

Virgilio Polara, “Sul potere emissivo dei corpi neri”

Il Nuovo Cimento (1901-1910), volume 19, No. 1, pagine 329-334 (1910) •

APPROFONDIMENTO

Virgilio Polara (1887-1974) studiò alla Scuola normale superiore di Pisa e si laureò con Angelo Battelli. Fu professore di Fisica sperimentale a Catania e Messina, dove diresse l'Osservatorio Geofisico.

“Sul potere emissivo dei corpi neri”. Il corpo nero, come caso limite termodinamico di un corpo emittente e assorbente radiazione, fu definito nel 1860 da Gustav Kirchhoff. I tentativi di ottenere un'espressione per la funzione generale della radiazione di corpo nero prevista da Gustav Kirchhoff si limitarono per alcuni decenni a un approccio esclusivamente teorico. Un primo risultato positivo si ebbe nel 1887 con i primi articoli teorici sul tema del fisico russo Vladimir Michelson basati sui risultati sperimentali ottenuti da Langley con il bolometro su superfici emittenti non ancora da corpo nero. I primi risultati sperimentali risalgono invece al 1895 con gli spettri di corpo nero, come radiazione di cavità, prodotti in laboratorio da Wilhelm Wien e Lummer. Il tentativo di Wien, nel 1896, di ottenere un'espressione teorica per la funzione generale di Kirchhoff su basi termodinamiche, si basava anche sui lavori di Michelson. La formula di Wien per lo spettro del corpo nero non era però perfettamente compatibile con i risultati sperimentali ottenuti da Rubens, Pringsheim, Kurlbaum e altri negli ultimi anni dell'Ottocento, specialmente alle piccole frequenze. Solo la formula di Max Planck (1900) sarà pienamente in accordo con i dati sperimentali.

L'articolo di Polara, pur ponendosi a dieci anni di distanza dal lavoro di Planck e pur considerando le “Lezioni sulla Teoria della radiazione calorica” del 1906, riprese in considerazione la formula di Wien correggendola con un'ipotesi di Michelson sul legame tra la radiazione emessa da una molecola e una funzione della temperatura.

§§§§

Virgilio Polara, *On the Blackbody Emissive Power*

Il Nuovo Cimento (1901-1910), volume 19, No. 1, pages 329-334 (1910) •

Virgilio Polara (1887-1974) studied at the Scuola Normale Superiore in Pisa and graduated with Angelo Battelli. He was professor of Experimental Physics in Catania and Messina, where he directed the Geophysical Observatory.

On the Blackbody Emissive Power. The blackbody, as a thermodynamic limiting case of a radiation emitting and absorbing body, was defined by Gustav Kirchhoff in 1860. The attempts to obtain a formula for the general function of blackbody radiation predicted by Gustav Kirchhoff were limited for some decades to an exclusively theoretical approach. A first positive result occurred in 1887 with the first theoretical articles on the subject by the Russian physicist Vladimir Michelson based on the experimental results obtained by Langley with the bolometer on emitting surfaces, but not yet on a blackbody. The first experimental results date back to 18905 with blackbody spectra, as a cavity radiation, produced in a laboratory by Wilhelm Wien and Lummer. Wien's attempt, in 1896, to obtain a theoretical expression for Kirchhoff's general function on a thermodynamic basis, was also based on Michelson's work. However, Wien's formula for the blackbody spectrum was not perfectly compatible with the experimental results obtained by Rubens, Pringsheim, Kurlbaum and others in the late nineteenth century, especially at small frequencies. Only Max Planck's 1900 formula will be in full agreement with the experimental data.

Polara's article, although ten years after Planck's work and although it considered the 1906 “Lectures on the Theory of Caloric Radiation”, took into consideration Wien's formula correcting it with Michelson's hypothesis on the link between the radiation emitted by a molecule and a function of temperature.

Luigi Puccianti, “Una determinazione in misura assoluta della potenza irraggiata dal corpo nero”

Il Nuovo Cimento (1911-1923), volume 4, No. 1, pagine 31-48 (1912) •

APPROFONDIMENTO



Luigi Puccianti (1875-1952) si laureò in fisica all'Università di Pisa nel 1898 con Angelo Battelli con una tesi sperimentale sulla radiazione ultrarossa. Fu professore di Fisica sperimentale a Genova, Torino e Pisa. Si segnala per i suoi studi sulla spettroscopia, l'ottica e l'elettromagnetismo. Fu il relatore della tesi di laurea di Enrico Fermi.

“Una determinazione in misura assoluta della potenza irraggiata dal corpo nero”. Due articoli di Puccianti del 1912 (questo è il primo) furono dedicati allo studio sperimentale di una legge sulla radiazione termica, la legge di Stefan-Boltzmann, che lega la potenza totale irraggiata da una superficie di corpo nero alla quarta potenza della temperatura assoluta della superficie stessa. La legge fu formulata da Josef Stefan nel 1879 in conseguenza degli studi sperimentali sulla radiazione termica suoi e di John Tyndall. Cinque anni dopo, nel 1884, Ludwig Boltzmann ottenne la legge empirica di Stefan a partire da considerazioni termodinamiche e sfruttando l'ipotesi di Adolfo Bartoli dell'esistenza di una pressione esercitata dalla radiazione termica. I successivi studi sperimentali sul corpo nero dei fisici tedeschi evidenziarono la compatibilità dei dati sperimentali con la legge di Stefan-Boltzmann. Il valore della costante di proporzionalità tra la potenza e la quarta potenza della temperatura assoluta fu determinato teoricamente a partire dalla formulazione di Max Planck della formula generale di Kirchhoff nel 1900.

La formula di Planck conteneva due costanti, il quanto d'azione e la costante di Boltzmann, la cui determinazione sperimentale era della massima importanza. Il quanto d'azione di Planck, in particolare, apparve subito come la costante di più difficile determinazione e si cercò di ottenerla, in un contesto sperimentale di corpo nero, misurando la costante di Stefan-Boltzmann. Alla prima misura, dovuta a Ferdinand Kurlbaum ne seguirono altre miranti a determinare con maggiore precisione il valore della costante. La ricerca sperimentale di Puccianti aveva come obiettivo il miglioramento della precisione sul valore della costante di Stefan-Boltzmann da misurare con tecniche bolometriche (nel primo articolo) e termometriche (nel secondo articolo).

