

***Ettore Majorana (1906-1938?),
génial physicien italien disparu mystérieusement.
Le neutrino est-il une particule de Majorana?***

**Georges Boulon
Institut Lumière Matière
UMR 5306 CNRS-UCB Lyon 1
Université de Lyon**



Hommage au Professeur Edgard Elbaz
Ex-Directeur de l'IPNL (UCBLyon1)
Ex-Directeur de l'Institut de Sciences de la Matière.
Ex-Vice-Président de l'UCBLyon1

Ettore Majorana,
5 août 1906, Catane-26 mars 1938, Naples (?)

Physicien théoricien- « *Ragazzi di via Panisperna* »
Université de Rome « La Sapienza ».

Bien étrange histoire que celle de ce scientifique
italien de renom.

Un vrai génie par ses contributions à la physique.

En avance sur son temps. A l'origine de questions
actuelles en physique des particules.

Disparu mystérieusement en 1938 à l'âge de 31 ans.

On ne l'a jamais retrouvé.



La disparition d'Ettore Majorana reste un mystère et nourrit les polémiques depuis 1938

- Suicide ?
- Changement de vie savamment orchestré ?
- S'est-il retiré dans un couvent ?
- Assassinat ou enlèvement par des services secrets étrangers souhaitant stopper ses recherches sur l'atome ?
- Était-il visionnaire et avait-il entrevu les futures applications militaires néfastes de la physique nucléaire et préféré « disparaître »?

Sommaire

Introduction

1- La Fondation Ettore Majorana à Erice (Sicile)

2-Ettore Majorana et les « *Ragazzi di via Panisperna* »

3-Enrico Fermi et l'enseignement de la Physique Quantique

4-Ses travaux

5-Sa disparition

6-Retour sur Enrico Fermi

7-Le neutrino est-il une particule de Majorana?

Conclusion

1-En 1963 création de

*la Fondation Ettore Majorana et Centre pour la Culture Scientifique
dans quatre anciens monastères d'Erice (Sicile).*

Organisation d'écoles scientifiques spécialisées périodiques grâce à l' OTAN.



**ETTORE MAJORANA FOUNDATION AND
CENTRE FOR SCIENTIFIC CULTURE**

*TO PAY A PERMANENT TRIBUTE TO GALILEO GALILEI, FOUNDER OF MODERN SCIENCE
AND TO ENRICO FERMI, "THE ITALIAN NAVIGATOR", FATHER OF THE WEAK FORCES*



Erice-Sicile



Chiesa Matrice

Église fortifiée du XIV^e avec
une nef de style neo-gothique.



Castello di Venere- Château normand du XII^e siècle



**ERICE-Village médiéval surplombe TRAPANI
sur le site du mont Eryx à 750m d'altitude**



San Rocco- siège administratif du Centre



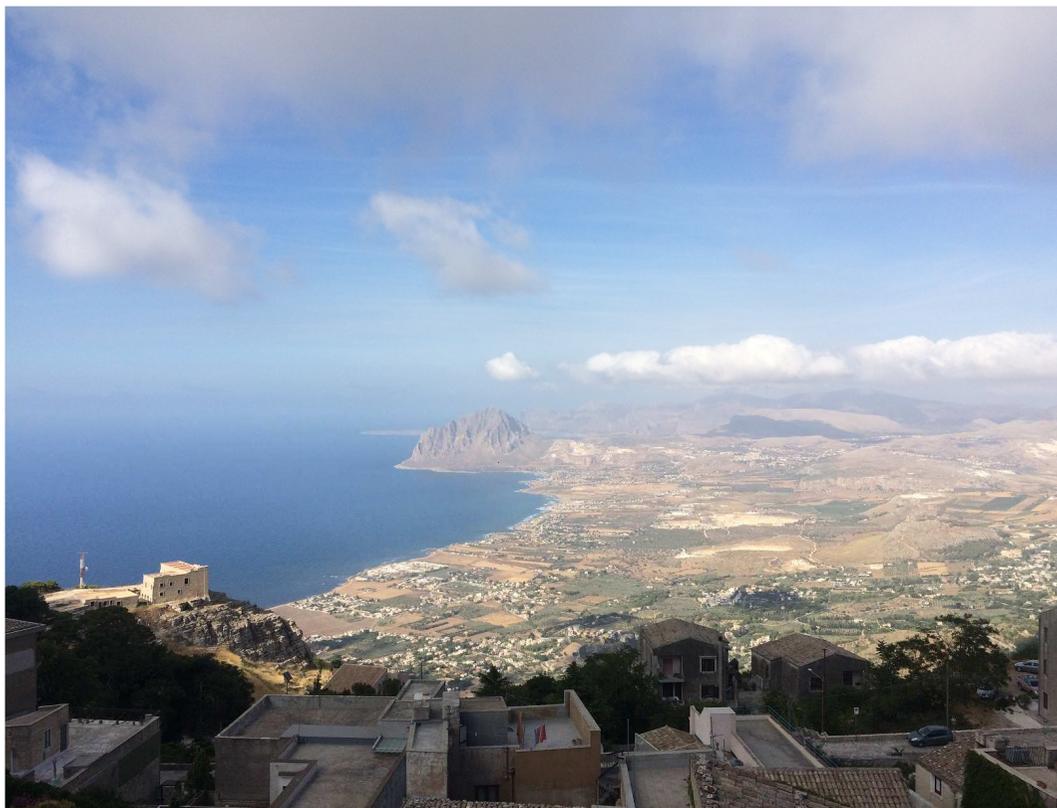
SAN DOMENICO



Lecture hall at San Domenico



Vue de San Domenico sur le Mont Cofano au Nord d'Erice





ETTORE MAJORANA FOUNDATION AND CENTRE FOR SCIENTIFIC CULTURE

TO PAY A PERMANENT TRIBUTE TO GALILEO GALILEI, FOUNDER OF MODERN SCIENCE
AND TO ENRICO FERMI, "THE ITALIAN NAVIGATOR", FATHER OF THE WEAK FORCES



Antonino Zichichi – Director
INTERNATIONAL SCHOOL OF ATOMIC AND MOLECULAR SPECTROSCOPY
(Depuis 1974)

Baldassare Di Bartolo – Director
QUANTUM NANO—PHOTONICS
July 20- August 4, 2017, Erice, Sicily, Italy



Purpose of the meeting:

«Docere, Delectare, Movere: Docendo discitur »

«enseigner, charmer, émouvoir: apprendre en enseignant »

(devise de Cicéron, reprise au 17ème siècle par Descartes

Puis par Sénèque le Jeune)

Depuis 1938, les medias reposent souvent la question de la disparition d'Ettore Majorana

Film

I ragazzi di via Panisperna, 2 heures, 1988.

