ x	x	$Na^{20} \rightarrow \beta + \nu + Ne^{20}$ 0

- For meson work -
Delayed α emission debate:

1) $He^4 + \pi^- \rightarrow He^4$ (fast) \downarrow β -emission

2) a) $C^{12} + \pi^- \rightarrow B^{12}$ (fast)?

b) $C^{13} + \pi^- \rightarrow B^{12} + n$

$C^{13} + \pi^+ \rightarrow N^{12} + n$

$C^{12} + \pi^+ \rightarrow N^{12}$ (fast)

$Ne^{20} + \pi^+ \rightarrow Na^{20}$ (slow)

на Волге широкой, на Сормовской долине,
 великим колесом зовёт пароход
 по широкой реке, на берегах долины,
 в рабочем покое купца великого
 в рубашке портупеи, в сапогах начищенных
 иранец обвенчан харитом финской
 была голубая, малик красавица, а маме
 на Волге в поросенком спок
 преданье зрелище, на книжке отаристий
 саломилася в ошейнике золотом
 до чурчанной селки, до первого сигнала
 шумными дорожками
 везу в ошейник

$H^4 \rightarrow \beta + \nu + He^4$ | $Li^4 \rightarrow$ unstable probably
 $Li^8 \rightarrow \beta + \nu + Be^8$ x 0 x | $Be^8 \rightarrow \beta + \nu + Li^8$ 0
 $B^{12} \rightarrow \beta + \nu + C^{12}$ x 0? x | $N^{12} \rightarrow \beta + \nu + C^{12}$ 0
 $N^{16} \rightarrow \beta + \nu + O^{16}$ x | $F^{16} \rightarrow$ unstable
 $F^{20} \rightarrow \beta + \nu + Ne^{20}$ x x | $Na^{20} \rightarrow \beta + \nu + Ne^{20}$ 0

- For meson work -
Delayed α emission ??? :
- 1) $He^4 + \pi^- \rightarrow He^4$ (fast)
 $\rightarrow \beta^-$ and He^4 recoil
 - 2) a) $C^{12} + \pi^- \rightarrow B^{12}$ (fast)? | $C^{13} + \pi^+ \rightarrow N^{12} + n$
| $C^{12} + \pi^+ \rightarrow N^{12}$ (fast)
b) $C^{13} + \pi^- \rightarrow B^{12} + n$ | $Ne^{20} + \pi^+ \rightarrow Na^{20}$ (slow)

Lirica di Sormovo (Сормовская лирическая)

Poesia d'amore (diventata poi canzone) di
Yevgeniy Aronovich Dolmatovsky
*Parla di un fidanzato che si veste a festa e
va nella cittadina di Sormovo a trovare la
sua bella, ma viene da lei deluso.*

Il testo russo della poesia

На Волге широкой, на стрелке далёкой,
Гудками кого-то зовёт паравоз
Под городом Горьким, где ясные зорьки,
В рабочем посёлке подруга живёт.
В рубашке нарядной, к своей ненаглядной
Пришёл объясниться хорошим дружком:
Вчера говорила, навек полюбила,
А нынче не вышла в назначенный срок.
Свиданье забыто, над книгой раскрытой
Склонилась подруга в окне золотом.
До утренней смены, до первой сирены
Шуршат осторожно шаги под окном.
Ой, летние ночки, буксиров гудочки...
Волнуется парень и хочет уйти.
Но девушки краше, чем в Сормове нашем,
Ему никогда и нигде не найти.

А утром у входа
Родного завода
Влюблённой
девушка встретится вновь
И скажет: «Немало
Я книжек читала,
Но нет ещё книжки про нашу любовь».

На Волге широкой,
На стрелке далёкой
Гудками кого-то зовёт паравоз.
Под городом Горьким,
Где ясные зорьки,
В рабочем посёлке подруга живёт.

В рубашке нарядной
К своей ненаглядной
Пришёл объясниться хороший дружок:
Вчера говорила —
Навек полюбила,
А нынче не вышла в назначенный срок.

Свиданье забыто,
Над книгой раскрытой
Склонилась подруга в окне золотом.
До утренней смены,
До первой сирены
Шуршат осторожно шаги под окном.

Ой, летние ночки,
Буксиров гудочки...
Волнуется парень и хочет уйти.
Но девушки краше,
Чем в Сормове нашем,
Ему никогда и нигде не найти.

А утром у входа
Родного завода
Влюблённой девушка встретится вновь
И скажет: «Немало
Я книжек читала,
Но нет ещё книжки про нашу любовь».

<http://poetryrain.com/authors/dolmatovskiy-evgeniy/10919>

<https://www.youtube.com/watch?v=lg0g5-2fK5k>

Pagina 85: Siamo ad estate 1951 (~ July 11) e Pontecorvo cerca di definire il programma per l'anno successivo.

Plan for the year

85

I) Anatol Alex + Vladimir.

Investigation of the possibility of ^(a stable state) ~~existence of~~ H^4 , and, in case of existence of H^4 , inquiry of its properties.

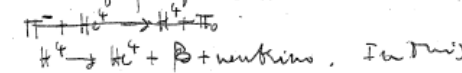
The ~~main~~ ^{main} ~~point~~ ^{point} of the problem is ~~to~~ ^{to} ~~investigate~~ ^{investigate} the point of view of ~~the~~ ^{the} ~~possibility~~ ^{possibility} of ~~the~~ ^{the} ~~existence~~ ^{existence} of H^4 on the way of a decay.

Preliminary experiments should be made within the next few months. The first experiment consists in ~~curving~~ ^{curving} the (hypothetical) β particles from H^4 in π , β etc counters in coincidence, placed at a distance of ≥ 10 cm from the cyclotron target. This method should give a rough measurement of H^4 , while a measurement of the lifetime (expected value $\approx 10^{-3}$ sec) is made by electronic methods.

The H^4 could be produced in the target by nuclear interactions (?): for example Li^8 excite $\rightarrow H^4 + He^4$. If the first rough experiment is successful, it will take about a year to investigate the properties of H^4 (spectrum, lifetime), and ~~roughly~~ ^{roughly} to study in what condition it is produced.

If the first experiment is not successful, other methods ~~should~~ ^{should} be considered. These are a) detection of H^4 in a long liquid organic scintillation counter, biased so that it does not register β particles of $E_{\beta} \leq 14$ MeV, and π by high energy neutron.

b) Detection (on a prop. count. filled with He) of delayed α particles (\approx few tens KV) corresponding to the recoil of β from H^4



The 50 MeV π^- meson should be used to produce H^4 according to $\pi^- + He^4 \rightarrow H^4 + He^4$

All the experiments above considered may not be ~~of~~ ^{of} ~~any~~ ^{any} ~~interest~~ ^{interest} of the problem

Plan of the year

85

I) Anatol Alex + Vladimir
Investigation of the possibility of a stable state of H^4 , and, in case of existence of H^4 investigating of its properties.

The problem is interesting from the point of view of the ?? light number ????? on the ?? β decay.

Preliminary experiments should be done within the next few months. The first experiment consists in curving the (hypothetical) β particles in the cyclotron magnetic field and registering them in 3 counters in coincidence, placed at a distance of ≥ 10 cm from the cyclotron target. This method should give a rough measurements of H^4 , while a measurement of the lifetime (expected value $\approx 10^{-3}$ sec) is made by electronic methods. **The H^4 could be produced in the target by nuclear interactions (?): for example Li^8 excite $\rightarrow H^4 + He^4$.**

If the first rough experiment is successful, it will take about a year to investigate the properties of H^4 (spectrum, lifetime) and ?? also to study in what condition it is produced.

If the first experiment is not successful, other methods are considered: these are a) **detection of H^4 in a long liquid organic scintillation counter**, biased so that it does not register ??

β particles by Energy ≤ 14 MeV, and ?? by high energy neutron. b) **Detection (on a prop. count. filled with He) of delayed α particles (\approx few tens KV) corresponding to the recoil of β from H^4**

$H^4 \rightarrow He^4 + \beta + \text{neutrino}$. In this experiment, the 50 MeV π^- meson should be used to produce H^4 according to $\pi^- + He^4 \rightarrow H^4 + He^4$ but unfortunately the interest of the problem

Pagina 87: Siamo ad estate 1951 e Pontecorvo cerca di definire il programma per l'anno successivo.

double meson production. (This necessitates a chemical technique).



III ~~Supplement~~ Georgy Ivan Selivan
Properties of Interaction with

~~neutron~~
- Development of techniques capable of detecting electronically ~~charged~~ mesons - ~~for the~~ Investigation of π^+ production in hydrogen ^{neutron beams} of neutrons -

~~IV Investigation of the~~
The method consists in detecting the π^+ from the $2.2 \mu s \mu^+ - e^+$.

~~IV~~ The n-p has special interest, because until now there is no certain evidence that charged mesons are intensively produced in n-p collisions.

IV Direct detection of the meson beam (and) from the cyclotron ^{in the} with ~~chemical~~ ^{electronic} methods.
Application to an increase of π^+/π^- ratio.

Application to change of $\frac{\pi^+}{\pi^-}$ ratio with Z.
The method ^{will} use small photoplates or scintillation counters in coincidence.

V ~~Development of Cerenkov detectors~~
for the study of relativistic particles

double meson production (this necessitates a chemical technique).

III **Georgy Ivan Selivan**

-Development of techniques capable of detecting electronically mesons. Investigation of π^+ production in hydrogen and other elements by neutrons.

The method consists in detecting the π^+ from the $2.2 \mu s \mu^+ - e^+$.

The n - p has special interest because until now there is no certain evidence that charged mesons are intensively produced in n-p collisions

IV Direct detection of the meson beam (+ and -) in the cyclotron, with electronic methods ??? Counters.

Application to the **measure of π^+/π^- ratio.**

Application to change of π^+/π^- ratio with Z.

The method will use small photoplates?(?) counters or scintillation counters in coincidence

V Development of Cerenkov detectors, for the study of relativistic particles.

Pagina 91: July 18, ultima data presente sul quaderno che contiene ancora 9 pagine.
 Si inizia ad attuare il programma stabilito con due esperimenti in contemporanea nelle
 sale sperimentali room 3 e room 2 (con fascio di neutroni).

91

July 18

- Box No 1, in Room 3 of cyclotron building -
 Voltage: 830V. ↓ Cyclotron does not work:
 24x64 + 25 /min
 24x64 + 50

maximum* Cyclotron works with intensity
 34x64 + 32
 42x64 + 28
 42x64 + 24
 44x64 + 0

Cyclotron does not work
 23x64 + 49

Room No 2, with neutron beam passing through 30x30 open window, and fenced shielding very bad with bricks:
 Near the hole close to detector room:
 $\approx 70x64$ /min
 $\approx 60x64$ /min

Maximum intensity, now "maximum" for the time being, i.e. $\approx \frac{1}{5} - \frac{1}{4}$ times less than usual, because the voltage on D must be small

Room No 2
 At a distance of ≈ 100 cm from neutron beam: 120x64 (But there was apparatus!)
 - 2 hrs waiting to ask period time, about 2 hours, to measure carefully.

Conclusion: since the beam was very wide, but the shielding of the big window poor, but the cyclotron intensity low, the background conditions are \approx like they will be:
 - Beam of a key ≈ 10000 /min -
 Calculations of beam on
 - Experiment on Π^+

AB-(C,C') Triggers
 (CC') delayed

Background:

$(AB-C)(C') \times \tau$, small - , because
 common has been decreased by neutron order, cannot AB=C and CC=C small and AB=C and CC=C
 ; respectively the actual particles from radiator.