§§§§

Luigi Puccianti, An Absolute Determination of the Power Radiated by a Blackbody

Il Nuovo Cimento (1911-1923), volume 4, No. 1, pages 31-48 (1912) •

Luigi Puccianti (1875-1952). He graduated in Physics at the University of Pisa in 1898 with Angelo Battelli with an experimental thesis on ultra-red radiation. He was professor of Experimental Physics in Genoa, Turin, and Pisa. He is notable for his studies on spectroscopy, optics, and electromagnetism. He was the supervisor of Enrico Fermi's degree thesis.

An Absolute Determination of the Power Radiated by a Blackbody. Two 1912 articles by Puccianti (this is the first one) were devoted to the experimental study of a thermal radiation law, the Stefan-Boltzmann law, which links the total power radiated by a blackbody surface to the fourth power of the absolute temperature of the surface. The law was formulated by Josef Stefan in 1879 as a result of his and John Tyndall's experimental studies on thermal radiation. Five years later, in 1884, Ludwig Boltzmann obtained Stefan's empirical law starting from thermodynamic considerations and exploiting Adolfo Bartoli's hypothesis of the existence of a pressure exerted by thermal radiation. Subsequent experimental studies on the blackbody by German physicists highlighted the compatibility of the experimental data with Stefan-Boltzmann law. The value of the proportionality constant between the radiation power and the fourth power of the absolute temperature was theoretically determined starting from Max Planck's formulation of Kirchhoff's general formula in 1900.

Planck's formula contained two constants, the quantum of action and Boltzmann's constant, whose experimental determination was of the utmost importance. Planck's quantum of action, in particular, immediately appeared as the most difficult constant to determine and an attempt was made to obtain it, in an experimental blackbody context, by measuring Stefan-Boltzmann constant. The first measurement, by Ferdinand Kurlbaum, was followed by others aimed at determining the value of the constant with greater precision. Puccianti's experimental research aimed to improve the accuracy of the value of Stefan-Boltzmann constant to be measured with bolometric (in the first article) and thermometric (in the second article) techniques.

Luigi Puccianti, “Un'altra determinazione in misura assoluta della potenza irraggiata dal corpo nero”

Il Nuovo Cimento (1911-1923), volume 4, No. 1, pagine 322-330 (1912) ●

APPROFONDIMENTO



Luigi Puccianti (1875-1952). Si laureò in fisica all'Università di Pisa nel 1898 con Angelo Battelli con una tesi sperimentale sulla radiazione ultrarossa. Fu professore di Fisica sperimentale a Genova, Torino e Pisa. Si segnala per i suoi studi sulla spettroscopia, l'ottica e l'elettromagnetismo. Fu il relatore della tesi di laurea di Enrico Fermi.

“Un'altra determinazione in misura assoluta della potenza irraggiata dal corpo nero”. Due articoli di Puccianti del 1912 (questo è il secondo) furono dedicati allo studio sperimentale di una legge sulla radiazione termica, la legge di Stefan-Boltzmann, che lega la potenza totale irraggiata da una superficie di corpo nero alla quarta potenza della temperatura assoluta della superficie stessa. La legge fu formulata da Josef Stefan nel 1879 in conseguenza degli studi sperimentali sulla radiazione termica suoi e di John Tyndall. Cinque anni dopo, nel 1884, Ludwig Boltzmann ottenne la legge empirica di Stefan a partire da considerazioni termodinamiche e sfruttando l'ipotesi di Adolfo Bartoli dell'esistenza di una pressione esercitata dalla radiazione termica. I successivi studi sperimentali sul corpo nero dei fisici tedeschi evidenziarono la compatibilità dei dati sperimentali con la legge di Stefan-Boltzmann. Il valore della costante di proporzionalità tra la potenza e la quarta potenza della temperatura assoluta fu determinato teoricamente a partire dalla formulazione di Max Planck della formula generale di Kirchhoff nel 1900.

La formula di Planck conteneva due costanti, il quanto d'azione e la costante di Boltzmann, la cui determinazione sperimentale era della massima importanza. Il quanto d'azione di Planck, in particolare, apparve subito come la costante di più difficile determinazione e si cercò di ottenerla, in un contesto sperimentale di corpo nero, misurando la costante di Stefan-Boltzmann. Alla prima misura, dovuta a Ferdinand Kurlbaum ne seguirono altre miranti a determinare con maggiore precisione il valore della costante. La ricerca sperimentale di Puccianti aveva come obiettivo il miglioramento della precisione sul valore della costante di Stefan-Boltzmann da misurare con tecniche bolometriche (nel primo articolo) e termometriche (nel secondo articolo)

§§§§

Luigi Puccianti, Another Absolute Determination of the Power Radiated by a Blackbody

Il Nuovo Cimento (1911-1923), volume 4, No. 1, pages 322-330 (1912) ●

Luigi Puccianti (1875-1952). He graduated in Physics at the University of Pisa in 1898 with Angelo Battelli with an experimental thesis on ultra-red radiation. He was professor of Experimental Physics in Genoa, Turin, and

Pisa. He is notable for his studies on spectroscopy, optics, and electromagnetism. He was the supervisor of Enrico Fermi's degree thesis.

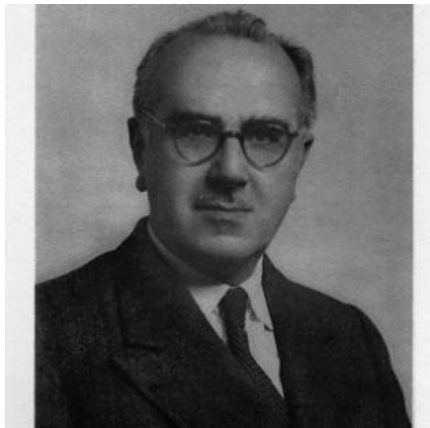
Another Absolute Determination of the Power Radiated by a Blackbody. Two 1912 articles by Puccianti (this is the first one) were devoted to the experimental study of a thermal radiation law, the Stefan-Boltzmann law, which links the total power radiated by a blackbody surface to the fourth power of the absolute temperature of the surface. The law was formulated by Josef Stefan in 1879 as a result of his and John Tyndall's experimental studies on thermal radiation. Five years later, in 1884, Ludwig Boltzmann obtained Stefan's empirical law starting from thermodynamic considerations and exploiting Adolfo Bartoli's hypothesis of the existence of a pressure exerted by thermal radiation. Subsequent experimental studies on the blackbody by German physicists highlighted the compatibility of the experimental data with Stefan-Boltzmann law. The value of the proportionality constant between the radiation power and the fourth power of the absolute temperature was theoretically determined starting from Max Planck's formulation of Kirchhoff's general formula in 1900.