L'histoire a pour trame principale la relation entre Fermi et Majorana

La Croix

SABINE AUDRERIE, le *29/02/2012*

LA DISPARITION DE MAJORANA

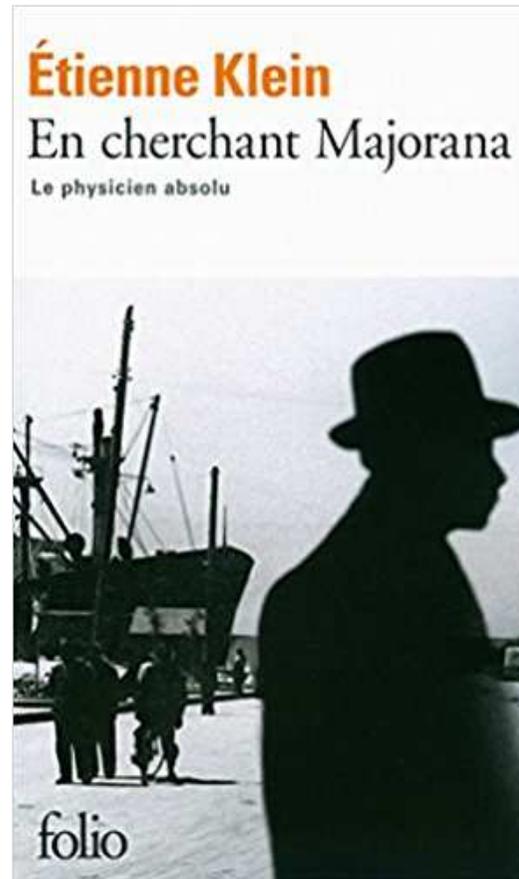
de Leonardo Sciascia

Traduit de l'italien par Mario Fusco

Ed. Allia, 110 p., 9 €

En cherchant Majorana: Le physicien absolu

Poche – 5 février 2015



LE MONDE | 08.02.2015

- **Ettore Majorana, génie disparu, réapparu, perdu de vue**

Selon les résultats d'une analyse établie par la police scientifique, le physicien Ettore Majorana, dont on a perdu toutes traces en 1938, ne se serait pas suicidé.

**Film "Le mystère Ettore Majorana, un physicien absolu"
à découvrir sur France 5
Du 02/07/2016 au 04/07/2016**

Film de 52 minutes, réalisé par Camille Guichard et librement adapté de l'ouvrage "*En cherchant Majorana, le physicien absolu*" d'Etienne Klein - Editions des Equateurs-Flammarion

2-Ettore Majorana

5 août 1906-26 mars 1938 (?)

Famille catholique, prestigieuse qui comprend des ministres, des députés, un autre physicien, Quirino Majorana, oncle d'Ettore, et encore Ettore Majorana!

C'est un enfant fluette, sensible, timide et introverti.

Il manifeste dès l'âge de 4 ans des dons exceptionnels, notamment en arithmétique.

À l'école, il apprend à une vitesse et avec une facilité déconcertantes.

Il communique peu avec ses semblables.

En 1921, à Rome, il entre au collège *Massimo*, dirigé par les pères jésuites, puis au lycée d'État *Torquato Tasso*.

Ettore Majorana

5 août 1906-26 mars 1938 (?)

A 17 ans il entreprend des études d'ingénieur à l'université de Rome, où il obtient d'excellentes notes.

Il se montre méprisant pour les professeurs médiocres, à qui il reproche de se perdre dans les détails.

Sa carte d'étudiant en
Novembre 1923



Fig. 4. – Ettore Majorana sul suo libretto universitario - FDG.

Juste après l'Unité italienne, en 1881,
l'Institut de Physique fut créé dans un palais de la rue Via Panisperna à Rome.



Via Panisperna

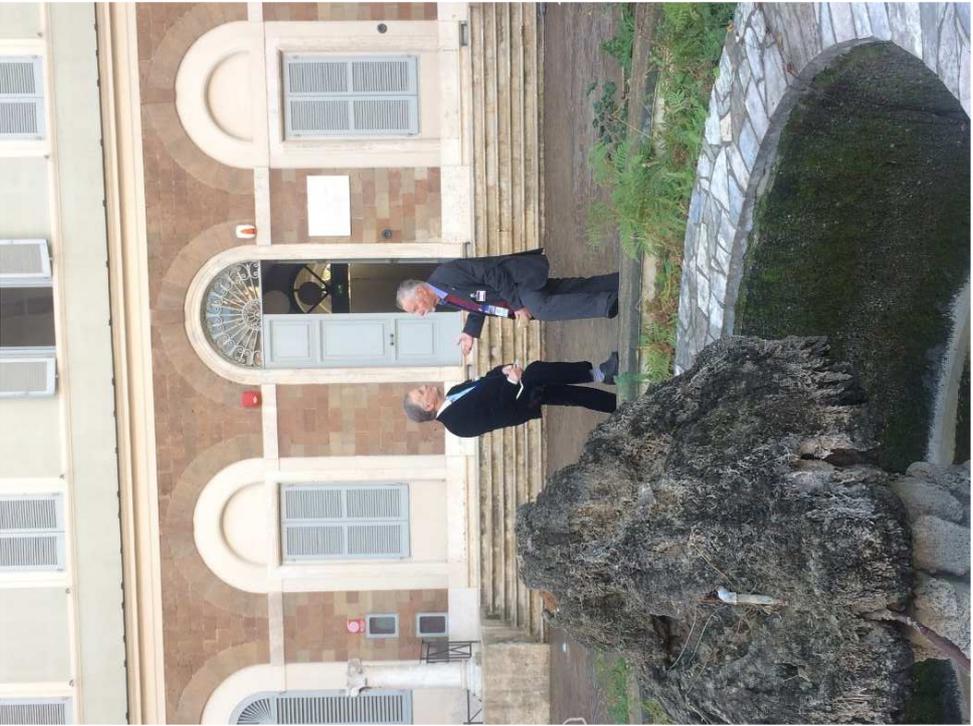


Rue entre Santa Maria Maggiore et Le Forum



**Avec Prof. Giancarlo Righini-1^{er} Décembre 2017-
(Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche Enrico Fermi)**





Rencontre d' Emilio Segré avec Enrico Fermi en 1927

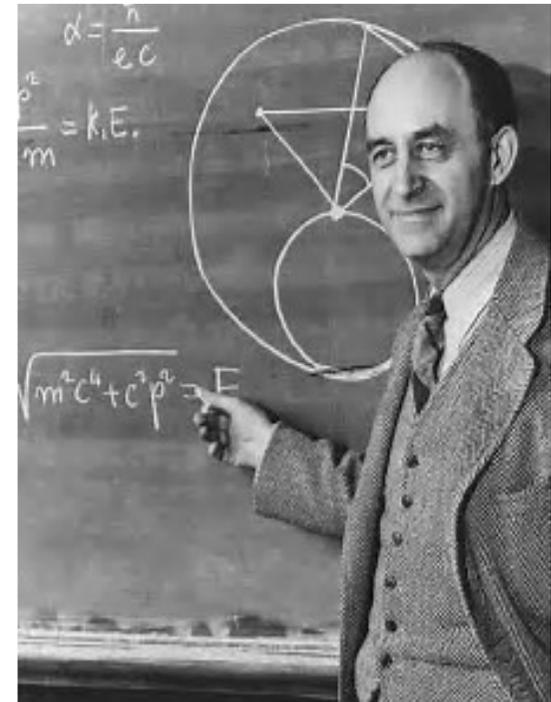
Il se lie d'amitié avec un camarade de classe, Emilio Segré. Tous deux ont le même âge: 20 ans.

En juin 1927, après avoir assisté à une conférence de Fermi, âgé de 25 ans, sur la physique quantique Segré décide d'abandonner ses études d'ingénieur pour se consacrer à la physique.