Pontecorvo riprende a scrivere sul primo quaderno il 14 settembre 1951 iniziando dall'ultima pagina (la numero **100**) dopo aver capovolto il quaderno. Propone di fare l'esperimento di produzione di mesoni con un fascio di neutroni: **"Experiment on production of mesons by neutrons"**:

$\frac{1 \times 1538 \times 14}{8 \times 10^6} \times \frac{10^3 \times 14}{8 \times 10^6} \times 2 = \frac{1016}{400 \times 10^3 \times 10^3}$

$\frac{1000}{60} \times \frac{150}{60} \times 3 = 150 \times 3 = 450$

$2 N_1 N_2 Z = C$

$\pi^+ + p \rightarrow n + \gamma$
 $\pi^+ + p \rightarrow n + \pi^0$
 $\pi^+ + n \rightarrow \pi^+ + p$
 $\pi^0 + p \rightarrow \pi^+ + n$
 $\pi^0 + n \rightarrow \pi^- + p$
 $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + p$

AB-C-D

Antineutrino

15000
60
150
750 x 3

14 September

Experiment on production of mesons by neutrons:

- π^0
It is necessary: 1) the "radiator" R
2) the "converter" C
3) the "absorber" A between the last counters
4) the absorber of γ radiation T

R \rightarrow The radiator must be a "sphere" of diameter = m.f.p. for γ . I exp. Diameter 10 cm approx.

C \rightarrow The converter must be 1 cm Pb, area equal to the counter tray area.

A \rightarrow The absorber between counters must be 1 cm Al, area equal to the tray counter, small.

T \rightarrow Must be about 1 cm thin of Pb and 1 cm thin of Cu (to see that the radiation is really γ), area equal to the tray counter.

The geometry as follows:

The detecting counters (five away) are the track tray to increase the coincidence efficiency.

$\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + p$

14 September

Experiment on production of mesons by neutrons:

- π^0
It is necessary:
1) the "radiator" R
2) the "converter" C
3) the "absorber" A between the 2 last counters
4) the absorber of γ radiation T

R \rightarrow The radiator must be a "sphere" ...

C \rightarrow The converter must be 1 cm Pb, ...

A \rightarrow The absorber between counters ...

T \rightarrow Must be about 1 cm thin of Pb, ...

The geometry as follows:

.....

.....

E continua a scrivere quello che oggi chiameremmo il "Technical Proposal" dell'esperimento...

A settembre 1951, meno di un anno dopo il suo arrivo a Dubna, Bruno Maximovich Pontecorvo è un rispettato **group leader di un gruppo di giovani fisici** (Vladimir, Anatol, Alex, Adolph and George Selivanov). In frequenti group meeting assegna ad ogni membro del gruppo il lavoro da fare, stabilisce il programma sperimentale da seguire, definisce come realizzare certe misure, etc.etc..:

- 1) Vladimir: Finish work on H^4 , in the present variant, + report. Help of Anatol, Alex. *Help of Kirka.*
- 2) Adolph: Finish work on mesons with radioactive indicators + report. Have β counters ready. Have α counter ready.

- 3) George
 - 1) Finish work on duty factor + report.
 - 2) Conclude on the work of production of π^0 in C by neutrons.
 - 3) Initiate electronic detection of mesons in forest.
 - 4) Finish ~~one~~ ^{one} channel coincidence ~~counter~~ ^{unit} consisting of 3 circuits + scintillator (10^{-8} sec), on the principle:

double coincidence 10^{-8} , triple 10^{-6}
+ 1 channel coincidence anti, external.
external, coinc, or anticoinc.

Remember delay of 5×10^{-8} to measure accidental.

- 4) Anatol: finish work + write ² reports
 - a) angular
 - b) total work on secondary neutrons

Program

- 1) Measure the effective duty factor of the cyclotron as follows - Frimis:
 - a) Measure the resolving time of the system (using continuous sources).
 - b) Measure the accidental rates when the cyclotron works.

Experiment a: In the cyclotron building with a distance of two traps of about 10m, and with 2 sources, measure:

 - 1) Single rates, and coincidence: $C-D-A-B$ invol. coinc.
 - 2) Same with no source for collecting values in subsequent experiment.

Experiment b:

 - 1) When cyclotron works, single rates and coincidence rates.

Measurement of α , duty factor.

- I) Take 2 single counters. +
- II) Put them on the beam, far away with from each other, and measure A B (AB)
- III) ~~Verify that~~ Verify that the cyclotron is constant.
- IV) ~~In various conditions of~~ Measure also after shutdown, A, B (AB).
- V) Write all data relative to the cyclotron
- VI) If ^{the} experiments ^{are} reasonably reproducible, try various conditions of cyclotron.

L'attività di tutto il gruppo è molto ben documentata giornalmente

-Workshop time- 180 Telescope
 *480 Protot.
660
 It was decided to cancel * 660 for that the time for us will be:

180	Telescope G.I
180	Other telescope.
100	small work
100	small chassi
<u>100</u>	Prot + Versorium
<u>660</u>	

Of these: \approx February 16 \approx 24^h television cylinders

- 1) ~~repeats~~
- 2) repeats
- 3) 2 cmolobri = }
- 4) Tomnum
- 5) ~~repeats~~

27 February - Workshop time: 630.

2 telescope	: 400 hrs
Fe shield	: 25 hrs
chassi	: 30 hrs

15 Consider
 To test the various coincidences and anticoincidence efficiency, make the following experiments. No numerals:
 Big pink box: A 997
 Big black box: C' 1263 ~~1263~~
 Very wide tube box: A 885
 Other tube box: B 885

- Ist experiment, testing in natural parameters

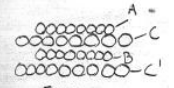


Fig 1

Measure $(ACBC')$

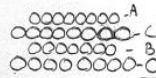
$$(ACBC') = 57x4+0 = 56x4+1$$

$$(ABC'-C) = 15x4+0 = 2x4+3$$

$$(ABC'-C) = 41x4+2 = 35x4+2$$

same but fine channel with no voltage on C.

II experiment



$$(AC'BC) = 113/2m$$

$$(ABC-C') = 53/2m$$

$$(ABC-C') = 140$$

with no voltage on C'

This is no good.

- Fig 2 - Repeat experiment after change of electronic.

$$(AC'BC) = 54x4+1 = 51x4+3$$

$$(ABC-C') = 15x4+0 = 15x4+3$$

$$(ABC-C') = 42x4+3 = 43x4+2$$

with no voltage on C'

Dez ymnarov.

A	124	} x64	2m	Note: in this case the cylinder was captured, but not time measured! Take the time.
B	46			
C	94			
D	15			
BCD-A	20			

Dez ymnarov.

\perp	\subseteq	c koshchepnyy-poll		
A	1400	} x64	977/3m	
B	514			
C	669			
D	656			
BCD-A	10x64+60			

Dez koshchepnyy-poll

\perp	\subseteq	Dez koshchepnyy-poll		
A	1436	} x64	1000/3m	
B	605			
C	693			
D	700			
BCD-A	5x64+26			

Torlako c koshchepnyy-poll u Dez koshchepnyy-poll

\perp	\subseteq	Torlako c koshchepnyy-poll u c koshchepnyy-poll		
A	883	} x64	993/3m	
B	421			
C	643			
D	651			
BCD-A	2x64+27			

Torlako c koshchepnyy-poll u c koshchepnyy-poll

\perp	\subseteq	c koshchepnyy-poll		
A	847	} x64	1007/3m	
B	571			
C	612			
D	615			
BCD-A	4x64+17			

Torlako c koshchepnyy-poll u c koshchepnyy-poll

\perp	\subseteq	c koshchepnyy-poll		
A	1806	} x64	982/3m	
B	534			
C	694			
D	677			
BCD-A	6x64+33			

Tempo richiesto in officina meccanica per costruire il supporto dei rivelatori

Misure di efficienza di varie coincidenze e anticoincidenze dei rivelatori

La presa dati

L'attività di tutto il gruppo è molto ben documentata giornalmente

Final results of all measurements

	When	Observed	Corrected
C		1	1
Al	27 febr.	0.70 ± 0.10	0.85 ± 0.12
Fe	26, 25 febr.	0.95 ± 0.08	0.46 ± 0.11
Cu	26, 25 febr.	0.52 ± 0.09	0.45 ± 0.13
Sn	26, 22 febr.	0.27 ± 0.05	0.35 ± 0.07
Pb	27 febr. 26 febr.	0.10 ± 0.04	0.14 ± 0.06

$$\frac{\sigma_{\text{el}}}{\sigma_C} = \frac{\text{Eff}_{\text{el}}}{\text{Eff}_C} \times \frac{56.3}{\left(\frac{\text{Weight}}{A}\right)_{\text{el}}} \cdot \text{elem.}$$

$$\frac{\sigma_{\text{Al}}}{\sigma_C} = 0.85 \times \frac{56.3}{\frac{813}{27}} = 1.6 \pm 0.2$$

$$\frac{\sigma_{\text{Fe}}}{\sigma_C} = 0.46 \times \frac{56.3}{\frac{660}{55.8}} = 2.2 \pm 0.5$$

$$\frac{\sigma_{\text{Cu}}}{\sigma_C} = 0.45 \times \frac{56.3}{\frac{668}{63.6}} = 2.4 \pm 0.5$$

$$\sigma_{\text{Sn}} = 0.35 \times \frac{56.3}{\frac{550}{118.7}} = 4.3 \pm 0.8$$

$$\sigma_{\text{Pb}} = 0.14 \times \frac{56.3}{\frac{328}{207}} = 5 \pm 2$$

Be	$\frac{\sigma_{\text{el}}}{\sigma_C} (N, \pi^0)$	Cells (no)	$\frac{\sigma_{\text{el}}}{\sigma_C} (N, \pi^+)$
C	1	0.24	1
Al	1.6 ± 0.2	0.58	2.1
Fe	2.2 ± 0.5		2.8 ± 1.3
Cu	2.4 ± 0.5	1.03	2.9 ±
Sn	4.3 ± 0.8	1.64	7.0 ± 3.6 ± 2
Pb	5 ± 2	2.58	11
U		2.92	3 ± 1.6

Summary result Be-C (29 febr. 52)

C c krombin:	C: Fey kromb.
565	291
569	287
542	248
520	277
517	276
511	277
592	306
3826	1962

Be c kromb:	Be: Fey kromb:
571	258
501	251
571	251
523	246
508	238
547	295
560	1802
3781	

Torino c kromb:	Torino Fey kromb:
239	155
258	143
301	188
267	149
278	166
264	165
275	159
1882	120

$$\text{C effect: } (3826 - 1882) - (1962 - 1120) = 1944 - 842 = 1102 \pm 92$$

$$\text{Be effect: } (3781 - 1882) - (1802 - 1120) = 1899 - 682 = 1217 \pm 91$$

$$\frac{\sigma_{\text{Be}}}{\sigma_C}, \text{ observed} = 1.1 \pm 0.16$$

$$\text{Weight C} = 329.18$$

$$\text{Weight Be} = 33226$$

$$\frac{\sigma_{\text{Be}}}{\sigma_C} = \frac{\text{Eff}_{\text{Be}}}{\text{Eff}_C} \times \frac{\left(\frac{\text{Weight}}{A}\right)_C}{\left(\frac{\text{Weight}}{A}\right)_{\text{Be}}} = 1.1 \times \frac{329.2}{\frac{12.01}{337.10}} = 1.1 \times \frac{329.2}{0.0356} = 1.1 \times 9240 = 10164 \pm 1016$$

$$= 0.81 \pm 0.12$$

$$\boxed{0.79 \pm 0.12} \text{ Corrected}$$

I risultati finali dell'esperimento di produzione di mesoni con fascio di neutroni

Il discorso al group meeting del 6 marzo 1952

“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. È capitato molte volte che alcuni membri del gruppo abbiano chiesto aiuto su problemi di elettronica a persone di altri gruppi mentre c'è all'interno del gruppo G.I., una persona molto competente in elettronica. Pontecorvo conclude pertanto in modo deciso che questo stato di cose non è accettabile e deve cambiare radicalmente per l'interesse di tutto il gruppo.