Planck's formula contained two constants, the quantum of action and Boltzmann's constant, whose experimental determination was of the utmost importance. Planck's quantum of action, in particular, immediately appeared as the most difficult constant to determine and an attempt was made to obtain it, in an experimental blackbody context, by measuring Stefan-Boltzmann constant. The first measurement, by Ferdinand Kurlbaum, was followed by others aimed at determining the value of the constant with greater precision. Puccianti's experimental research aimed to improve the accuracy of the value of Stefan-Boltzmann constant to be measured with bolometric (in the first article) and thermometric (in the second article) techniques.

Giovanni Polvani, “Probabilità di liberazione posseduta dagli elettroni nell’effetto fotoelettrico”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 3, No. 1-2, pagine 319-333 (1926) ●

APPROFONDIMENTO



Giovanni Polvani (1892-1970), studente di matematica e di fisica alla Scuola normale superiore di Pisa, si formò nella fisica sperimentale nel gruppo di Luigi Puccianti. Fu professore di Fisica sperimentale a Bari, Pisa e, infine, a Milano dove istituì i corsi di laurea in Fisica e in Matematica e Fisica. Fu presidente della Società italiana di fisica (1947-1961) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (1960-1964) e uno dei principali organizzatori della fisica italiana del dopoguerra. Notevoli i suoi interessi per la storia della fisica.

“Probabilità di liberazione posseduta dagli elettroni nell’effetto fotoelettrico”. L’articolo teorico di Polvani del 1926 si inseriva nelle ricerche sul rendimento dell’effetto fotoelettrico, cioè sulla differente probabilità di estrarre da un metallo un elettrone per effetto fotoelettrico a seconda delle caratteristiche del metallo.

L’effetto fotoelettrico fu scoperto nel 1887 da Heinrich Hertz che osservò una variazione della minima differenza di potenziale corrispondente alla formazione di scintille tra due elettrodi metallici quando questi venivano illuminati da radiazione ultravioletta. Nel 1902 Philipp von Lenard dimostrò sperimentalmente che le scintille erano dovute all’emissione di particelle cariche dagli elettrodi e che queste particelle possedevano le stesse proprietà degli elettroni.

Gli studi sperimentali di Lenard misero in evidenza una serie di caratteristiche fenomenologiche che non potevano essere spiegate da una teoria classica della radiazione: l’emissione di elettroni avveniva soltanto se la frequenza della radiazione era maggiore di un dato valore dipendente solo dal metallo considerato; l’emissione di elettroni, se possibile, era istantanea; l’intensità della radiazione non influiva sull’energia cinetica degli elettroni emessi.

L’interpretazione teorica dell’effetto fotoelettrico nel nuovo contesto della fisica dei quanti fu dovuta ad Albert Einstein nel 1905 che assunse una radiazione con energia quantizzata direttamente proporzionale alla sua frequenza, e una funzione di lavoro necessaria per l’estrazione dell’elettrone da un atomo. L’interpretazione di Einstein della quantizzazione dell’energia della radiazione, e di conseguenza dell’effetto fotoelettrico, fu accettata solo dopo ulteriori verifiche sperimentali, in particolare quelle di Robert Millikan del 1916.

Owen Richardson propose nel 1911 una teoria non quantistica, alternativa a quella di Einstein, su base termodinamica. Per confermarla eseguì un esperimento su diversi metalli insieme a Karl Compton finendo per ottenere, invece, risultati perfettamente in linea con la teoria di Einstein. Il secondo decennio del ‘900 vide diverse ricerche sperimentali sulla misura delle funzioni di lavoro per i differenti metalli e dei valori di rendimento fotoelettrico.

Giovanni Polvani, Release Probability Possessed by Electrons in the Photoelectric Effect

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 3, No. 1-2, pages 319-333 (1926) ●

Giovanni Polvani (1892-1970) was a student of mathematics and physics at the Scuola Normale Superiore in Pisa. He trained in experimental physics in Luigi Puccianti's team. He was professor of Experimental Physics in Bari, Pisa and, finally, in Milan where he established the degree courses in Physics and in Mathematics and Physics. He was president of the Italian Physics Society (1947-1961) and of the National Research Council (1960-1964) and one of the main organizers of post-war Italian physics. His interests in the history of physics are noteworthy.

Release Probability Possessed by Electrons in the Photoelectric Effect. Polvani's 1926 theoretical article was a part of a research on the performance of the photoelectric effect, that is, on the different probability of extracting an electron from a metal by photoelectric effect depending on the metal characteristics.

The photoelectric effect was discovered in 1887 by Heinrich Hertz who observed a variation in the minimum potential difference corresponding to the formation of sparks between two metal electrodes when they were illuminated by ultraviolet radiation. In 1902 Philipp von Lenard experimentally demonstrated that the sparks were due to the emission of charged particles from the electrodes and that these particles possessed the same properties as electrons.

Lenard's experimental studies highlighted a series of phenomenological characteristics that could not be explained by a classical radiation theory: the electron emission only occurred if the radiation frequency was greater than a given value depending only on the metal considered; the electron emission, if possible, was instantaneous; the radiation intensity did not affect the kinetic energy of the emitted electrons.

The theoretical interpretation of the photoelectric effect in the new context of quantum physics was due to Albert Einstein in 1905. He assumed a radiation with quantized energy directly proportional to its frequency, and a work function necessary for the extraction of the electron from an atom. Einstein's interpretation of the quantization of the radiation energy, and consequently of the photoelectric effect, was accepted only after further experimental tests, in particular Robert Millikan's 1916 ones.