*Emilio Segré obtiendra le Prix Nobel de Physique en 1959
pour la découverte de l'antiproton*

Rencontre d'Emilio Segré avec Enrico Fermi

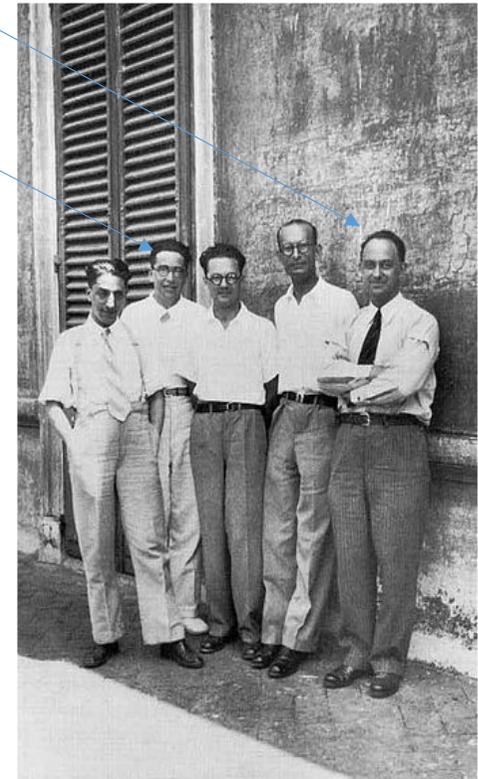
Fermi vient de lancer une campagne de recrutement pour constituer sa *dream team*: une *famille de chercheurs*, au sein de laquelle les rapports scientifiques et personnels sont fortement imbriqués.



Emilio Segré et les Ragazzi di via Panisperna

Convaincu des talents d'**Emilio Segré, Enrico Fermi**
l'intègre à son groupe.

On appelle ce groupe de jeunes physiciens
« *Ragazzi di via Panisperna* »,
du nom de la rue de l'Institut, situé au n° 89A.
Edoardo Amaldi, Ugo Fano, Giovanni Gentile,
Bruno Pontecorvo, Giulio Racah, Franco Rasetti,
Enrico Persico, Gian Carlo Wick, **Emilio Segré**
et plus tard **Ettore Majorana**.



3-Enrico Fermi (1901 à Rome - 1954 à Chicago)

En 1918, entre à « Scuola Normale di Pisa ».

Docteur ès Sciences en 1922-

thèse sur la réfraction des rayons X par les surfaces cristallines, découverte par Von Laue (*Nobel 1918*).

Publie sur l'électrodynamique et la relativité.

Enrico Fermi est passé par les meilleurs laboratoires :

-l'université de Göttingen d'abord, où il a appris la physique quantique avec Max Born (*Nobel 1954*), Werner Heisenberg (*Nobel 1932*) et Pascual Jordan,

-l'université de Leyde, où il a travaillé avec Paul Ehrenfest, fait la connaissance d'Albert Einstein (*Nobel 1921*) et de Hendrick Lorentz (*Nobel 1902*).

Il est doué aussi bien pour la théorie que pour l'expérimentation et impressionne tous les scientifiques.

Enrico Fermi a introduit la Physique quantique en Italie

Enrico Fermi est le premier physicien d'Italie à avoir pris au sérieux la mécanique quantique, ainsi que la théorie de la relativité d'Einstein.

Les jeunes physiciens ont beau maîtriser le formalisme naissant de la physique quantique et reconnaître son efficacité, la plupart d'entre eux sont déconcertés parce que loin des concepts classiques.

Exemples:

dualisme onde-corpuscule,
onde associée à une particule,
principe d'incertitude d'Heisenberg,
probabilité de présence d'une particule,...



**Ehrenfest's students, Leiden, 1924.
G.H. Dieke, S.A. Goudsmit, J. Tinbergen, P. Ehrenfest,
R. Kronig, and E. Fermi**



Enrico Fermi a su apporter une ambiance créative

SECTION/ SEZIONE **4** 4.3

**A CREATIVE
ENVIRONMENT**
UN AMBIENTE
CREATIVO



Conférence en 1931: Pauli, Mullikan, Godsmidt, Bohr, Meitner, Ehrenfest, Geiger, Compton, Sommerfeld, Heisenberg, Blackett, Jean Perrin,....



Fig. 17. - Foto dei partecipanti al Convegno di Fisica Nucleare, Roma 1931 - DFUR.



Fig. 18. - Firme dei partecipanti apposte sul retro della foto precedente - DFUR.

4-Intégration d'Ettore Majorana

Segré coopte Majorana, en indiquant à Fermi que son ami est un prodige.

Fermi n'eut besoin de le recevoir qu'une seule fois pour l'intégrer.
Car à la vérité, c'est lui, le patron de l'Institut, qui dût passer un test...

Fermi travaillait à cette époque à un modèle d'atome qui prit par la suite le nom de « **modèle de Thomas-Fermi** ».

Lors de leur première conversation, Fermi exposa les grandes lignes de ce modèle à Majorana et lui montra les tirés à part de ses récents travaux sur le sujet, en particulier le tableau où étaient réunies les valeurs numériques de ce qu'on appelle aujourd'hui le « **potentiel universel de Fermi** ».

Modèle de Thomas-Fermi

Le problème était le suivant :

dans un atome contenant Z électrons, on peut considérer que, pour chaque électron, les $(Z-1)$ autres sont distribués comme dans un atome neutre de numéro atomique $(Z-1)$.

Le potentiel que « ressent » cet électron est un potentiel effectif correspondant à un champ central, celui produit par les $(Z-1)$ autres électrons et qu'on appelle le potentiel universel de Fermi.

Examen de passage d'Ettore Majorana

Le lendemain, Ettore Majorana se présenta à nouveau à l'Institut et un petit papier sur lequel était noté un tableau analogue, qu'il avait rapidement établi chez lui, après avoir transformé l'équation de Thomas-Fermi en une équation de Riccati.

Il compara alors les deux tableaux et, constatant qu'ils concordèrent parfaitement, expliqua au Directeur du labo que ses calculs étaient justes!

Au tout début de l'année 1928, Ettore Majorana abandonne à son tour ses études d'ingénieur et rejoint le groupe des Raggazzi di via Panisperna.

Le groupe était dirigé par Enrico Fermi secondé par Franco Rasetti (au début c'était O.M. Corbino).

L'équipe de théoriciens :

Gian Carlo Wick, Giulio Racah, Giovanni Gentile Jr., Ugo Fano,.....et Ettore Majorana.

L'équipe d'expérimentateurs :

Emilio Segré, Edoardo Amaldi, Bruno Pontecorvo,....

Il a soutenu son Doctorat avec Fermi le 6 juillet 1929, au bout d'un an de travail seulement sur la théorie quantique des noyaux radioactifs.
(110/110!!)

Ragazzi di via Panisperna

- Enrico Fermi**, dérisoirement surnommé « **Le Pape** ». Il maîtrise parfaitement la mécanique quantique.
- Franco Rasetti**, son **Vicaire Cardinal**,
- Corbino** est surnommé le « **Père éternel** »
- Emilio Segré** est le Basilic par son caractère colérique. Le regard de ce serpent légendaire réduit en cendres ceux qui osent l'offenser
- Ettore Majorana** est quant à lui le « **Grand Inquisiteur** », en raison de la rigueur de son esprit critique et de l'acuité de sa pensée.

De 1928 à 1932

En 1929 et 1930, il travaille sur l'effet tunnel.

Sa thèse est le travail de pointe en Italie sur la physique nucléaire théorique. Il a un rôle d'*aratro*.

En novembre 1932, il obtient son doctorat d'État (*Libera Docenza*) en physique théorique.

A l'époque, Ettore Majorana est le seul, selon Emilio Segré, à pouvoir parler d'égal à égal avec Enrico Fermi.

Il publie six articles

Ils concernent la physique atomique :

chimie,

spectroscopie atomique,

théorie de la liaison chimique,

calcul de la probabilité de renversement du spin (inversion du moment cinétique) des atomes d'un faisceau de gaz polarisé quand celui-ci se déplace dans un champ magnétique rapidement variable

(effet Majorana-Brossel).