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 seminare every week, of 1st or 2nd on Thursday at 6th. This seminare will be an informal argument and will have 2 parts: a) Briefly ~~any~~ ^{every} member of group will describe the progress of the week.

b) There will be a brief mention of what has been ~~the progress~~ ^{the progress} in the week's new our one foreign journal to be paper.

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

mean? This means that G.I. will help, ~~we~~ ^{we} with his experience of electronic design and construction, other members of group. This collaboration must be friendly. This collaboration must also be 2 ways, i.e. in the interest of all. Specifically, what ~~is~~ ^{is} this mean reorganization mean:

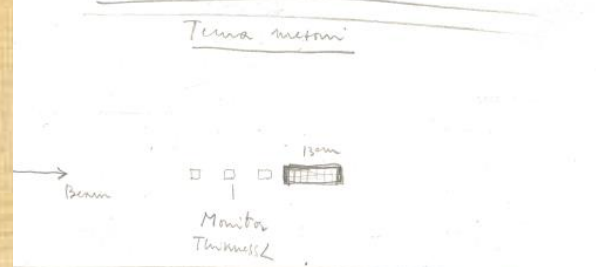
- I) G.I. will help in general with advice state work of the group and technical problems
- II) ~~The help~~ ^{will} be given by him
- II) In addition to advice, there will be useful concrete form. ~~Give~~ ^{Give} stature appreciation, and even part of construction, and testing, in other words full collaboration on a technical team. ~~It~~ ^{It} means, that on a given team, there will be collaboration. G.I. will look more in this role of the work that on the work in the group and only
- III) ~~The~~ ^{The} division that applies to the work

- III) It is essential that, generally speaking, every team has more or less his own apparatus. This mean, generally, not plurality of apparatus from a few to other on the same type of apparatus.
- IV) ~~The~~ ^{The} work collaboration, generally speaking, can on some continue to work only with group I am on his own team. This is mean

68 division,

because of IV want to also in make my own and not to be constructed by other. The interest of other people in the group will be of course that will have advice and be trained, and be able to do of I out he will participate in experiments not any.

~~It is necessary to have a clear idea of the point which is being discussed.~~



Il discorso al group meeting del 6 marzo 1952

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 discussion more frequently. For this we will make a seminar every week, of $\approx 1^h$, on Thursday at 6^h ...omissis...

The third is the most important thing that we have to discuss. In my opinion personal relations inside our group were ~~very bad~~ not satisfactory. **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.**

...omissis.... **the situation was not satisfactory and we must change it radically, for the interest of the total scientific production of the group. For this is necessary that it is established more collaboration in our group.**

What does this mean? This means that G Iv. will help, with his experience of electronic design and construction, other members of the group. This collaboration must also be 2 ways, i.e. in the interest of all. Specifically, what this reorganization means:

I) G.I. will help in general with advice other member of the group on electronic problems

II) In addition to advice, there will be more concrete form. Give scheme apparatus, and even of constructing and testing, in other words full collaboration on a scientific thema.

III) It is essential that, generally speaking, every thema has more or less his own apparatus. IV)....omissis,Cast (?) and Gean (?) continue to work only with George Ivan.. on his own theme. This is necessary because G Iv wants to work(?) in nuclear physics and not to be working on constructing apparatus.

V) The interest of other people in the group will be of course that will have advice and be trained, of G. I. that he will participate in experiments

~~VI) Rememberis good what is for everybody~~



Propone la creazione di un gruppo di elettronici che sviluppino l'elettronica per tutti i gruppi del laboratorio, ma, 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".

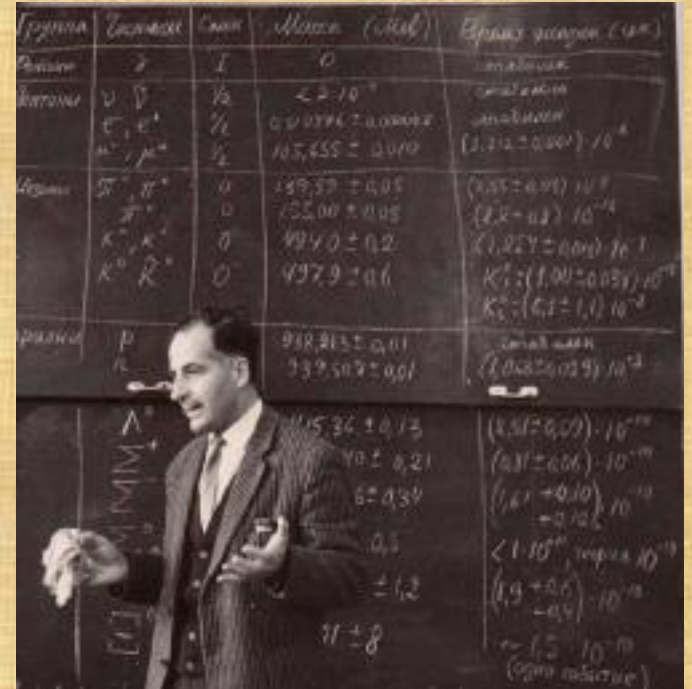
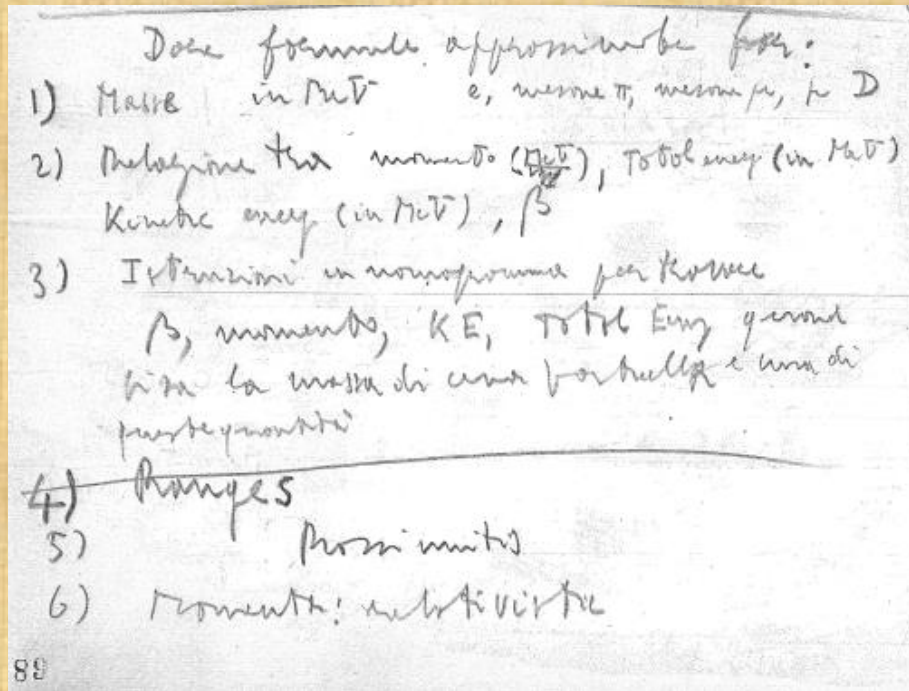
- Electronics and Nuclear Physics -

Until a few years ago, it was natural for the experimental physicist to produce himself all the electronics equipment necessary for his experiments. However nowadays the quantity of electronic equipment necessary for research is so great that **an electronic group, providing "standard equipment" and developing new advanced techniques is very desirable**omissis ...The presence of an electronic group not only is necessary to produce the large quantity of equipment necessary for physics research. It is necessary also because it is not possible to expect that every physicist in the laboratory can design and produce first class equipment as a "professional" man....omissis..**The specialization in science and techniques today is a necessity, however unpleasant it may be.** The presence of an electronic group requires not only continuous control and discussions between the nuclear physicists and the electronic group but also an **absolute equality of "status" between the profession in "electronics" and the profession on "nuclear physics"**. This point is very important,

because in some physics laboratories there is the tendency to put nuclear physics on higher plane than electronics....omissis....It is true that the discovery of a new particle is more important than, for example, the realization of a stabilovolt (?), but it is equally true that the introduction of negative feed-back, or the development of the travelling (?) wave amplifier is much more important than for example, the study of a certain $p, 3n$ reaction. Electronics and nuclear physics are 2 parts of physics of equal importance (?). If this artificial behaviour (?) is kept, clearly it is impossible a collaboration between professional electronic men and professional nuclear physicists: the professional electronic man will want to move (?) nuclear experiments, and consequently disappears the possibility of existence of an electronic group. If, on the contrary, the electronic man will feel that his work in electronics is appreciated, that he can gain prestige by the development of new apparatus, then he will generally prefer to work in such field.

Il Professore

Una 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. 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.

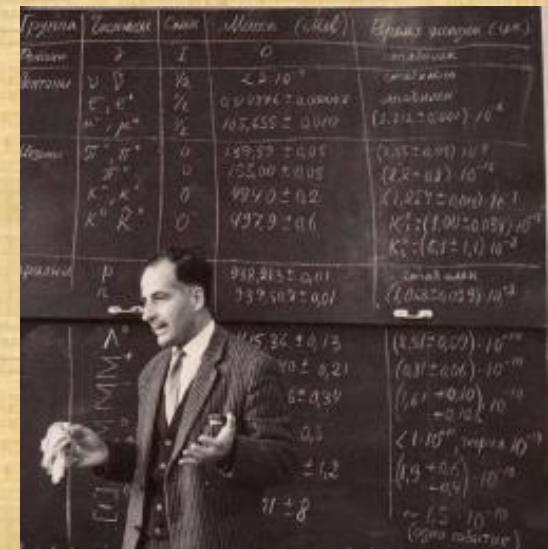


Dare formule approssimate per:

- 1) Masse in MeV e, mesone π , mesone μ , p, D
- 2) Relazione tra momento (MeV/c), Total energy (in MeV), Kinetic energy (in MeV), β
- 3) Istruzioni in monogramma(?) per trovare β , momento, KE, Total energy quando si sa la massa di una particella e una di queste quantità
- 4) Ranges
- 5) Rossi units
- 6) Momenta: relativistic

Il Professore

In queste tre pagine, probabilmente per una lezione di fisica da fare ai suoi giovani collaboratori, Pontecorvo scrive alcune formule di cinematica relativistica e riporta i risultati del calcolo del cammino libero medio per protoni e deutoni in rame ed alluminio per diversi valori dell'energia di queste particelle.