Owen Richardson proposed in 1911 a non-quantum theory, an alternative to Einstein's one, based on thermodynamics. To confirm it, he carried out an experiment on different metals together with Karl Compton, but ended up obtaining results perfectly in line with Einstein's theory. The second decade of the 1900s saw various experimental researches on the measurement of work functions for different metals and photoelectric efficiency values.

Enrico Fermi, “Argomenti pro e contro la ipotesi dei quanti di luce”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 3, pagine xlvii-liv (1926) ●●●

APPROFONDIMENTO



Enrico Fermi (Roma, 1901, Chicago 1954) è uno dei fisici italiani più famosi e importanti. Vincitore nel 1938 del premio Nobel per la Fisica per la scoperta della radioattività indotta da neutroni e per l'effetto del loro rallentamento, portò la ricerca italiana a livello internazionale in settori di punta quali la fisica atomica, la fisica teorica, la fisica nucleare. In America, dove si trasferisce definitivamente nel 1938, realizza il primo reattore nucleare e partecipa in posizione di primo piano al progetto Manhattan sugli armamenti nucleari. Terminata la guerra, dà contributi molto importanti soprattutto in ricerche sui neutroni e sui mesoni.

L'articolo “**Argomenti pro e contro la ipotesi dei quanti di luce**” viene scritto nel 1926, quando Fermi è professore Incaricato di Fisica Matematica e di Meccanica Razionale presso l'Università di Firenze, e rappresenta una sua riflessione, anche a scopo didattico, sull'ipotesi dei “quanti di luce”.

Siamo nel 1926 e l'ipotesi dei “quanti di luce”, o “fotoni”, come verranno chiamati da lì a pochissimo (Lewis 1926), sebbene introdotta da Einstein nel lontano 1905 non è ancora universalmente accettata.

Fermi entra nel dibattito sulla validità o meno di questa ipotesi e ne illustra, parlando anche dell'“effetto Compton” recentemente scoperto (A. Compton, 1922) i grandi meriti, per quanto riguarda l'interpretazione delle fenomenologie riguardanti lo spettro X e γ , ma anche i grossi limiti, per quanto riguarda l'interpretazione dei fenomeni connessi con le onde Hertziane.

La posizione finale di Fermi, di fronte al “dualismo tra la teoria ondulatoria e la teoria dei quanti di luce”, definita quest'ultima “teoria quantistica estrema”, è una posizione di “attesa”, cioè quella di aspettare che tutto il campo dell'ottica, dalle frequenze più piccole, a quelle più grandi, venga “inglobato in un unico edificio armonico”.

Come è noto, questo edificio armonico, che racchiude in sé sia gli aspetti corpuscolari che ondulatori della luce, verrà realizzato da lì a poco con la nascita dell'elettrodinamica quantistica (Q.E.D.).

§§§§

Enrico Fermi, 2Arguments for and against the quantum hypothesis of light

Il Nuovo Cimento (1924-1942) volume 3, pages xlvii-liv (1926) ●●●

Enrico Fermi (Roma, 1901, Chicago 1954). Winner of the Nobel Prize in Physics in 1938 for the discovery of radioactivity induced by neutrons and for the effect of their slowdown, he brought Italian research to an international level in leading sectors such as atomic physics, theoretical physics, nuclear physics. In America,

where he moved permanently in 1938, he built the first nuclear reactor and participated as a leader in the Manhattan project on nuclear weapons. After the war, he makes very important contributions especially in research on neutrons and mesons.

Arguments for and against the quantum hypothesis of light. The article was written in 1926, when Fermi was Professor of Mathematical Physics and Rational Mechanics at the University of Florence, and represents his reflection, also for educational purposes, on the "quanta of light" hypothesis.

We are in 1926 and the hypothesis of "quanta of light", or "photons", as they will soon be called (Lewis 1926), although introduced by Einstein in the distant 1905, is not yet universally accepted.

Fermi enters the debate on the validity or otherwise of this hypothesis and illustrates, also talking about the recently discovered "Compton effect" (A. Compton, 1922), the great merits, as regards the interpretation of phenomenologies concerning the X and γ , but also the big limits, as regards the interpretation of the phenomena connected with the Hertzian waves.

Fermi's final position, faced with the "dualism between the wave theory and the quantum theory of light", defined as the latter "extreme quantum theory", is a position of "waiting", that is to wait for the whole field optics, from the smallest to the largest frequencies, is "incorporated into a single harmonic building".

As is known, this harmonic building, which contains both the corpuscular and undulatory aspects of light, will be built shortly thereafter with the birth of quantum electrodynamics (Q.E.D.).

Giovanni Polvani, • “L’introduzione della ipotesi dei quanta nella fisica”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 3, No. 1-2, pagine lxxxiii-lxxxiv (1926) •

APPROFONDIMENTO



Giovanni Polvani (1892-1970), studente di matematica e di fisica alla Scuola normale superiore di Pisa, si formò nella fisica sperimentale nel gruppo di Luigi Puccianti. Fu professore di Fisica sperimentale a Bari, Pisa e, infine, a Milano dove istituì i corsi di laurea in Fisica e in Matematica e Fisica. Fu presidente della Società italiana di fisica (1947-1961) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (1960-1964) e uno dei principali organizzatori della fisica italiana del dopoguerra. Notevoli i suoi interessi per la storia della fisica.

“L’introduzione della ipotesi dei quanta nella fisica”. L’articolo di Polvani si colloca dopo la conclusione di un percorso di ricerche che nel corso di tre decenni ha portato all’accettazione dell’idea di fotone come corpuscolo della luce. Nello studio del corpo nero Max Planck era giunto nel 1900 a trovare l’espressione corretta della formula del suo spettro assumendo la quantizzazione dell’energia degli oscillatori presenti nelle pareti del corpo nero. Nel 1905 Albert Einstein superò l’ipotesi di Planck assumendo che anche l’energia della radiazione emessa dagli oscillatori doveva essere quantizzata.