Une anecdote significative

En janvier 1932, prenant connaissance d'un article des Joliot-Curie (Nobel Chimie 1935), il suggère aussitôt qu'ils ont sûrement découvert un « **proton neutre** » sans s'en rendre compte, le **neutron**, dont l'existence sera démontrée par Chadwick quelques mois après (*Nobel 1935*).

Il ébauche ensuite une théorie où les protons et les neutrons seraient les seuls constituants du noyau et émet l'idée que ces particules interagiraient par **les forces d'échange** des seules coordonnées spatiales.

Malgré l'insistance de Fermi, il refuse de publier, de sorte que c'est Werner Heisenberg qui publie en juillet 1932 la première ébauche d'une théorie du noyau très proche de son modèle.

Heisenberg fut lauréat du prix Nobel de physique de 1932 « pour la création de la mécanique quantique ».

Félicitations d'Ettore majorana à Heisenberg pour l'obtention du Prix Nobel de Physique en 1933

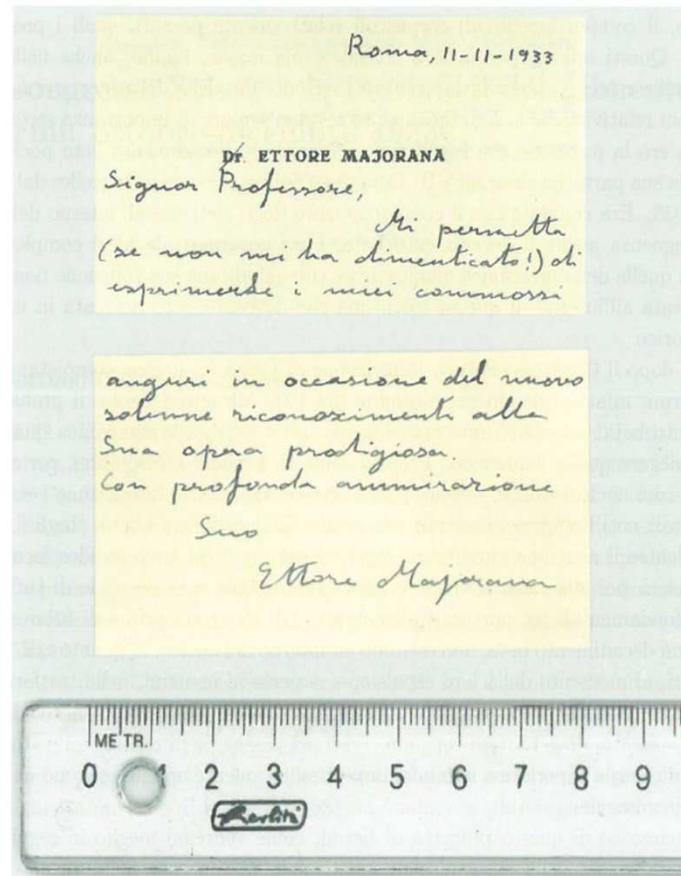


Fig. 39. – Biglietto da visita, datato Roma 11.11.1933, inviato da Majorana a Heisenberg in occasione del conferimento del premio Nobel per la Fisica, prima facciata e retro - HA.

Ettore Majorana impressionne

Edoardo Amaldi note « son aisance peu commune à exploiter les propriétés de **symétrie** pour simplifier les problèmes »

Il impressionne

Bruno Pontecorvo, rapporte les mots de Fermi:

“si un problème a été pose, personne au monde ne peut mieux le résoudre que Majorana”

Fermi ajoute toutefois qu’il manque à Majorana le simple bon sens.

Portrait psychologique de Majorana par Laura Fermi:

« Majorana, cependant, avait un caractère étrange : il était excessivement timide et introverti.

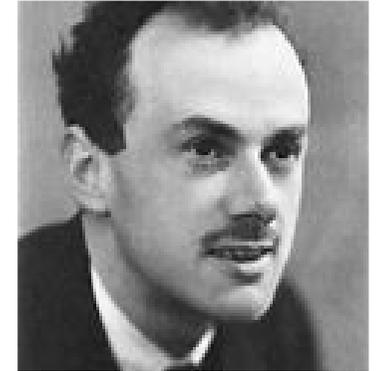
Dans la matinée, en allant en bus à l'institut, il commençait à réfléchir. Il lui venait à l'esprit une nouvelle idée, ou la solution à un problème difficile, ou l'explication de certains résultats expérimentaux qui semblaient incompréhensibles : il fouillait dans ses poches, sortait un crayon et un paquet de cigarettes sur lequel il griffonnait des formules compliquées.

Descendu du bus, il s'en allait perdu dans ses pensées.

Arrivé à l'institut il cherchait Fermi ou Rasetti et, le paquet de cigarettes à la main, expliquait son idée.

Ensuite, il jetait souvent le paquet de cigarettes ».

Paul Dirac



Au début des années 30, le physicien et mathématicien britannique Paul Dirac a proposé une hypothèse selon laquelle à chaque particule correspond une antiparticule. Par exemple à l'électron est associé l'anti-électron, appelé positron.

Cette prédiction, purement théorique, fut rapidement confirmée en 1932 quand l'Américain Carl Anderson (*Nobel 1936*) découvrit, dans une chambre à brouillard, des positrons.

On sait aujourd'hui que toutes les particules élémentaires ont une antiparticule.

Théorie relativiste des particules de moment intrinsèque arbitraire

Majorana cherche à construire une théorie alternative à celle de Dirac, qui permettrait d'éliminer complètement les solutions à énergie négative. Vision en avance sur la recherche de l'époque.

Cet article extrêmement difficile n'a pratiquement pas été lu ni compris de son vivant.

On a pu reconstituer en partie l'évolution de ces études à partir d'une série de manuscrits,

les *Quaderni e i Volumetti* — 18 carnets et 5 cahiers — conservés à la Domus Galilaeana de Pise et publiés en 2006.

Particules de Dirac et de Majorana

On appelle « particule de Dirac » une particule de matière qui est différente de son antiparticule.

C'est le cas de toutes les particules chargées.

Ce n'est pas forcément le cas des particules neutres:

Ettore Majorana propose vers 1932-33 que les particules neutres soient leur propre antiparticule: particules de Majorana.

Article en 1936 sur la «théorie symétrique de l'électron et du positron », pour laquelle il est célèbre.

Giulio Racah, un ragazzo, proposa d'appliquer l'idée aux **neutrinos**.

Ses rencontres avec les meilleurs physiciens

Fermi réussit à convaincre Majorana d'aller rencontrer Heisenberg à Leipzig, en janvier 1933 pendant six mois.

Du 5 mars au 12 avril 1933, Majorana se rend aussi à l'Institut de physique théorique à Copenhague, où il rencontre [Niels Bohr \(Nobel en 1922\)](#) et publie un nouvel article (en allemand) sur la théorie du noyau.

Majorana est séduit par [Heisenberg \(Nobel en 1932\)](#), est aussi impressionné par la rigueur et l'organisation allemande.

Majorana semble éprouver quelque étrange fascination pour ce qu'il voit de l'Allemagne.

En mars, la mise en évidence par Carl David Anderson de [positrons \(antimatière\) \(Nobel en 1936\)](#) vient conforter l'hypothèse de Dirac, entraînant l'adhésion de la communauté scientifique jusque-là réticente, notamment celle d'Heisenberg.

Hypothèse que Majorana trouve « fondamentalement insatisfaisante ».