- Useful relativistic formulae in C.G.S. -
 E_{tot} ; E_{kin} ; m_0 ; v = velocity; p = momentum.
 $E_{kin} = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$; $E_{tot} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}}$; $\frac{mc^2}{E_{tot}} = \sqrt{1-\beta^2}$
 $p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\beta^2}}$; $\frac{pc}{E_{tot}} = \beta$; $\frac{pc}{mc^2} = \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$
 $E_{tot} = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2} = mc^2$; $p = \frac{\sqrt{E_{tot}^2 - m_0^2 c^4}}{c}$
 If we express energy, momenta, and mass in MeV, MeV/c, MeV/c², or, briefly, in MeV, then, and denote in those units:
 $m = \text{mass in MeV}$
 $T = \text{kin. E. in MeV}$
 $K = \text{Total energy } m + T = E_{tot}$
 $K = \text{Momentum in MeV/c}$
 $Hg = \text{viscosity in poise-cm}$
 $T = m \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$; $K = \frac{m\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$; $T \leq K \leq T + m$
 $E_{tot} = \sqrt{m^2 + K^2} = m$; $Hg = \frac{K \times 10^6}{300}$ (charge 1)
 $T = \sqrt{m^2 + K^2} - m$; $K = 300 Hg \times 10^{-6}$
 $\beta = \frac{K}{T+m}$; $\frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{K}{m}$; $\frac{T+m}{m} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$
 Masses (MeV):

	electron	μ	π	p	D
m	0,5108		140	931	

$\frac{c'}{mc}$ $\frac{p}{mc}$ $\frac{v}{c}$

- Units - - Electron relativistic -

Quantity	Symbol	Definition
Charge	e	charge of electron
Potential	v	volt
Velocity	c	velocity of light
Length	cm	centimeter
Time	$\frac{cm}{c}$	time necessary for light to travel 1 cm
Energy	eV	energy of an electron accelerated by 1 volt.
Mass	$\frac{eV}{c^2}$	mass of a particle whose rest energy is 1 eV
Momentum	$\frac{eV}{c}$	momentum of a particle for which total energy ² - rest energy ² = 1 (or momentum of a particle whose energy is 1 eV and velocity c)
Electric field	$\frac{V}{cm}$	
Force	$\frac{eV}{cm}$	force acting on an electron in a field of 1 Volt/cm.
Magnetic induction (B)	$\frac{V}{c} cm$	Magnetic induction of a field in which a particle with unit momentum and unit charge has a radius of curvature of 1 cm when travelling perpendicular to the field (1 V/cm = $\frac{1}{300}$ gauss)

$m \frac{d^2x}{dt^2} = e v \times H$
 $mv = m_0 \frac{dx}{dt}$
 $mv = m_0 \frac{dx}{dt} = m_0 \frac{dx}{dt} = m_0 \frac{dx}{dt}$

Range of protons and range of Deuterons -

Energy (MeV) →	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Proton Range (g/cm ²)	in Cu	0,25	0,75	1,4	2,4	3,5	5,0	6,5	7,7	10,0
	in Al	0,15	0,55	1,2	1,9	2,9	4,0	5,3	6,5	9,5

Energy (MeV) →	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600
Proton Range (g/cm ²)	in Cu	5,3	6,8	8,6	10,4	12,2	14,2	16,2	18,3	20,4
	in Al	4,3	5,6	7,2	8,6	10,4	12,0	13,7	15,6	17,3

Range of Deuterons

Energy (MeV) →	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Deuteron Range in (g/cm ²)	in Cu	0,5	1,5	2,8	4,8	7	10	13	15,4	20,0
	in Al	0,3	1,1	2,4	3,8	5,8	8	10,6	13	16,0

Particle die energies (MeV/g/cm²)

E_{tot} (MeV)	Cu	Al
200	3,03	3,58
250	2,85	3,12
300	2,40	2,81
350	2,21	2,59
400	2,08	2,43
500	1,88	2,20
600	1,76	2,05

In questo quaderno di appunti c'è la storia di alcuni esperimenti sulla produzione di mesoni pi-greco con fasci di neutroni e di protoni su bersagli di protoni e di nuclei complessi che Bruno Maximovich Pontecorvo e il suo piccolo gruppo hanno fatto al ciclotrone di Dubna. Bruno usa questo quaderno per riportarci giornalmente l'attività scientifica sua e del suo gruppo ma anche per annotarci idee, calcoli e disegni in modo assolutamente informale. Vi scrive anche alcune prime stesure degli articoli degli esperimenti fatti in quel periodo. Questo è il draft dell'articolo "Production of neutral mesons by neutrons", del primo esperimento che aveva proposto il 14 settembre e che verrà poi pubblicato come report interno scritto in russo (B.M.Pontecorvo, G.I.Selivanov, RINP, 1951).

- Production of neutral mesons by neutrons -

Schema:

A) Introduction B) Apparatus C) Absolute experiment in Carb D) Relative measurements Discussion in relation to production of mesons E) Relative measurements F) Discussion a) production b) λ c) Conclusions - Spectrum

Introduction.

Considerable amount of data have been published in the last years on the production of mesons by protons. The ~~subject~~ ^{production of charged mesons} production of mesons by neutrons has been so far only the object of a short communication and the production of neutral mesons by neutrons so far had not been observed. The following table summarizing the present day information on this subject.

Table I

It is clear from this table that production of charged and neutral mesons in ^{elementary} n-p collisions has not yet been observed, and ~~not~~ ^{even} in complex nuclei. The ~~same~~ ^{production} 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 natural presents ^{a considerable} some interests. In the present work we report experiments we have made utilizing the neutrons from the ~~synrocyclotron~~ ^{synrocyclotron} of our laboratory, we have investigated (and observed, for the first time), the production of neutral mesons in Hydrogen and complex nuclei of neutrons. The ~~research on~~ ^{investigation} production of neutral

- Production of neutral mesons by neutrons -

Schema:

A) Introduction B) Apparatus C) Absolute experiment in Carb D) Relative measurements Discussion in relation to production of mesons E) Relative measurements F) Discussion a) production b) λ G) Conclusions - Spectrum

Introduction -

While a considerable amount of data have been published (1) in the last years on the production of mesons by protons from accelerators, the 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 had not been observed. The following table summarize 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 elementary n-p collisions has not yet been observed, and ~~not~~ even in complex nuclei. The production of neutral mesons by neutrons has not yet been observed. For this reason, ~~Because of the absence of data in this subject, it was natural presents some a considerable interests~~ In the present work we report experiments we have made utilizing the neutrons from the syncrocyclotron of our laboratory, we have investigated (and observed for the first time), the production of neutral mesons in Hydrogen and complex nuclei by neutrons.

Primi report interni sulla produzione di mesoni π

I risultati di tutti gli esperimenti fatti da Pontecorvo ed il suo gruppo nel periodo 1951-1954 al ciclotrone di Dubna furono pubblicati in russo come Report Interni del Laboratorio.

In questi primi esperimenti venne studiata la produzione di mesoni π , carichi e neutri, con protoni e neutroni su bersaglio di protoni e nuclei complessi.

La produzione del π^0 con fascio di neutroni su protoni e nuclei complessi fu studiata per la prima volta nel mondo. (B.M.Pontecorvo, G.I.Selivanov, RINP,1951) and (B.M.Pontecorvo, G.I.Selivanov, RINP,1952; Dokl.Acad. Nauk SSSR,102,253 (1955)).

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

A) Introduction B) Apparatus C) Absolute experiment in Carb D) Production measurements Discussion in relation to production of mesons E) Polarization measurements F) Discussion ^{of the} conclusions - summary

Introduction.

A considerable amount of data have been published in the last years on the production of ~~charged~~ mesons by protons. The ~~highest~~ production of ~~charged~~ mesons by neutrons has been so far only the object of a short communication and the production of neutral mesons by neutrons to ~~fast lead and~~ has been observed. The following table summarizing the present day information on this subject.

Table I

It is clear from this table that production of charged and neutral mesons in $n-p$ collisions has not yet been observed and ~~only~~ in complex nuclei. The ~~same~~ 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 natural to present some ~~interests~~ ^{a considerable} ~~in the present work~~ we report experiments we have made utilizing the neutrons from the ~~synthesization~~ 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 ~~scope~~ ^{conclusion} of neutral

УТВЕРЖДАН

ДИРЕКТОР ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО

И.Т.Александров (И.Г.ПОНТЕКОРВО)

25.09.1952г.

НАУЧНЫЙ ОТДЕЛ
СЕКТОР F 62

ОТЧЕТ

ОБРАЗОВАНИЕ π^0 -МЕЗОНОВ В (n-p) И (n-d)

СТАТИСТИЧЕСКИХ.

Начальник сектора F 62
профессор (Б.М.ПОНТЕКОРВО)

Исполнители:
профессор (Б.М.ПОНТЕКОРВО)

Ст. инженер (СЕЛИВАНОВ Г.И.)

1952 г.

25 September 1952

REPORT

Production of π^0 mesons in (n-p) and (n-d) collisions

Section leader
Professor (B.M.Pontecorvo)

Executors:
Professor (B.M.Pontecorvo)
Engineer (Selivanov G.I.)

Primi report interni sulla produzione di mesoni π

АКАДЕМИЯ НАУК СОВЕТА СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

661.6/7.16a
Пираева

"УТВЕРЖДАЮ"

Начальник Гидротехнической
лаборатории АН СССР
доктор физико-матем. наук

/М.Г.Исаев/

" марта 1952 года.

ОТЧЕТ

ПОИСКА ДЕТЕКТИРОВАТЬ ЯДЕРНОЕ РАССЕЯНИЕ π -МЕЗОНОВ
С ОБЫЧНОМ ЗАРЯДОМ ПРИ ПОМОЩИ РАДИОАКТИВНЫХ ИНДИКАТОРОВ.

Руководитель: проф. Понтекорво В.
Исполнители: проф. Понтекорво В.
инж. Мухин А.И.

March 1952

REPORT

Detection of charge exchange scattering
of π mesons on nuclei by the method of
radioactive indicators

Leader: Prof. Pontecorvo B.
Executors: Prof. Pontecorvo B.
Eng. Mukhin A.I.

Report Interno datato marzo 1952 gentilmente
procuratoci da Gil Pontecorvo

Attempt to detect the ^{charge exchange} scattering of π mesons by
the method of radioactive indicators.

Introduction

The interaction of π mesons with nuclei was first investigated in the cosmic ray region, with conflicting results. Brown (1) found on interaction mean free path ^{in photographic plates} for the π mesons produced in showers of relativistic particles of the order of the "geometrical" mean free path, while Piccioni, with counter techniques, obtained a mean free path > 10 times the geometrical mean free path. This discrepancy was removed when work with artificial π mesons from accelerator was initiated. In fact the results of ^{obtained with photographic} ~~the results of~~ ^{showed definitely} that π mesons interact with nuclei with a cross section of the order of femtobarns.

It occurred to us that ^{such} cross sections of this order could be detected with the method of radioactive indicators. In fact ^{intensities} of the order of 10^4 ^{ions/cm²/sec} ^{are available} from the operation of our laboratory it can be estimated that in ^{favorable} circumstances it is possible to detect ^{in certain} the production of ^{radioactive} ~~radioactive~~ ^{radioelement} with a cross section of 10^{-27} cm².

- The following processes with π mesons are considered:
- 1) Production of π^+ mesons (hydrogen or nuclei)
 - 2) Inelastic collision of the meson with nuclei ^{with energy loss} to produce a π^+ meson ^{with energy loss} and a π^0 meson.
 - 3) Inelastic collision with nuclei ^{with energy loss} to produce a π^+ meson ^{with energy loss} and a π^0 meson.

Attempt to detect the charge exchange scattering of π mesons by the method of radioactive indicators

Introduction

The interaction of π mesons with nuclei was first investigated in the cosmic ray region, with conflicting results. Brown(1) found an interaction mean free path in photographic plates for the π mesons produced in showers of relativistic particles of the order of the "geometrical" mean free path, while Piccioni, with counter techniques, obtained a mean free path > 10 times the geometrical mean free path. This discrepancy was removed when work with artificial π mesons from accelerator was initiated....omissis... It occurred(?) to us that nuclear interaction with cross section of this order could be detected with the method of radioactive indicators. In fact with the meson intensities of the order of 10^4 - 10^5 /cm²/sec, which are available in a beam from the cyclotron of our laboratory it can be estimated that in favorable circumstances it is possible to detect in light elements the production of radioelement with cross section only 10^{-27} cm². This report will be mainly concerned with an attempt to detect the reaction $\pi^+ + B^{11} \rightarrow \pi^0 + C^{11}$ from the radioactive indicators.