L’esistenza effettiva di quanti di radiazione, caratterizzati da un’energia e una quantità di moto legate alla frequenza della radiazione e al quanto d’azione di Planck, fu sperimentalmente confermata dalle ricerche di Arthur Compton sull’effetto che porta il suo nome (diffusione di raggi X incidenti su elettroni atomici), ricerche pubblicate nel 1923 e che hanno portato all’utilizzo del nome “fotone”.

Nel 1924 Satyendra Nath Bose sviluppò una statistica non classica che descrive il comportamento dei fotoni (e, più in generale, dei bosoni). È a questo punto che Polvani, in quest’articolo, prese nuovamente in considerazione la radiazione di cavità di corpo nero assumendola come un vapore saturo di un gas ideale monoatomico dopo aver stabilito la corrispondenza tra le grandezze meccaniche di un atomo di gas ideale e di un fotone. L’analisi termodinamica del vapore saturo di fotoni, seguendo il metodo usato da Rudolf Clausius per dimostrare il teorema del viriale, portò Polvani a ottenere la relazione sulla pressione di radiazione di Maxwell-Bartoli. Dallo studio teorico delle relazioni adiabatiche sul gas di fotoni, Polvani ottenne nuovamente le leggi fondamentali del corpo nero e la caratterizzazione del vapore saturo di fotoni come estremamente rarefatto.

Giovanni Polvani, *The Introduction of the Quanta Hypothesis in Physics*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 3, No. 1-2, pages lxxxiii-lxxxiv (1926) ●

Giovanni Polvani (1892-1970) was a student of mathematics and physics at the Scuola Normale Superiore in Pisa. He trained in experimental physics in Luigi Puccianti's team. He was professor of Experimental Physics in Bari, Pisa and, finally, in Milan where he established the degree courses in Physics and in Mathematics and Physics. He was president of the Italian Physics Society (1947-1961) and of the National Research Council (1960-1964) and one of the main organizers of post-war Italian physics. His interests in the history of physics are noteworthy.

The Introduction of the Quanta Hypothesis in Physics. This article by Polvani offers a historical overview of blackbody thermal radiation physics. It is not surprising that the introduction to the article, in a way not unusual for Polvani, links the topic to antiquity, in this case to the episode of burning mirrors that the tradition wants to attribute to Archimedes

The article, in 11 paragraphs, starts from Gustav Kirchhoff's researches that led to his formulation of the radiant heat law in 1859. As a consequence of Kirchhoff's law, a blackbody is identified, even experimentally, as a thermodynamic system with a limiting behaviour of fundamental importance in the study of Kirchhoff's general function.

The reference to 1876 Adolfo Bartoli's work on irradiation, in particular on the problem of the pressure exerted by calorific radiation, is interesting in the historical path that leads to the determination of Kirchhoff's function by Max Planck in 1900. Although Bartoli very early rejected the idea of a radiation pressure (a fact that Polvani seems to ignore, as was commonly assumed at the time), his work played a not secondary role in Ludwig Boltzmann's deduction of Stefan-Boltzmann radiation law.

Among the expressions of Kirchhoff's function earlier than Planck's one, Polvani introduces Rayleigh-Jeans one, obtained in a classical physics context, and Wilhelm Wien's one, the first that "in a certain way presents itself as heterodox".

Polvani's historical presentation focuses mainly on theoretical research. It ends with thoughts that take into account the twenty-five years that have passed since the publication of Planck's articles and that show the uneasiness, still alive in 1926, generated by the failure to reduce to classical physics laws of all physical phenomena that can be interpreted by assuming Planck's quantum of action h .

Antonio Carrelli, “Sul fenomeno di Compton”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 4, No. 1, pagine 142-145 (1927) •

APPROFONDIMENTO



Antonio Carrelli (1900-1980). Si laureò in fisica all’Università di Napoli nel 1921 con Michele Cantone. Prima di ottenere la libera docenza nel 1924 collaborò con Orso Mario Corbino a Roma e Peter Pringsheim a Berlino. Fu professore di Fisica sperimentale a Catania e a Napoli. Nelle sue ricerche si occupò di ottica, acustica e magnetismo. Ricoprì numerosi incarichi pubblici in istituzioni italiane e internazionali.

“Sul fenomeno di Compton”. La diffusione di raggi X da elettroni atomici fu mostrata sperimentalmente da Arthur Compton nel 1922. Gli esperimenti che portarono alla scoperta dell’effetto Compton erano lo sviluppo degli studi teorici di Compton sulla diffusione dei raggi X per lo studio della disposizione degli atomi nei cristalli iniziati nel 1918. Compton osservò, con un bersaglio di carbonio, che i raggi X diffusi avevano una lunghezza d’onda maggiore di quella incidente, con un andamento crescente in funzione dell’angolo di diffusione. Compton stesso interpretò il fenomeno osservato con la teoria quantistica della luce assumendo la diffusione come dovuta all’urto di un fotone (con energia e quantità di moto direttamente proporzionali alla frequenza della radiazione) con un elettrone atomico. L’unico punto non spiegabile con la teoria quantistica della luce era il valore dell’angolo di diffusione. Un tentativo di interpretare l’effetto Compton con la teoria classica della radiazione si ebbe con l’analisi di Otto Halpern nel 1924 del movimento di un elettrone sotto l’influenza di un’onda elettromagnetica piana.

In questa breve nota del 1927, Carrelli intese mostrare come l’effetto Compton non poteva essere spiegato completamente né dalla teoria classica della radiazione né dalla vecchia teoria quantistica della luce, ma che fosse necessario considerare la meccanica quantistica, nella versione ondulatoria di Erwin Schrödinger, per darne una piena e soddisfacente spiegazione. In particolare, Carrelli riportò i risultati dell’articolo di Schrödinger sull’effetto Compton, uscito lo stesso anno sugli *Annalen der Physik*.