Ettore Majorana

À son retour il n'a pas repris sa place dans la vie de l'Institut.
Ettore Majorana reste secret, marquant toujours sa différence.
Il répugnait à parler, communiquer ou s'exposer.

Toutes les tentatives de Giovanni Gentile et d'Edoardo Amaldi
« pour le ramener à la science et à la vie » restent vaines.

En 1934, son père meurt et jusqu'en 1936, son état ne semble pas s'améliorer.

Il vit reclus, souffrant d'une gastrite et certainement d'une dépression nerveuse. Il se passionne pour les flottes de guerre, lisant entre autres [Pirandello](#).

Luigi Pirandello

Écrivain Italien

Agrigente, Sicile, 1867

Rome, 1936

Professeur de littérature italienne à Rome

Dans son roman *Feu Mathias Pascal*, Pirandello écrit une idée peut-être prémonitoire.

« Qui peut dire le nombre de ceux qui sont comme moi, mes frères... On laisse son chapeau et sa veste avec une lettre dans sa poche, sur le parapet d'un pont qui enjambe une rivière ; puis, au lieu de se jeter dans l'eau, on s'en va tranquillement en Amérique ou ailleurs. »

Professeur à Naples en 1938

À l'étonnement de beaucoup, Majorana participe à un recrutement académique à Naples en octobre 1937.

Afin de ne pas éliminer un des concurrents (son ami Gentile), la commission de recrutement crée un poste supplémentaire du fait de ses « mérites exceptionnels » et de sa « grande notoriété, qui est amplement justifiée ».

Il occupe son poste à Naples en janvier 1938 où il se lie d'amitié avec Antonio Carrelli, directeur de l'Institut de chimie et de physique.

5-La disparition d'Ettore Majorana reste un mystère et nourrit les polémiques

Le 26 mars 1938, il prend le paquebot-poste pour Palerme après avoir envoyé une lettre à Carrelli et en avoir laissé une autre « à sa famille » où son intention de suicide est clairement énoncée.

En fait, il ne se suicide pas, débarque à Palerme, envoie un télégramme et une autre lettre à Carrelli où il lui annonce qu'il revient à Naples et qu'il renonce à l'enseignement.

Palerme, 26 mars 1938

Cher Carrelli,

J'espère que mon télégramme et ma lettre te seront parvenus ensemble. La mer m'a refusé et je reviendrai demain à l'hôtel Bologna, en voyageant peut-être sur le même bateau que ce mot.

J'ai cependant l'intention de renoncer à l'enseignement.

Qui l'a vu?

Chi l'ha visto ?



Ettore Majorana, ordinario di fisica teorica all'Università di Napoli, è misteriosamente scomparso dagli ultimi di marzo. Di anni 31, alto metri 1,70, snello, con capelli neri, occhi scuri, una lunga cicatrice sul dorso di una mano. Chi ne sapesse qualcosa è pregato di scrivere al R. P. E. Maria-necci, Viale Regina Margherita 66 - Roma.

Plusieurs témoins dirent l'avoir vu après le 28 mars et parmi eux, son infirmière, le curé de l'église du Gesù Nuovo et le prier du couvent San Pasquale di Portici (le 12 avril 1938)

Appel de Fermi

Enrico Fermi, alors sur le point d'obtenir le prix Nobel pour ses découvertes en physique nucléaire, apprend qu'Ettore Majorana a disparu et demeure introuvable. Il écrit directement à Benito Mussolini.

Pourquoi un tel impératif ? Une telle urgence ?

« *Parce qu'il existe diverses catégories d'hommes de science*, prend le soin d'expliquer Fermi à Giuseppe Cocconi, un nouveau ragazzo :

Les génies, sont seuls capables de percées décisives.

Et Majorana est un authentique génie, de la même trempe que Galilée et Newton, avec des dons qu'il est le seul à posséder à son époque ».

La disparition d'Ettore Majorana reste un mystère et nourrit les polémiques depuis 1938

- Suicide ?
- Changement de vie savamment orchestré ?
- S'est-il retiré dans un couvent ?
- Assassinat ou enlèvement par des services secrets étrangers souhaitant stopper ses recherches sur l'atome ?
- Était-il visionnaire et avait-il entrevu les futures applications militaires néfastes de la physique nucléaire et préféré « disparaître »?

La disparition d'Ettore Majorana reste un mystère et nourrit les polémiques

-Suicide ? D'après Amaldi et Segrè

Non, très catholique. Son confesseur Monsignor Francesco Riccieri l'exclut.

« La mer m'a refusé » a-t-il écrit.

Plusieurs témoins dirent l'avoir vu après le 28 mars et parmi eux, son infirmière, le curé de l'église du Gesù Nuovo et le prier du couvent San Pasquale di Portici (le 12 avril 1938).

-Changement de vie savamment orchestré ?

Oui. Avait retiré ses économies à la banque et emporté son passeport. Voir ses lettres à Naples. Influencé par Pirandello.

-S'est-il retiré dans un couvent ?

Possible. D'après en particulier Leonardo Sciascia. Il voulait échapper à tout et à tout le monde.

Sa mère aussi le pense.

A l'automne 1939 le Père Caselli, un jésuite, qui officie dans un Monastère de Calabre accepte une donation de la famille de Majorana et en parle comme de l'éteint. Serait-il donc mort dans ce Monastère ?

-Assassinat ou enlèvement par des services secrets étrangers souhaitant stopper ses recherches sur l'atome

?

-Avait-il entrevu les futures applications militaires de la physique nucléaire et préféré « disparaître »?

Les Ragazzi excluent cette hypothèse.

C'était un génie alors pourquoi pas?

Il avait connu les horreurs de la 1ère guerre.

Pour ne pas participer à la construction de la bombe atomique comme Fermi.

Il aurait prévu que les forces nucléaires conduisent à des explosions nucléaires comme celles qui ont détruit Hiroshima et Nagasaki, conséquences des travaux de Fermi.

Alors difficile à imaginer?

Communiqués récents du Ministère Italien de la Justice

-Le 7 juin 2011, les médias italiens annoncent que le « Reparto investigazioni scientifiche de la Carabinieri » a analysé la photographie d'un homme, prise en Argentine en 1955, et a trouvé dix points de concordance avec le visage de Majorana.

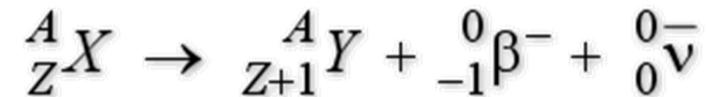
-Le 4 février 2015, Le bureau du procureur de Rome a publié un communiqué déclarant que Majorana était vivant entre 1955 et 1959, à Valencia, au Venezuela.

-Le Bureau a déclaré que l'affaire était officiellement fermée, puisque aucune preuve pénale liée à sa disparition n'a été trouvée, indiquant que celle-ci était probablement un choix personnel.