Draft in Inglese scritto tra il
5 ottobre e il 25 dicembre 1951

($^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + e^+ + \nu + 0.96\text{MeV}$ with 20.3 min. half-life)

Fisico sperimentale ma anche fisico teorico

Dalle pagine di questo quaderno emerge la figura di bravo fisico sperimentale che coordina le attività del suo gruppo con competenza e grande rigore scientifico.

Gli esperimenti sull'interazione π -nucleone che in questi anni Pontecorvo realizza col suo gruppo al ciclotrone di Dubna sono certamente molto importanti per capire, almeno da un punto di vista fenomenologico, le interazioni forti.

Con questi esperimenti si conferma che il protone e il neutrone per quanto riguarda le interazioni forti non sono due particelle diverse ma sono la stessa particella in due stati diversi di un nuovo numero quantico chiamato spin isotopico.

Tuttavia l'interesse scientifico di Pontecorvo va ben oltre questi esperimenti, e molte delle sue riflessioni di questi anni riguardano ancora le interazioni deboli.

L'interazione debole aveva da sempre affascinato Pontecorvo, alla cui comprensione aveva già dato contributi fondamentali.

Interessantissimo è ciò che scrive a pagina 8! !

(primi di Novembre del 1950)

On the transformations of mesons

8

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 ~~disintegration~~ ^{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 . But this M then would decay into π quicker than in Σ . So there is a contradiction between the evidence of a strong interacting particle and its long lifetime. This contradiction, of course, is resolved if the strongly ^{strongly} interacting particle is produced in pairs. So from the very fact that a) Σ mesons have a long life, 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. ^{Incidentally this consideration explains the fact that until present day} A consistent picture until now would be:

$\mu \rightarrow e + 2\nu$
 $\pi \rightarrow \mu + \nu$
 $\tau^+ = K = V^+ \rightarrow \begin{cases} \mu^+ + \pi^+ + \pi^- \\ \mu^+ + \pi^0 \end{cases}$
 $V_{0light} \rightarrow \pi^- + \mu^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^- ?$
 $V_{0heavy} \rightarrow p + \pi^-$

~~Other mesons have been produced.~~

$V_{0light} \Rightarrow \pi^+ + \pi^+ \text{ or } \pi^+ + \pi^- ?$
 $V_{0heavy} \Rightarrow p + \pi^-$

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

On the transformations of mesons -

The τ 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 τ does not interact with nuclei, because, if the τ interacts with nucleons then the rate of the 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 . But this M then would decay into π quicker than in τ . So 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 pairs. (*) So from the very fact that a) τ mesons have a long life, b) that they are present in abundance, - we can conclude that there are mesons (not necessarily the τ mesons) which are strongly produced in pairs.

(incidentally these considerations explain the fact that until present day cyclotron no other mesons than π mesons have been produced.)

A consistent picture until now would be:

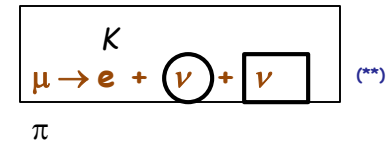
$$\mu \rightarrow e + 2\nu$$

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

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

$$V_{0light} \rightarrow \pi^- + \mu^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^- ?$$

$$V_{0heavy} \rightarrow p + \pi^-$$



(*) a fine 1950 senza la nozione della stranezza, è necessaria una profonda intuizione per proporre che una produzione in coppia risolve la contraddizione.

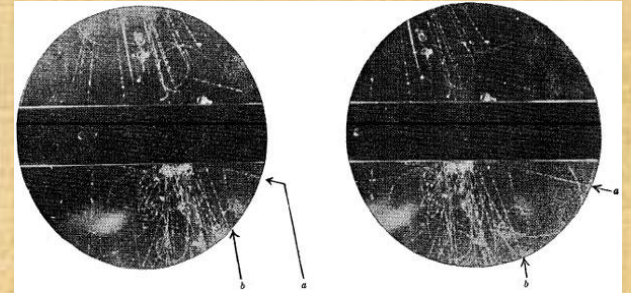
(**) forse solo una coincidenza! Due righe prima scrive $\mu \rightarrow e + 2\nu$ mentre qui scrive $\mu \rightarrow e + \nu + \nu$ indicando i due neutrini con due diversi segni.

Due profonde intuizioni in una singola pagina ?!

Particelle Strane

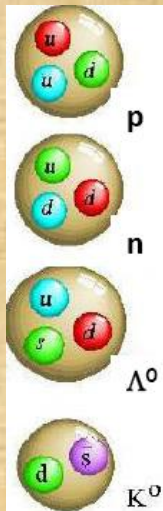
In questa pagina 8 Pontecorvo riflette sul comportamento contraddittorio di certe strane particelle da poco scoperte in esperimenti con i raggi cosmici. Queste particelle vengono prodotte con probabilità elevata tipica delle interazioni forti e decadono invece con vite medie relativamente lunghe (10^{-8} - 10^{-10} sec) il che induce a pensare che le interazioni deboli siano le forze responsabili del loro decadimento. Ma perché, si domanda Pontecorvo, 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? Come si risolve questa contraddizione? In questa pagina c'è la sua risposta:

to there is a contradiction between
the existence of a strong interacting particle,
and its long lifetime. This contradiction, of
course, is resolved if the strong ^{particle} particle is
produced in pairs.



Cloud-chamber photograph of a V^0 particle decaying into two charged particles
(G.D.Rochester, C.C. Butler, Nature 160, 855 (1947))

Due anni dopo, nel 1952, per risolvere questo problema anche A. Pais (Pais A., Phys. Rev., 1952, vol86, p.655) ipotizza che queste particelle strane 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. In "Recollections on the establishment of the weak interaction notion" (B. Pontecorvo, JINR Preprint E1-85-583, Dubna, 1985) Pontecorvo scrive: "On the basis of simple arguments I introduced (B. Pontecorvo, JETP, 1955, vol. 29, p.140, with quotations on previous papers.), independently of Pais the idea of pair production of the new particles, more exactly the pair production of hyperons and kaons." A fine 1950, senza la nozione della stranezza, è necessaria una profonda intuizione per proporre che una produzione in coppia risolve questa contraddizione!



Particelle strane

In un report interno del 1953 scritto in russo^(*), Pontecorvo discute come e perché deve essere studiata la produzione delle particelle τ (K^0) and V (Λ^0):

Тема 48. Методы регистрации частиц класса "С" и "V" с помощью электронных устройств и камеры Вильсона.

Руководитель: Понтекорво Б.М.

Theme 48. Detection method of the class of particles "τ" and "V" with electronic detectors and Wilson chamber.

Group leader: Pontecorvo B.M.

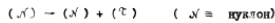
2. О процессах образования тяжелых мезонов и V-частиц.

Исполнитель: Понтекорво Б.М.

Написан отчет¹⁾, в котором излагаются некоторые замечания феноменологического характера о процессах образования тяжелых мезонов и V-частиц. Основные идеи этой работы обсуждались на семинаре в нашей лаборатории в 1951г. Хотя представленные рассуждения имеют характер поисков, они могут помочь сформулировать рабочие гипотезы при интерпретации экспериментальных данных и при обсуждении возможности постановки экспериментов по образованию новых частиц.

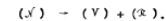
Выводы работы следующие:

1) Тот факт, что в соударениях при высокой энергии с большой вероятностью образуются мезоны (мезоны класса С), распадающиеся с продолжительным временем жизни на π -мезоны, указывает на то, что рождение этих мезонов не может происходить по схеме:

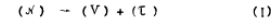


2) Аналогично, тот факт, что в соударениях при высокой энергии с большой вероятностью образуются частицы (тяжелые нуклоны класса V), распадающиеся с продолжительным временем

жизни на нуклоны и π -мезоны, указывает на то, что рождение этих частиц не может происходить по схеме:



3) Предполагается, что мезоны класса С и частицы класса V появляются вместе согласно схеме:



Таким образом одновременно возникают трудности, связанные с продолжительным временем жизни частиц класса V и мезонов класса С. Кроме того, эта схема подразумевает сильное взаимодействие между нуклонами и V-частицами.

4) Если схема (1) верна, то следует ожидать, что в благоприятных условиях должны осуществляться квази-стабильные системы из нуклонов и V-частиц.

Некоторые экспериментальные указания о справедливости этих выводов появились в литературе²⁾.

Ниже мы обсудим вопросы, связанные с порогами образования V-частиц при предположении, что в схеме (1) под V подразумевается известная V-частица.

Очевидно, что сечение реакции



должно быть крайне малым при справедливости схемы (1). Сле-

2. On the production of heavy mesons and V - particles.

Executor: Pontecorvo B.M.

A report has been written [B. Pontecorvo, Report numb. 850, 1953], in which certain comments of phenomenological character concerning the production of heavy mesons and V-particles are presented. **The main ideas of this work have been discussed at the seminar of our laboratory in 1951.** Although the issues presented are of a search nature, they may help in formulating operative hypotheses for interpretation of experimental data and the discussion of future experiments relevant to the production of new particles.

The conclusions are the following:

1. The fact that high energy collisions with a **high probability result in the production of mesons** (mesons of the τ class), **decaying with a long lifetime** into π -mesons indicates that **the production of such mesons cannot proceed** according to the following scheme: $(N) \rightarrow (N) + (\tau)$ ($N \equiv$ nucleon).
2. Similarly, the fact that high energy collisions with a **high probability result in the production of particles** (heavy nucleons of the V class), **decaying with a long lifetime** into nucleons and π -mesons indicates that the **production of these particles cannot proceed** according to the following scheme: $(N) \rightarrow (V) + (\pi)$.

3. The assumption is made that mesons of the C class and particles of the V class appear together according to the scheme:

$(N) \rightarrow (V) + (\tau) \quad (1)$

Thus, **difficulties related to the long lifetime of particles of the V class and of mesons of the τ class are resolved simultaneously.**

Moreover, this scheme implies strong interaction between nucleons and V-particles.

4. If the scheme (1) holds true, then quasi-stable systems of nucleons and V-particles can be expected to be realized in favorable conditions.

Certain experimental indications of the validity of the above conclusions have appeared in the literature [W.B.Fowler et al., Phys.Rev 91 (1953) 1062].

Below we shall discuss issues related to the production thresholds of V^0 -particles under the assumption that V in the scheme (1) is considered to be a known V^0 -particle.

Evidently, the **cross section of reaction**



should be extremely small, if the scheme (1) is valid.

^(*)gentilmente fornitoci e tradotto dal russo da Gil Pontecorvo

Particelle Strane

Nel 1953 non era chiaro sperimentalmente se queste particelle, che sono prodotte in interazioni forti ma che decadono con una lunga vita media, non possono essere prodotte singolarmente.

Allora il fisico teorico Pontecorvo, quale anche ottimo fisico sperimentale, decide, come spesso ha fatto, di chiarirsi questo punto da solo:

Propone e realizza un esperimento per verificare se fosse possibile produrre singole particelle in collisioni di protoni da 670 MeV su bersaglio di carbonio (*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*). Il risultato dell'esperimento fu che:

"The small value of the cross section for the formation of Λ^0 particles in the interaction of protons with an energy of 670 MeV with complex nuclei agrees with the hypothesis of the fundamental transformation of a nucleon according to the scheme $(N) \leftrightarrow (\Lambda^0) + (\text{heavy meson})$." ,

e cioè che i dati dell'esperimento erano in accordo col fatto che queste due particelle debbano essere prodotte insieme.