§§§§

Antonio Carrelli, *On Compton Phenomenon*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 4, No. 1, pages 142-145 (1927) •

Antonio Carrelli (1900-1980.) *He graduated in Physics at the University of Naples in 1921 with Michele Cantone. Before obtaining the qualification to teach in 1924, he collaborated with Orso Mario Corbino in Rome and with Peter Pringsheim in Berlin. He was professor of Experimental Physics in Catania and Naples. In his research he dealt with optics, acoustics, and magnetism. He held several public positions in Italian and international institutions.*

On Compton Phenomenon. *The scattering of X-rays from atomic electrons was experimentally shown by Arthur Compton in 1922. The experiments that led to the discovery of the Compton effect were the development of*

Compton's theoretical studies on X-ray scattering for the study of the arrangement of atoms in crystals, which he had begun in 1918. Compton observed, with a carbon target, that the scattered X-rays had a wavelength greater than the incident one, with an increasing trend as a function of the diffusion angle. Compton himself interpreted the observed phenomenon with the quantum theory of light by assuming the diffusion as due to the collision of a photon (with energy and momentum directly proportional to the radiation frequency) with an atomic electron. The only point that could not be explained with the quantum theory of light was the value of the diffusion angle. An attempt to interpret Compton effect with the classical theory of radiation came with Otto Halpern's 1924 analysis of the movement of an electron under the influence of a plane electromagnetic wave.

In this 1927 short note, Carrelli had the aim to show how Compton effect could not be fully explained either by the classical theory of radiation or by the old quantum theory of light, but that it was necessary to consider quantum mechanics, in Erwin Schrödinger's wave version, to give a full and satisfying explanation. In particular, Carrelli reported the results of Schrödinger's article on Compton effect, published the same year in the Annalen der Physik.

Antonio Carrelli, “Sulle nuove statistiche”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 4, No. 1, pagine 282-288 (1927) •

APPROFONDIMENTO



Antonio Carrelli (1900-1980). Si laureò in fisica all’Università di Napoli nel 1921 con Michele Cantone. Prima di ottenere la libera docenza nel 1924 collaborò con Orso Mario Corbino a Roma e Peter Pringsheim a Berlino. Fu professore di Fisica sperimentale a Catania e a Napoli. Nelle sue ricerche si occupò di ottica, acustica e magnetismo. Ricoprì numerosi incarichi pubblici in istituzioni italiane e internazionali.

“Sulle nuove statistiche”. Questa nota del 1927 di Carrelli si inserisce nel contesto delle nuove statistiche quantistiche, quella di Bose e Einstein e quella di Fermi e Dirac. Le nuove statistiche erano state formulate da poco tempo. La statistica dei bosoni si basava sul lavoro pionieristico di Satyendra Nath Bose del 1924 sulla statistica dei quanti di radiazione con cui ottenere la legge di Planck del corpo nero, seguito di lì a breve da quello di Albert Einstein sulla teoria quantistica dei gas ideali monoatomici del 1925. Al 1926 risalivano invece le formulazioni della statistica degli elettroni di Paul Dirac ed Enrico Fermi miranti a superare i problemi che la teoria elettronica dei metalli di Paul Drude non riusciva a risolvere. Nel 1927 Carrelli con grande cautela riteneva le nuove statistiche applicabili alla sola radiazione di corpo nero (B.E.) e alle particelle elementari (F.D.), all’epoca l’elettrone e il protone. In quello stesso 1927, Leonard Ornstein e Henrik Kramers avevano derivato la distribuzione statistica di Fermi-Dirac dalla teoria cinetica, derivazione riproposta brevemente dal Carrelli che, nella nota, propose un metodo alternativo basato sulla teoria quantistica dell’equilibrio radiativo di Einstein e Paul Ehrenfest del 1923.

§§§§

Antonio Carrelli, *On the New Statistics*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 4, No. 1, pages 282-288 (1927) •

Antonio Carrelli (1900-1980). He graduated in Physics at the University of Naples in 1921 with Michele Cantone. Before obtaining the qualification to teach in 1924, he collaborated with Orso Mario Corbino in Rome and with Peter Pringsheim in Berlin. He was professor of Experimental Physics in Catania and Naples. In his research he dealt with optics, acoustics, and magnetism. He held several public positions in Italian and international institutions.

On the New Statistics. This 1927 note by Carrelli fits into the context of the new quantum statistics, that by Bose and Einstein and that by Fermi and Dirac. The new statistics had recently been formulated. The boson statistics

was based on Satyendra Nath Bose's 1924 pioneering work on the quantum statistics of radiation with which to obtain Planck's blackbody law, shortly followed by Albert Einstein's 1925 work on the quantum theory of monatomic ideal gases. The formulations of electron statistics by Paul Dirac and Enrico Fermi, aimed at overcoming the problems that Paul Drude's electronic theory of metals could not solve, dated back to 1926. In 1927, Carrelli considered with great caution the new statistics applicable only to blackbody radiation (B.E.) and elementary particles (F.D.), at the time the electron and the proton. In that same 1927, Leonard Ornstein and Henrik Kramers had derived Fermi-Dirac statistical distribution from the kinetic theory, a derivation briefly proposed again by Carrelli who, in this note, proposed an alternative method based on the 1923 quantum theory of radiation equilibrium by Einstein and Paul Ehrenfest.

Antonio Carrelli, “Sulle relazioni intercedenti fra le varie statistiche e la meccanica ondulatoria”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, No. 1, pagine 73-76 (1928) •

APPROFONDIMENTO



Antonio Carrelli (1900-1980). Si laureò in fisica all’Università di Napoli nel 1921 con Michele Cantone. Prima di ottenere la libera docenza nel 1924 collaborò con Orso Mario Corbino a Roma e Peter Pringsheim a Berlino. Fu professore di Fisica sperimentale a Catania e a Napoli. Nelle sue ricerche si occupò di ottica, acustica e magnetismo. Ricoprì numerosi incarichi pubblici in istituzioni italiane e internazionali.