Les travaux d'Enrico Fermi (1901 Rome - 1954 Chicago)

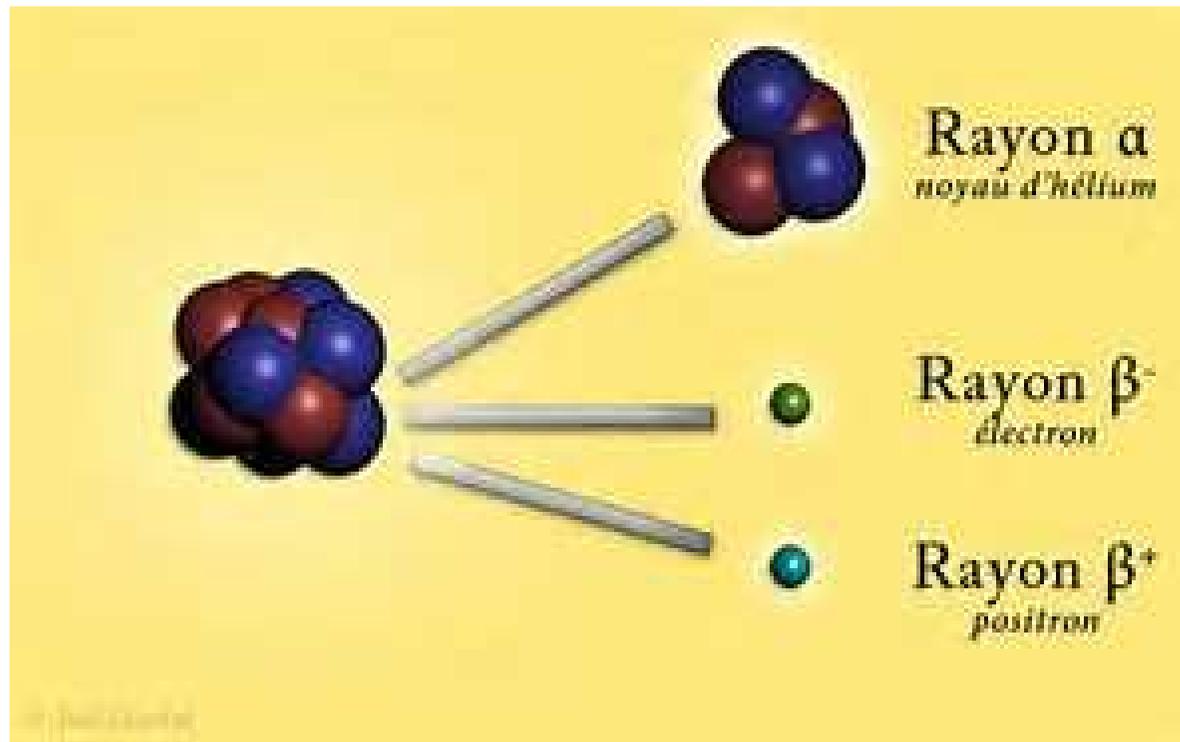
À partir de 1932, Fermi se tourne vers la physique nucléaire.

Il établit une théorie de la radioactivité β^- qui le conduit à postuler, en 1933, l'existence du **neutrino** (et de l'anti-neutrino) et introduit **l'interaction faible**.



Il est le premier à produire des radioéléments artificiels en grande quantité en utilisant comme projectiles des neutrons lents.

Le neutron qui n'a pas de charge électrique peut pénétrer plus facilement dans les noyaux que les particules alpha (noyau d'hélium ${}^4\text{He}^{2+}$).



IN QUESTO EDIFICIO
GIÀ SEDE DELL'ISTITUTO DI FISICA
DELL'UNIVERSITÀ DI ROMA
DAL MARZO 1934 AL GIUGNO 1936

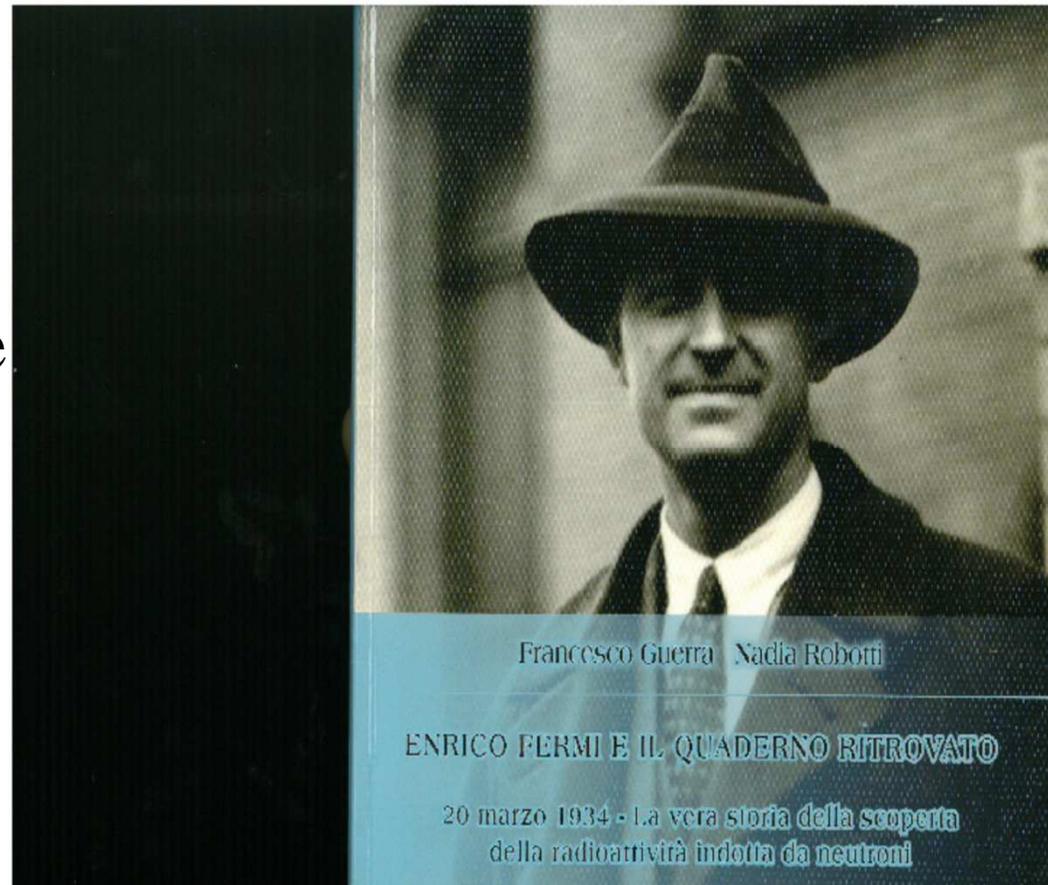
IL FISICO ENRICO FERMI
E I SUOI COLLABORATORI

EDOARDO AMALDI OSCAR D'AGOSTINO BRUNO PONTECORVO
FRANCO RASETTI EMILIO SEGRE
INVESTIGARONO LA RADIOATTIVITÀ ARTIFICIALE

PRODOTTA DAI NEUTRONI
DANDO INIZIO ALLE SCOPERTE
CHE PORTARONO ALLO SVILUPPO
E CONTROLLO DELL'ENERGIA NUCLEARE

Enrico Fermi et le cahier trouvé-20 mars 1934 –
la vraie histoire de
la découverte de la
radioactivité induite
par neutron

Editeur : SIF, Bologne
2015 (en italien)



***Enrico Fermi recevra le Prix Nobel de Physique en 1938
« pour sa démonstration de l'existence de nouveaux
éléments radioactifs produits par bombardements de
neutrons, et pour sa découverte des réactions
nucléaires créées par les neutrons lents »***

Mais, après avoir reçu son prix à Stockholm, il décide de ne pas regagner l'Italie fasciste (sa femme, d'origine juive, y est menacée par les nouvelles lois raciales) et, au début de 1939, il s'embarque avec sa famille pour les États-Unis, où une chaire de physique lui a été proposée à l'université Columbia.

SECTION/ SEZIONE **5** 5.1

**"THE ITALIAN NAVIGATOR
HAS LANDED
IN THE NEW WORLD ..."**

"IL NAVIGATORE ITALIANO
È SBARCATO
NEL NUOVO MONDO..."