La produzione in coppia delle "V-particles" e gli "heavy mesons" fu successivamente osservata nelle collisioni $\pi^- p$ con π^- di 1.5 BeV al Cosmotrone di BNL da W.B.Fowler et al. (*Phys. Rev. 93, 861 (1954)*)

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 93, NUMBER 4

FEBRUARY 15, 1954

Production of Heavy Unstable Particles by Negative Pions*

W. B. FOWLER, R. P. SHUTT, A. M. THORNDIKE, AND W. L. WHITTEMORE
Brookhaven National Laboratory, Upton, New York
(Received November 10, 1953)

Questi importanti contributi che hanno portato alla comprensione della natura delle "particelle strane" quasi mai sono stati riconosciuti a Bruno Pontecorvo dalla comunità scientifica.

Da quanto si legge in questo quaderno, sembrerebbe che Bruno sia stato il primo ad intuire che il comportamento contraddittorio di queste strane particelle può essere compreso se si assume che esse vengano prodotte in coppia.

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

Forse c'è una seconda intuizione geniale a pagina 8 !!

(primi di Novembre del 1950)

On the transformations of mesons

8

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 ~~disintegration~~ ^{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 . But this M then would decay into π quicker than in Σ . So there is a contradiction between the evidence of a strong interacting particle and its long lifetime. This contradiction, of course, is resolved if the strongly ^{strongly} interacting particle is produced in pairs. So from the very fact that a) Σ mesons have a long life, 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. Incidentally this consideration explains the fact that until present day cyclotron no other mesons than π mesons have been produced.

A consistent picture until now would be:

$\mu \rightarrow e + 2\nu$

$\pi \rightarrow \mu + \nu$

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

~~$V_{\text{light}} \rightarrow \pi^+ + \pi^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^-$?~~

$V_{\text{heavy}} \rightarrow p + \pi$

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

On the transformations of mesons -

The τ 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 τ does not interact with nuclei, because, if the τ interacts with nucleons then the rate of the 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 . But this M then would decay into π quicker than in τ . So 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 pairs. (*) So from the very fact that a) τ mesons have a long life, b) that they are present in abundance, - we can conclude that there are mesons (not necessarily the τ mesons) which are strongly produced in pairs.

(incidentally these considerations explain the fact that until present day cyclotron no other mesons than π mesons have been produced.)

A consistent picture until now would be:

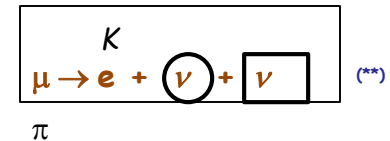
$\mu \rightarrow e + 2\nu$

$\pi \rightarrow \mu + \nu$

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

$V_{\text{light}} \rightarrow \pi^- + \mu^+ \text{ or } \pi^+ + \mu^-$?

$V_{\text{heavy}} \rightarrow p + \pi$



(*) a fine 1950 senza la nozione della stranezza, è necessaria una profonda intuizione per proporre che una produzione in coppia risolve la contraddizione.

(**) forse solo una coincidenza! Due righe prima scrive $\mu \rightarrow e + 2\nu$ mentre qui scrive $\mu \rightarrow e + \nu + \nu$ indicando i due neutrini con due diversi segni.

Due profonde intuizioni in una singola pagina ?!

$$\nu_{\mu} \neq \nu_e$$

C'è un'altro elemento estremamente interessante in questa 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": ("un quadro consistente fino ad oggi sarebbe":)


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

poche righe più in basso, verso la fine della pagina, riscrive il decadimento come


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

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, come da molto tempo sospettava, che i due neutrini presenti nel decadimento del μ non sono lo stesso tipo di particella. Nell'articolo "Electron and Muon Neutrino" Pontecorvo propone di utilizzare un fascio di anti- ν_{μ} per verificare che la reazione $\text{anti-}\nu_{\mu} + p \rightarrow e^{+} + n$ è proibita.



L'iscrizione $\nu_{\mu} \neq \nu_e$ sulla lapide testimonia l'intuizione di Bruno

Sfortunatamente il ciclotrone da 800 MeV a Dubna non fu mai costruito!

Un simile esperimento fu invece fatto tre anni più tardi al Brookhaven AGS

Per aver dimostrato sperimentalmente che $\nu_e \neq \nu_{\mu}$

L.M.Lederman, M.Schwartz and J.Steinberger

Vinsero il Premio Nobel nel 1988.



Sul quaderno si trova un'altra pagina (la 76) interessantissima !!

Questa pagina è stata scritta tra il 25 dicembre 1951 e il 30 gennaio 1952.

Appendix

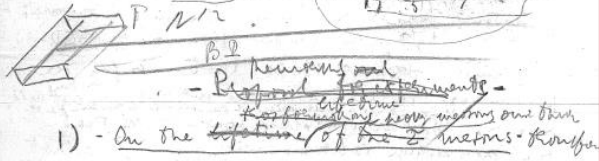
Appendix for the determination of a search for a stable state of H^+ (Hecht & Vay).

Appendix The Experiment

If there is a state of H^+ (stable) emission of β particles will be accompanied with emission of β particles. The experiment planned is to use a source of H^+ on the millimeter region. The source will consist of β particles of a 20 MeV. The apparatus consist of a β particle counter of 3-counter coincidence.

Problems - Future work -

- 1) - Production of mesons in nuclear
- 2) - Interaction of mesons with nuclei -
- 3) - Production of N^{12} in stars and in H^+



2) $\tau \rightarrow$ experiment

Remarks and

Proposal for experiments -

- 1) - On the lifetime transformations - lifetime of the τ mesons - heavy mesons and their transformation -
- 2) $\tau \rightarrow$ experiment

β decay charge symmetry - On the charge symmetry - $c 10^{16} \text{ Km}$ $Cl^{37} + \nu \rightarrow Ar^{37} + e$

A. Alex. - Observations

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

- 1) At the seminaire a method was discussed to solve the problem of the detection of free neutrinos, i.e. of the detection of neutrinos which is not connected with the act of a β disintegration (like in the classical experiment of Leipunski). The conclusion is that such possibility is not too far from present day facilities. A short report on this subject was written.
- 2) Lifetime of τ mesons - Possible experiment on τ meson. In photographic plates it was observed τ

(3) Lifetime etc

(4) On the charge symmetry hypothesis - A discussion

$c 10^{16} \text{ Km}$ (*)

$Cl^{37} + \nu \rightarrow Ar^{37} + e$

3) On the charge symmetry - On the charge symmetry

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.

Neutrino -

1) At the seminaire a method was discussed in relation to the problem of the detection of free neutrinos, i.e. of a detection of neutrino, a method which is not connected with the act of a β disintegration (like in the classical experiment of Leipunski). The conclusion is that such possibility is not too far from present day facilities. A short report on this subject was written.

(2) Lifetime of τ mesons - Possible experiment on τ meson.

In photographic plates it was observed τ

(3) Lifetime etc.

(4) On the charge symmetry hypothesis - A discussion

(*) H. Bethe and R. Peierls in Nature 133, 532 (07 April 1934) avevano valutato un limite superiore per la probabilità per il neutrino di interagire con la materia solida e scrivevano: "For an (neutrino) energy of $2 \cdot 3 \times 10^6$ volts... $\sigma < 10^{-44} \text{ cm}^2$ (corresponding to a penetrating power of 10^{16} Km in solid matter) It is therefore absolutely impossible to observe process of this kind with neutrinos created in nuclear transformation."

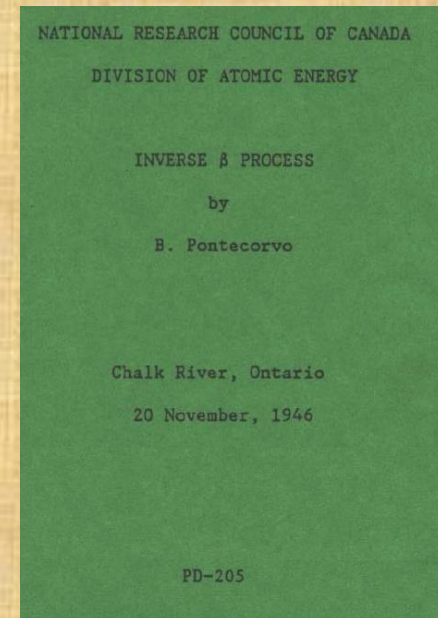
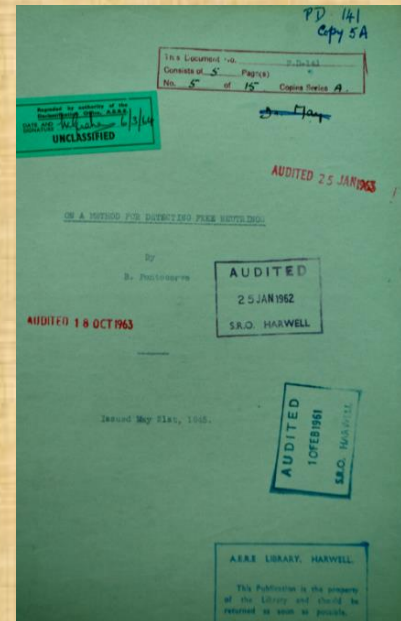
Uno fisico sperimentale con idee e intuizioni geniali

Nel 1934 Bethe e Peierls (Nature 133,532,1934) 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. Concludevano poi il loro articolo affermando "*it is therefore absolutely impossible to observe processes of this kind with neutrinos created in nuclear transformations*". **"È assolutamente impossibile osservare processi di questo tipo con neutrini prodotti in reazioni nucleari"**

Nel 1945 Pontecorvo, quando era in Canada, trova il modo di risolvere il problema e propone di rivelare i neutrini rivelando la reazione:



È un'idea geniale che solo dopo molti anni verrà ripresa e messa in pratica da altri che per questo otterranno il premio Nobel.



Rapporti interni PD-141 e PD-205. Vengono dichiarati "documenti segreti" perché si teme che possano servire per misurare la potenza dei reattori nucleari.

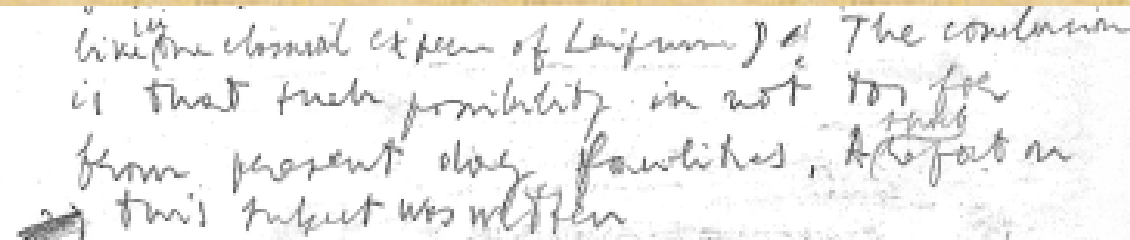
Come rivelare il neutrino

Immagino che Pontecorvo quando scrive, alla fine del 1951, nell'angolo in alto a destra della pagina 76 del quaderno

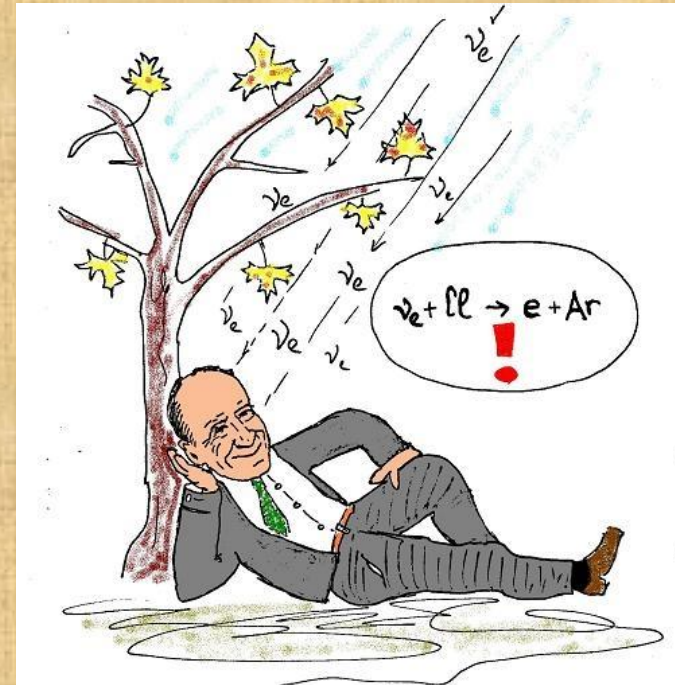


stia valutando il flusso di neutrini e la quantità di Cloro necessaria a rivelare questa particella così elusiva da poter attraversare 10^{16} Km di materia solida senza interagire !