“Sulle relazioni intercedenti fra le varie statistiche e la meccanica ondulatoria”. Questa nota del 1928 di Carrelli si inserisce nel contesto delle nuove statistiche quantistiche, quella di Bose e Einstein e quella di Fermi e Dirac, contrapposte a quella classica di Ludwig Boltzmann. Mentre la statistica classica risaliva al 1868 agli studi sull’equilibrio termico dei gas condotti da Boltzmann, le nuove statistiche erano state invece formulate soltanto negli ultimi anni. La statistica dei bosoni si basava sul lavoro di Satyendra Nath Bose del 1924 sulla statistica dei quanti di radiazione, seguito da quello di Albert Einstein sulla teoria quantistica dei gas ideali monoatomici del 1925. Al 1926 risalivano invece le formulazioni della statistica degli elettroni di Paul Dirac ed Enrico Fermi miranti a superare i problemi che la teoria elettronica dei metalli di Paul Drude non riusciva a risolvere. Nel 1928 Carrelli indicava i tre distinti campi di applicazione delle statistiche – la statistica di Boltzmann alle alte temperature, la statistica di Bose-Einstein ai fotoni, e la statistica di Fermi-Dirac alle particelle materiali – ma, soprattutto, indicava il diverso rapporto tra particelle e stati nella statistica classica e nelle due statistiche quantistiche con un conseguente diverso calcolo della probabilità termodinamica. Tenendo conto di queste differenze, in questa nota Carrelli ottiene i valori della probabilità termodinamica nei tre casi partendo dalla soluzione dell’equazione di Schrödinger.

§§§§

Antonio Carrelli, *On the Relationships Existing between the Various Statistics and Wave Mechanics*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, No. 1, pagine 73-76 (1928) •

Antonio Carrelli (1900-1980). He graduated in Physics at the University of Naples in 1921 with Michele Cantone. Before obtaining the qualification to teach in 1924, he collaborated with Orso Mario Corbino in Rome and with Peter Pringsheim in Berlin. He was professor of Experimental Physics in Catania and Naples. In his research he dealt with optics, acoustics, and magnetism. He held several public positions in Italian and international institutions.

On the Relationships Existing between the Various Statistics and Wave Mechanics. This 1928 note by Carrelli fits into the context of the new quantum statistics, that by Bose and Einstein and that by Fermi and Dirac, as

opposed to Ludwig Boltzmann's classical statistics. While the classical statistics dated back to 1868 to the studies on the thermal equilibrium of gases made by Boltzmann, the new statistics had instead been formulated only in recent years. Boson statistics were based on Satyendra Nath Bose's 1924 work on the statistics of radiation quanta, followed by Albert Einstein's 1925 quantum theory of monatomic ideal gases. The formulations of electron statistics by Paul Dirac and Enrico Fermi, aimed at overcoming the problems that Paul Drude's electronic theory of metals could not solve, dated back to 1926. In 1928, Carrelli showed the three distinct fields of application of the statistics – Boltzmann statistics to high temperatures, Bose-Einstein statistics to photons, and Fermi-Dirac statistics to material particles – but, above all, he showed the different relationship between particles and states in classical statistics and in the two quantum statistics with a consequent different calculation of thermodynamic probability. Taking these differences into account, Carrelli obtains in this note the values thermodynamic probability in the three cases starting from the solution of Schrödinger equation.

Enrico Persico, “Recenti punti di vista sui fondamenti della fisica”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, No. 1, pagine CXVII-CXXVIII (gennaio 1928) ●

APPROFONDIMENTO



Enrico Persico (Roma 1900, Roma 1969). È stato un importante fisico e accademico italiano. Persico diede importanti contributi allo sviluppo ed all'insegnamento della meccanica quantistica, sulla base delle sue lezioni di fisica teorica all'Istituto di Fisica di Arcetri scriverà uno dei primi trattati sulla meccanica quantistica intitolato “Fondamenti della meccanica atomica”. Fu studente di Corbino, sotto la cui guida si laureò e del quale fu assistente per molti anni. La stretta amicizia con Fermi, conosciuto al liceo, è testimoniata dall'intensa corrispondenza epistolare, dedicata alla discussione delle questioni più profonde della Fisica. Si occupò anche di aspetti tecnici e sperimentali dando un importante contributo allo sviluppo della nuova fisica delle particelle e delle macchine acceleratrici. Centrali nella sua vita furono l'insegnamento e l'indagine epistemologica e metodologica dei fondamenti della fisica.

Nell'articolo “**Recenti punti di vista sui fondamenti della fisica**” Persico prende le mosse dalla natura contraddittoria onda/corpuscolo che si era venuta delineando per la luce, e per la materia stessa in regime quantistico, per mostrare come soltanto un radicale cambio di prospettiva potesse risolvere il paradigma. Egli discute della necessità di tali momenti di revisione, nei quali una nuova concezione, apparentemente paradossale, si contrappone a convinzioni profondamente radicate, tanto da avere perduto la loro origine empirica ed essere diventate delle apparenti necessità logiche.

Persico spiega come la doppia natura della luce sia un assurdo apparente, che trova spiegazione nel principio di Heisenberg: è possibile considerare soltanto quegli enti fisici, ovvero quelle grandezze, per le quali sia possibile indicare un metodo, quantomeno ideale, di misura. Poiché non è possibile investigare la natura della luce senza assorbirla almeno in parte, ovvero senza alterarne la frequenza e la direzione di propagazione, non ha concettualmente senso parlare della sua traiettoria. Parlare del cammino percorso dall'energia raggianti non ha significato fisico. La natura probabilistica imposta dalla nuova meccanica ondulatoria al moto dei quanti di luce, e le relative previsioni sull'intensità della luce, sono tutto ciò che possiamo asserire.

Rinfrancati da questa visione Wittgensteiniana, l'autore approfondisce il concetto di causalità nella nuova meccanica quantistica, concetto cui Fermi dedicherà un interessante lavoro due anni più tardi (“L'interpretazione del principio di causalità nella meccanica quantistica”). Tutte le leggi fisiche sono ora affermazioni probabilistiche, che non ci danno alcuna previsione causale su singoli fenomeni elementari, ma soltanto sulla loro

distribuzione statistica. La legge dei grandi numeri implica che sia possibile fare previsioni estremamente accurate sulla distribuzione a grande scala dei processi, ma il fato dei processi elementari microscopici risulta imprevedibile.

Nella seconda parte di questo lavoro Persico espone, con l'ausilio di esperimenti ideali, il principio di indeterminazione: l'approssimazione con cui è possibile determinare una generica coordinata, e quella del corrispondente momento, sono inversamente proporzionali tra loro, e il loro prodotto è dell'ordine della costante di Planck. Conclude quindi mostrando che, in completa analogia al caso della luce, anche il comportamento della materia alla scala microscopica è probabilistico. La nuova osservabile fisica essendo il modulo quadro del campo scalare che soddisfa alla equazione, deterministica, di Schroedinger.