Arrivato a New York all'inizio di gennaio 1939, Fermi apprende che Otto Hahn a Berlino ha scoperto la fissione nucleare e si lancia immediatamente nell'impresa di trovare il modo di sfruttare l'enorme energia prodotta in quel tipo di processo. Dopo l'innescò della reazione a catena il 2 dicembre 1942 nella pila di Chicago, reattori nucleari di potenza sono impiegati nella produzione di Plutonio, una sostanza altamente fissile in modo esplosivo. Il Trinity test del luglio 1945 mostra i terribili effetti dell'esplosione nucleare. Sono tempi di guerra.

Suite des travaux d'Enrico Fermi

- le 2 décembre 1942, première **pile atomique à Chicago** :
le premier réacteur nucléaire, produisant de l'énergie grâce à une réaction de fission en chaîne contrôlée.
- Naturalisé américain en 1944 et participe au projet Manhattan avec Niels Bohr, Emilio Segrè, Hans Bethe, Edward Teller, équipe dirigée par **Robert Oppenheimer** à Los Alamos (Nouveau-Mexique).
- Explosion de la première bombe atomique, le 16 juillet 1945, à Alamogordo.
- Hiroshima, le 6 août 1945 et Nagasaki le 9 août 1945.
- il est emporté par un cancer de l'estomac, à 53 ans.

7-Le neutrino est-il une particule de Majorana?

Le neutrino est la particule élémentaire la plus abondante de l'Univers.

C'est une particule élémentaire du modèle standard de la physique des particules. C'est un fermion de spin $\frac{1}{2}$, électriquement neutre.

Il n'interagit que très peu avec la matière. Pour les neutrinos, la matière est transparente, ils traversent les montagnes et même la Terre en étant extrêmement peu perturbés.

Son existence, proposée de façon purement théorique par Wolfgang Pauli en 1930 (*Nobel 1945*), puis par Enrico Fermi en 1934 (*Nobel 1938*), fut expérimentalement découverte en 1956 par une équipe de chercheurs américains dirigée par Clyde Cowan et Frederick Reines (*Nobel 1995*).

Insensible aux interactions électromagnétique et forte, il n'entre pas dans la composition des atomes, contrairement à l'électron et aux quarks, mais est produit dans de nombreuses réactions gouvernées par l'interaction faible.

**L'Univers est fait de douze constituants de base appelés particules fondamentales et gouverné par quatre forces fondamentales.
C'est le Modèle standard de la physique des particules**

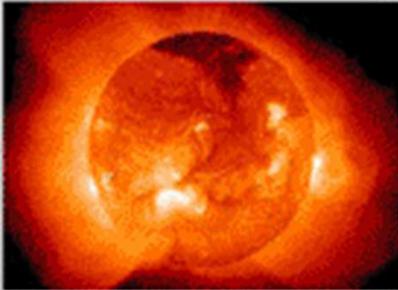
Tout ce qui nous entoure est constitué de particules de matière divisées en deux familles : les quarks et les leptons.

Constituants de la matière				Bosons de jauge		
	1 ^{ère} famille	2 ^{ème} famille	3 ^{ème} famille	Interaction forte	Interaction électro-magnétique	Interaction faible
Quarks	Up (u) (0.03 GeV)	Charm (c) (1.3 GeV)	Top (t) (174 GeV)	Gluons (g)	Photon (γ)	Bosons W ⁺ (80.4 GeV) W ⁻ (80.4 GeV) Z ⁰ (91.2 GeV)
	Down (d) (0.06 GeV)	Strange (s) (0.14 GeV)	Bottom (b) (4.3 GeV)			
Leptons	Electron (e ⁻) (0.0005 GeV)	Muon (μ^-) (0.106 GeV)	Tau (τ^-) (1.7 GeV)			Boson de Higgs (H ⁰)
	Neutrino (ν_e) électronique (≈ 0 GeV)	Neutrino (ν_μ) muonique (≈ 0 GeV)	Neutrino (ν_τ) tauique (≈ 0 GeV)			

**Gravitation
(négligeable
pour les particules
élémentaires)**

Gravitons

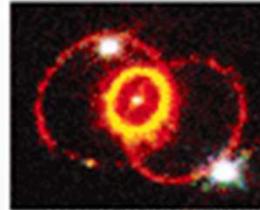
Il pleut des neutrinos de toute part...



Le soleil (fusion):
64 milliards
par cm^2 par seconde



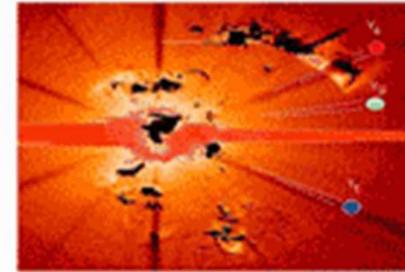
Les réacteurs nucléaires
(bêta) 100 000 par cm^2
par seconde à 200 km



Une Super Nova de notre
Voie Lactée (fusion)
5 milliards par cm^2 par
seconde pendant 10 s



Vous-mêmes, monsieur,
en émettez
8000 par seconde (bêta) !



Le Big-Bang : chaque cm^3
d'espace est occupé par
300 neutrinos « reliques »



Origine géophysique et
atmosphérique (bêta) :
6 millions par cm^2 par seconde

Oscillations des neutrinos

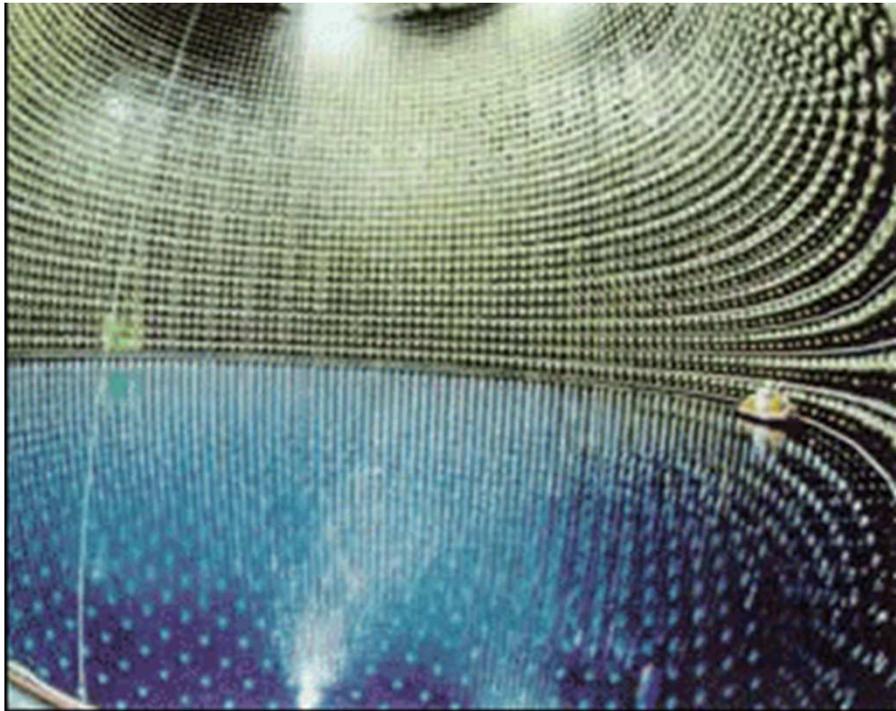
-Il est désormais connu que le neutrino et son équivalent d'antimatière, l'antineutrino, sont présents dans la nature en trois types ou « saveurs », chacune associée à un lepton élémentaire (électron, muon et tau).