Già alla fine del 1951 Pontecorvo pensa di essere in grado di fare l'esperimento Cloro/Argon per rivelare finalmente il neutrino.



Sarebbe veramente interessante trovare questo "short report" per sapere come e dove Pontecorvo pensava che fosse possibile per lui fare l'esperimento in Russia. Sfortunatamente questa possibilità non si concretizzò mai; forse perché non aveva a disposizione una miniera o una caverna sufficientemente grande e profonda da provare a rivelare il flusso di neutrini solari o forse semplicemente perché, come testimonia il fisico russo S.S.Gershtein, gli era negato l'accesso ai reattori nucleari che, come aveva scritto nei suoi articoli, sembravano essere una sorgente di neutrini più promettente di quella del sole per fare l'esperimento.



Sognando di rivelare i neutrini solari !
di Misha Bilenky

Altri due Premi Nobel mancati !

Nel **1954**, tre anni più tardi di quando Pontecorvo scriveva il quaderno, R.Davis provò ad usare il metodo $\text{Cl}^{37}\text{-Ar}^{37}$ nel tentativo di rivelare i neutrini prima esponendo 3900 litri di C_2Cl_4 al reattore nucleare di Brookhaven e poi esponendone ben 11.400 litri al più potente reattore nucleare di Savannah River senza riuscire tuttavia 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 del '46, i reattori nucleari come intensa sorgente neutrinica. Finalmente, solo 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, purtroppo dopo la morte di C.L. Cowan Jr.,

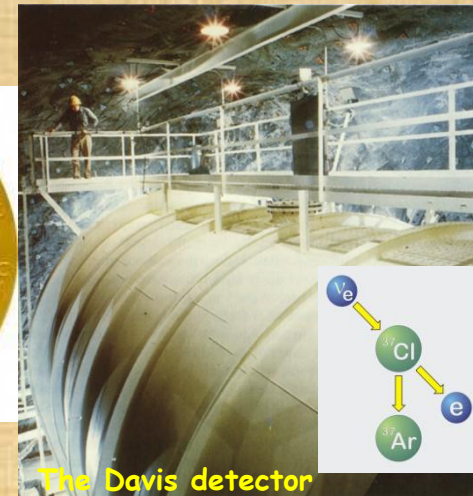
**F. Reines
Premio Nobel
1995**



L'altra possibile sorgente di neutrini che Pontecorvo aveva proposto nel suo articolo del 1946 era il sole.

Solo 21 anni dopo, nel **1967** R.Davis utilizzò il metodo $\text{Cl}^{37}\text{-Ar}^{37}$ per rivelare i neutrini emessi dal sole con un rivelatore di 378.000 litri di C_2Cl_4 installato nella miniera di Homestake nel South Dakota e scoprendo così un vistoso deficit nel flusso previsto di neutrini solari.

**R. Davis
Premio Nobel
2002**



The Davis detector

Premio Lenin nel 1963

Penso che molti concordino nel ritenere che Bruno Pontecorvo avrebbe meritato di ricevere svariati Premi Nobel. Purtroppo l'esser vissuto in Unione Sovietica e quindi non aver avuto 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 successivamente del Premio Nobel. D'altra parte collaborazioni con le comunità internazionali (CERN, USA, etc.) erano all'epoca impensabili, dato che non gli era permesso nemmeno di uscire dall'Unione Sovietica con la scusa della sua sicurezza personale !

Bruno Maximovich Pontecorvo fu insignito dei più prestigiosi riconoscimenti russi. Nel 1953 gli fu assegnato il Premio Stalin e nel 1963, per i suoi lavori sulle interazioni deboli e sulla fisica del neutrino, il Premio Lenin. Fu insignito anche di due ordini della Bandiera Rossa del Lavoro. Nel 1964 divenne membro dell'Accademia delle Scienze dell'Unione Sovietica.



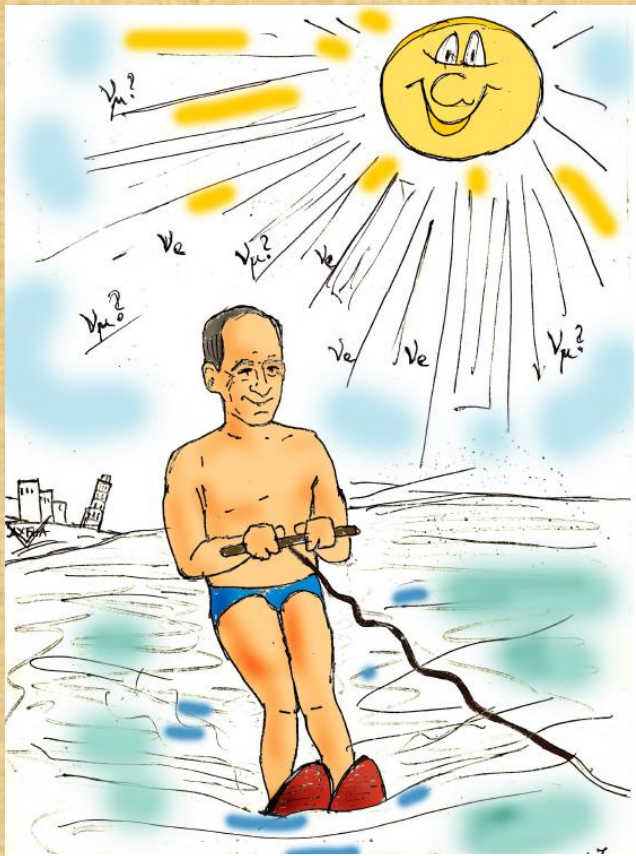
Oscillazioni dei Neutrini

Nobel Prize
2015

T. Kajita

A. B. McDonald

L'idea più rivoluzionaria di Bruno Pontecorvo è stata quella di avere proposto che i neutrini potessero oscillare, cioè che fossero possibili transizioni da un certo tipo di neutrino ad un altro; per esempio un ν_e emesso dal sole in una tipica reazione di fusione nucleare ($p+p \rightarrow {}^2\text{H} + e^+ + \nu_e$) nel suo viaggio verso la terra si trasforma in un ν_μ e come tale viene rivelato sulla terra.



Bruno si gode i neutrini del sole
di Misha Bilenky



La transizione $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$ come vista da Misha Bilenky



Oscillazioni dei neutrini

Premio Nobel 2015

T. Kajita

A. B. McDonald

Ma come si spiega che una particella si trasformi in un'altra di natura diversa?

Come una magia di Bruno Pontecorvo ?

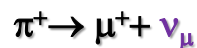
(come suggerisce Mysha Bilenky)



ШАРНИ
МИХАИЛА
БИЛЕНЬКО
1988 г.

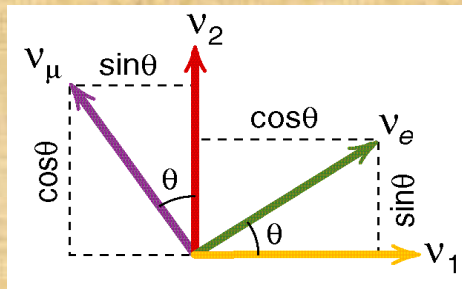
o forse, meglio, come un fenomeno tipico della meccanica quantistica ?

Oscillazioni dei neutrini



Quando un neutrino viene prodotto in una interazione debole (in una reazione o in un decadimento) viene prodotto con una carica di sapore ben definita corrispondente al leptone coinvolto nella reazione in modo da conservare la carica di sapore totale.

Se i neutrini hanno massa, e questa è l'ipotesi fondamentale (e controcorrente per l'epoca) di Pontecorvo, può avvenire il fenomeno dell'oscillazione tra ν_e e ν_μ .



$$|\nu_e(t=0)\rangle = \cos\theta |\nu_1\rangle + \sin\theta |\nu_2\rangle$$

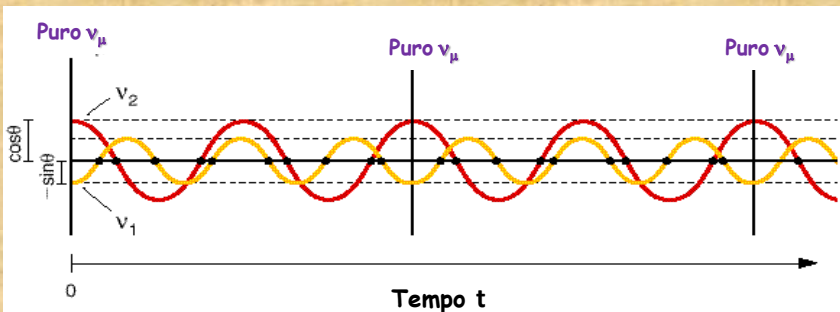
$$|\nu_\mu(t=0)\rangle = -\sin\theta |\nu_1\rangle + \cos\theta |\nu_2\rangle$$

È questo un fenomeno tipico della meccanica quantistica in cui lo stato fisico ν_e (ν_μ) di una definita carica di sapore (e o μ) viene descritto come una sovrapposizione di due stati fisici ν_1 ν_2 corrispondenti a due valori di massa ben definiti. L'oscillazione avviene se le masse di ν_1 e ν_2 sono differenti (come è ragionevole che siano data la diversità di massa tra e e μ) e può succedere che avendo prodotto diciamo un ν_e , sul sole nel rivelatore posto sulla terra rivelò un ν_μ perché il ν_e di partenza si è trasformato in un ν_μ durante il percorso tra il sole e la terra.

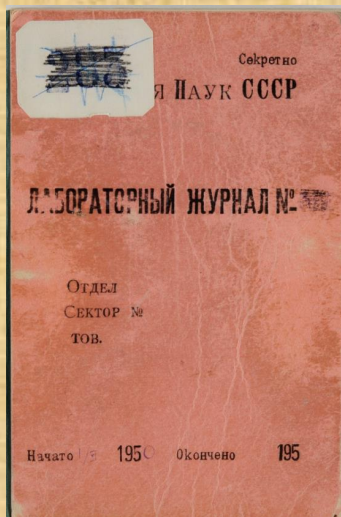
$$|\nu_\mu(t)\rangle = -\sin\theta \exp[-i(E_1/\hbar)t] |\nu_1\rangle + \cos\theta \exp[-i(E_2/\hbar)t] |\nu_2\rangle$$

$$E_{1(2)}^2 = p^2 c^2 + m_{1(2)}^2 c^4; \quad E_{1(2)} \text{ diverse se le masse sono diverse}$$

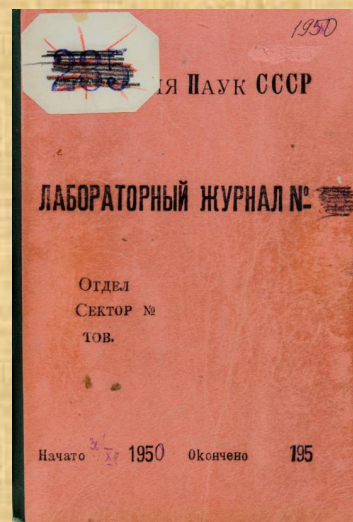
Questo fenomeno può essere capito considerando che in meccanica quantistica ad ogni particella con una data energia viene associata un'onda la cui frequenza cresce con la sua energia. Prendiamo per esempio il caso di un neutrino μ che viene prodotto con un certo impulso (quantità di moto) in un decadimento del π . Se questo neutrino è una sovrapposizione delle due particelle con massa definita e diversa ν_1 e ν_2 ma con ovviamente lo stesso impulso, secondo la meccanica quantistica questo stesso neutrino potrà essere visto come la sovrapposizione di due onde con energia e quindi frequenza diversa.



Conclusioni



01/11/1950 — ≤ 30/11/1950
14/09/1951 — ≥ 24/03/1952

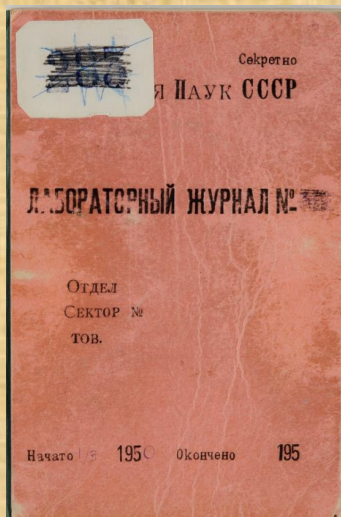


30/11/1950 — ≥ 18/07/1951

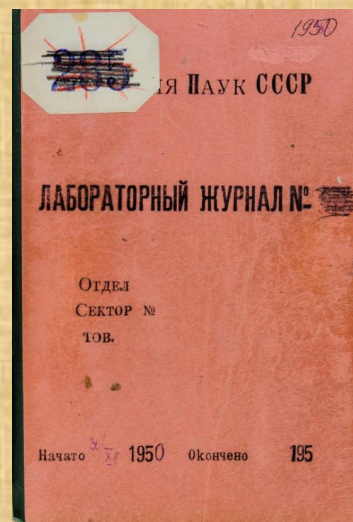
Attraverso la preziosa documentazione di questi due quaderni inediti (che molto spesso Pontecorvo usa soltanto come un "brogliaccio" scrivendoci in modo disordinato e senza un particolare ordine logico numeri, formule e grafici, forse solo per fissare i pensieri e le idee che gli turbinano nella mente) è stato possibile ricostruire il lavoro sperimentale, gli interessi scientifici e anche alcune grandi intuizioni che questo grande scienziato ha avuto durante il suo primo anno e mezzo di permanenza in Russia. Questi due documenti sono particolarmente interessanti anche perché spesso sono stati sollevati dubbi su quale sia stata la vera attività scientifica di Bruno Pontecorvo nei primi anni della sua permanenza in Russia.

In questi quaderni c'è la conferma più evidente che Bruno Maximovich Pontecorvo non abbia mai lavorato né contribuito alla realizzazione della bomba atomica russa ma abbia solo fatto ricerca di base in fisica delle particelle elementari.

Conclusioni



01/11/1950 — ≤ 30/11/1950
14/09/1951 — ≥ 24/03/1952



30/11/1950 — ≥ 18/07/1951

Nel 1952 Pontecorvo ottiene la cittadinanza russa e due anni dopo si iscrive al PCUS. È un comunista convinto, un idealista che crede che in Unione Sovietica stia nascendo una vera società socialista.

Purtroppo l'esser vissuto in Unione Sovietica e quindi non aver avuto 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 intuizioni, alcune delle quali già presenti in questi quaderni, in altrettanti esperimenti di successo, esperimenti che hanno invece permesso a molti altri fisici di essere insigniti successivamente del Premio Nobel.

L'eredità scientifica di Bruno Pontecorvo

Pontecorvo conclude il suo articolo del 1976 (quello in cui la teoria delle oscillazioni dei neutrini prende la sua forma più generale con termini di massa sia di Dirac che di Majorana) con la frase:

"Thus the questions which might be answered in experiments based on neutrino oscillations ideology directly concern the very nature of neutrinos."

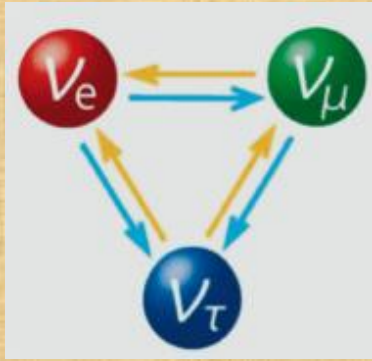
"Così le domande a cui può essere data risposta con esperimenti sulle oscillazioni dei neutrini riguardano direttamente la stessa natura del neutrino"

Ancora una volta **Pontecorvo, il teorico**, chiama in causa **Pontecorvo lo sperimentale** e afferma che solo gli esperimenti potranno dare la risposta a quale sia la vera natura del neutrino. Penso che questa sia l' **Eredità** scientifica che ci ha lasciato

lo Scienziato Bruno Pontecorvo

Le sue profonde intuizioni hanno aperto un vasto programma di ricerca sulle proprietà del neutrino; programma che ancora oggi continua con esperimenti sempre più complessi e che verosimilmente ci condurranno a scoprire la nuova fisica oltre il Modello Standard.

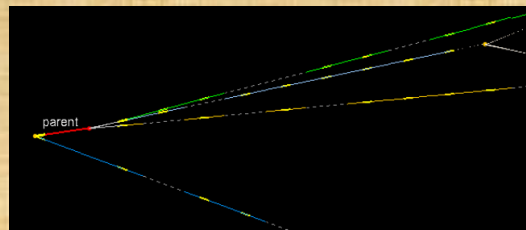
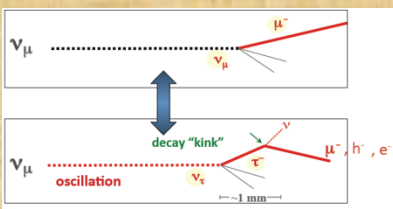
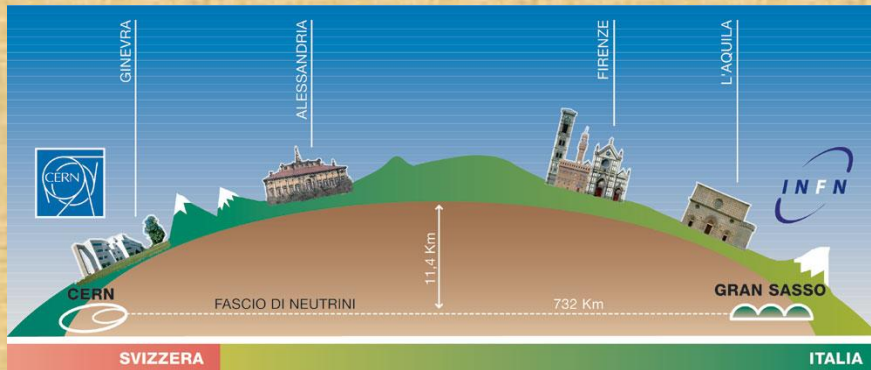
L'eredità scientifica di Bruno Pontecorvo



Sappiamo oggi che esistono tre tipi di neutrini ν_e, ν_μ, ν_τ , corrispondenti ai tre leptoni e, μ, τ , identificati da un attributo detto carica di sapore. Abbiamo quindi tre tipi di cariche di sapore ciascuna corrispondente ad ognuno dei tre leptoni e del neutrino a lui associato. Con tre neutrini la matematica che descrive le loro oscillazioni è un po' più complicata ma il concetto è esattamente lo stesso.

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \bar{\nu}_e \\ e^+ \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \bar{\nu}_\mu \\ \mu^+ \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \bar{\nu}_\tau \\ \tau^+ \end{pmatrix}$$

Molti esperimenti sono stati effettuati per studiare le oscillazioni dei neutrini e molti sono ancora in corso con vari tipi di neutrini: solari, da reattori nucleari, prodotti nell'atmosfera, da acceleratori di particelle; e sarebbe troppo lungo elencarli tutti. Uno di questi esperimenti ancora in corso è OPERA, sotto il Gran Sasso.



L'eredità di Bruno Pontecorvo

Ma oltre alla grande eredità scientifica che lo scienziato Bruno Pontecorvo ci ha lasciato, io credo ci sia un'altra grande **Eredità** che

I' Uomo Bruno Pontecorvo

ha lasciato alle future generazioni: ed è il suo desiderio di giustizia sociale.

Si legge nella autobiografia scritta nel 1988 per l'"Enciclopedia della Scienza e della Tecnica":

"Le mie opinioni politiche sono di sinistra. In origine esse erano dovute soprattutto al mio odio per il fascismo e, io penso ora, al senso di giustizia inculcatomi da mio padre".

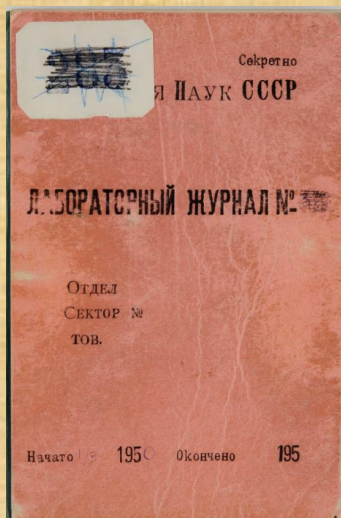
Alla Mafai che lo intervista ammette di essersi sbagliato e di essere stato per molti anni un grande ingenuo nel credere che nell'Unione Sovietica

"si andasse costruendo l'uomo nuovo"

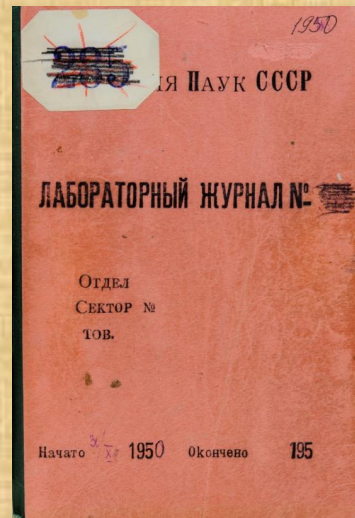
Tuttavia, nonostante tutto quello che era successo nell'Unione Sovietica, ancora nel 1988, quando scrive la sua biografia, continua a credere che sia possibile costruire una società giusta e democratica

"fondata su leggi avanzate e sui diritti dell'uomo".

Ringraziamenti



01/11/1950 — ≤ 30/11/1950
14/09/1951 — ≥ 24/03/1952



30/11/1950 — ≥ 18/07/1951

I nostri più sinceri ringraziamenti vanno a Gil Pontecorvo, il figlio maggiore di Bruno, che ci ha gentilmente concesso la possibilità di consultare questi documenti inediti. Un ringraziamento particolare ad Elena Volterrani per averci aiutato in ogni fase di questo lavoro, dal ritrovamento dei quaderni alla loro lettura. Ringraziamo Vincenzo Cavasinni e Marco Maria Massai per il supporto e l'incoraggiamento che ci hanno dato. Ringraziamo poi Andrei Ryskalin per averci tradotto alcune pagine scritte in russo che si trovano su questi quaderni. Ringraziamo infine Bruno Sereni e Antonio D'Agnelli dell'Ufficio Documentazione dell'Università di Pisa per l'accurato lavoro fatto nel fotografare in alta risoluzione tutte le pagine di questi quaderni.

Grazie dell'attenzione