-L'une de leurs propriétés les plus remarquables est leur capacité à se transformer entre ces différentes saveurs lors du phénomène d'oscillation, qui est d'origine purement quantique (imaginé dès 1957 par Bruno Pontecorvo, un Ragazzo).

-La découverte récente de ce phénomène, **a mise en évidence l'existence d'une masse non nulle pour les neutrinos**, par les expériences Super-Kamiokande au Japon et SNO au Canada.

Takaaki Kajita (Japon) et Arthur B. McDonald (USA): Prix Nobel de physique en 2015.

SuperKamioka au Japon



L'expérience SuperKamioka, a observé les neutrinos solaires, atmosphériques et, fortuitement, ceux de la supernova SN1987A

"astronomie neutrino" mettant en jeu des détecteurs de plus en plus massifs.

Une piscine de 50 000 tonnes d'eau ultra-pure sous terre au Japon dans la mine de Kamioka à 1000m de profondeur. Comprend 11000 photomultiplicateurs. L'interaction d'un neutrino avec l'eau produit des e- ou muons à une vitesse $>$ à celle de la lumière dans l'eau et donc de la lumière Cherenkov sous la forme d'un cône autour de la trajectoire. Permet d'étudier la direction de la particule.

Cette observation de se transformer entre différentes saveurs lors du phénomène d'oscillation, mettant en évidence une masse du neutrino, est en fait révolutionnaire, le Modèle Standard de la Physique des Particules postulant que les neutrinos sont de masse nulle.

De nombreuses questions restent en suspens :

Quelle est l'échelle de masse des neutrinos ?

Les antineutrinos oscillent-ils comme les neutrinos ?

Le neutrino est-il sa propre antiparticule (Majorana)?

Un vaste programme expérimental vise à répondre à ces questions.

Radioactivité par « double désintégration bêta »

Pour établir que les neutrinos sont bien des fermions de Majorana, les physiciens tentent de surprendre depuis quelques années une forme particulière de la **radioactivité par double désintégration bêta**.

L'existence d'une première forme de cette radioactivité a été prédite en 1935 par la physicienne **Maria Goeppert-Mayer** (1906-1972) (Nobel 1963) et n'a été observée qu'en 1987 avec des noyaux de sélénium instables.



« Double désintégration bêta sans émission de neutrino » ($\beta\beta 0\nu$)

Ce processus nécessite que le neutrino soit une particule de Majorana et non une particule de Dirac.

L'observation d'une telle décroissance, strictement interdite par le modèle standard de la physique des particules démontrerait l'existence d'une « nouvelle physique », au-delà du modèle standard.

Elle permettrait en outre d'accéder à la masse du neutrino, trop faible pour être mesurée directement avec les techniques expérimentales actuelles

Plein de projets expérimentaux

Détecteur NEMO3 (2003-2011)
(Neutrino Ettore Majorana Observatory)
Laboratoire Souterrain de Modane, sous le tunnel du Fréjus



A permis la détermination d'une masse maximale du neutrino inférieure à 1 eV.
Le détecteur ne permettant pas de descendre plus bas.

le projet SuperNemo3, est en cours de mise en œuvre.

La double désintégration bêta sans neutrinos EXO-200

Exo-200 (Exo pour *Enriched Xenon Observatory*), a duré deux années à l'aide d'un détecteur installé à 650 mètres de profondeur dans le *Waste Isolation Pilot Plant* (WIPP).

Cette installation est un centre de stockage de déchets radioactifs militaires (Nouveau Mexique).

En 2011, elle avait détecté une désintégration double bêta MAIS avec neutrinos.

Aujourd'hui: **nEXO** (pour « *Next Exo* »)

Projet européen de télescope à neutrinos KM3NeT (Cubic kilometer Neutrino Telescope) à installer en Méditerranée au large de Toulon (ORCA) et en Sicile (ARCA) et plus tard en Grèce.

ORCA=Oscillation Research with Cosmics in the Abyss

ARCA=Astroparticles Research with Cosmics in the Abyss

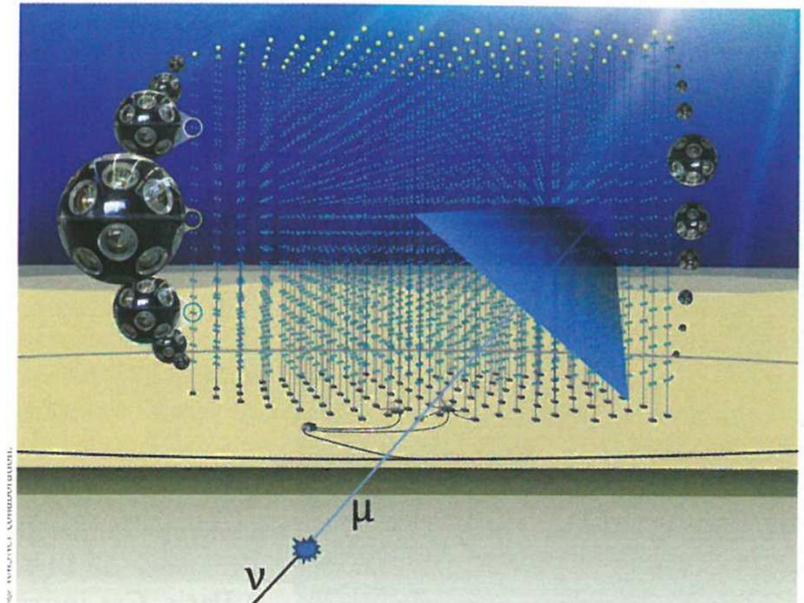
Pour détecter la très faible lumière générée par les neutrinos ayant traversée la terre.

Détecteurs à effet Cherenkov à 3500 m de profondeur.

Intérêts fondamentaux.

Application aux Sciences de la Terre en Géophysique.

Géoneutrinos ou antineutrinos issus de la radioactivité bêta dans les chaînes de désintégrations de l'U, du Th et du K contenus dans la croûte et le manteau terrestre.



Impression d'artiste du télescope à neutrinos KM3NeT ancré sur le fond marin.

Conclusion

-Etrange et extraordinaire histoire que celle d'Ettore Majorana mais aussi celle de son patron, Enrico Fermi.

-Ettore Majorana, fut un membre de la « Dream team » d'Enrico Fermi (Ragazzi di via Panisperna), une pépinière de brillants chercheurs italiens.

-Leurs recherches ont conduit à des avancées fondamentales et applicatives inouïes.

-Le génie de ses contributions et le mystère de sa disparition à 31 ans restent deux composantes d'Ettore Majorana.

-Diverses hypothèses sur sa disparition.

-Ses recherches exceptionnelles trouvent un écho aujourd'hui en physique des particules, plus spécialement pour les **neutrinos.**

(Modèle Standard, anti-matière, géophysique)



*Merci beaucoup
de votre attention*



MUSEO
STORICO DELLA FISICA
E
CENTRO
STUDI E RICERCHE

Ouverture prochaine en 2018

Remerciements

Professor Baldassare Di Bartolo, Boston College and Director of the International School of Atomic and Molecular Spectroscopy, for giving me the chance to attend Erice every year since 1893.

Professeur Giancarlo Righini

Associate Scientist at Enrico Fermi Center (Rome) and Institute of Applied Physics (Florence)

For opening the Italian Ministry of Interior on December 2, 2017 in Roma to discover Fermi Lab!

Dr. Malgorzata Guzik, Associate Professor at the University of Wroclaw, Poland, for taking pictures during this wonderful visit of Fermi Lab.