§§§§

Enrico Persico, Recent points of view on the foundations of physics

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, No. 1, pagine CXVII-CXXVIII (gennaio 1928) ●

Enrico Persico (Roma 1900, Roma 1969). *Persico gave important contributions to the development and teaching of quantum mechanics, on the basis of his theoretical physics lessons at the Institute of Physics of Arcetri he wrote one of the first treatises on quantum mechanics entitled "Foundations of atomic mechanics". He was a student of Corbino, under whose guidance he graduated, he also was his assistant for several years. The close friendship with Fermi, known at the high school, is testified by the intense correspondence, dedicated to the discussion of the deepest issues of physics. He also dealt with technical and experimental aspects, giving an important contribution to the development of the new physics of particles and accelerating machines. Central to his life were teaching and the epistemological and methodological investigation of the foundations of physics.*

Recent points of view on the foundations of physics. *In the article Persico starts from the contradictory wave/particle nature that had emerged for the light, and for the matter itself in a quantum regime, to show how only a radical change of perspective could solve the paradigm. He discusses the need for such moments of revision, in which a new, apparently paradoxical conception, is opposed to deeply rooted convictions, so much so that they have lost their empirical origin and have become apparent logical necessities.*

Persico explains how the double nature of light is an apparent absurdity, which is explained by the Heisenberg principle: it is possible to consider only those physical entities, or those quantities, for which it is possible to indicate a method, at least ideal, of measurement. Since it is not possible to investigate the nature of light without absorbing it at least in part, that is, without altering its frequency and direction of propagation, it makes no sense conceptually to talk about its trajectory. Talking about the path traveled by radiant energy has no physical meaning. The probabilistic nature imposed by the new wave mechanics on the motion of light quanta, and the related predictions on the intensity of light, are all we can assert.

Reassured by this Wittgensteinian view, the author explores the concept of causality in the new quantum mechanics, a concept to which Fermi will dedicate an interesting work two years later ("The interpretation of the principle of causality in quantum mechanics"). All physical laws are now probabilistic statements, which give us no causal prediction about single elementary phenomena, but only about their statistical distribution. The law of large numbers implies that it is possible to make extremely accurate predictions about the large-scale distribution of processes, but the fate of microscopic elementary processes is unpredictable.

In the second part of this work Persico exposes, with the help of ideal experiments, the uncertainty principle: the approximation with which it is possible to determine a generic coordinate, and that of the corresponding moment, are inversely proportional to each other, and their product is of the order of the Planck constant. He therefore concludes by showing that, in complete analogy to the case of light, the behavior of matter at the microscopic scale is also probabilistic. The new physics observable being the square modulus of the scalar field that satisfies Schrödinger's deterministic equation.

Giovanni Polvani, “La nuova teoria quantistica del gas ideale monoatomico e la legge di Avogadro”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, No. 1, pagine 307-309 (gennaio 1928) ●

APPROFONDIMENTO



Giovanni Polvani (1892-1970), studente di matematica e di fisica alla Scuola normale superiore di Pisa, si formò nella fisica sperimentale nel gruppo di Luigi Puccianti. Fu professore di Fisica sperimentale a Bari, Pisa e, infine, a Milano dove istituì i corsi di laurea in Fisica e in Matematica e Fisica. Fu presidente della Società italiana di fisica (1947-1961) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (1960-1964) e uno dei principali organizzatori della fisica italiana del dopoguerra. Notevoli i suoi interessi per la storia della fisica.

“La nuova teoria quantistica del gas ideale monoatomico e la legge di Avogadro”. L’ipotesi molecolare enunciata da Amedeo Avogadro nel 1811 sull’uguaglianza del numero di molecole di due gas posti alle stesse condizioni di temperatura, pressione e volume, sorta nel contesto chimico della teoria atomica di Dalton, fu ignorata fino a quando fu nuovamente resa nota nel 1858 da Stanislao Cannizzaro che la chiamò “ipotesi di Avogadro”. Nella trattazione fisica dei gas, l’ipotesi di Avogadro fu dapprima interpretata da Rudolf Clausius all’interno della teoria cinetica dei gas per essere poi inclusa implicitamente nella legge dei gas ideali. Sul lavoro di Clausius si fondarono la teoria cinetica di James Clark Maxwell formulata a partire dal 1860 e quella di Ludwig Boltzmann sull’equilibrio termico dei gas poliatomici del 1871, culminanti nel teorema di equipartizione dell’energia del 1875. Pienamente inserita in un contesto classico, l’ipotesi di Avogadro non era invece compatibile con le nuove teorie statistiche quantistiche.

In questa breve nota, Polvani mostrò che l’ipotesi di Avogadro non era in accordo con la teoria statistica quantistica del gas perfetto monoatomico pubblicata di Enrico Fermi nel 1926 (la statistica dei fermioni o di Fermi-Dirac), se non nei limiti di temperatura o volume tendenti all’infinito, limiti per i quali la nuova statistica di Fermi si riduceva a quella classica di Maxwell-Boltzmann. In particolare, Polvani trovò il rapporto tra i numeri di molecole dei due gas nel caso degenerare di temperatura tendente a zero.

§§§§

Giovanni Polvani, *The New Quantum Theory of the Monatomic Ideal Gas and Avogadro’s Law*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, No. 1, pages 307-309 (January 1928) ●

Giovanni Polvani (1892-1970) was a student of mathematics and physics at the Scuola Normale Superiore in Pisa. He trained in experimental physics in Luigi Puccianti's team. He was professor of Experimental Physics in Bari, Pisa and, finally, in Milan where he established the degree courses in Physics and in Mathematics and Physics. He was president of the Italian Physics Society (1947-1961) and of the National Research Council (1960-1964) and one of the main organizers of post-war Italian physics. His interests in the history of physics are noteworthy.

The New Quantum Theory of the Monatomic Ideal Gas and Avogadro's Law. The molecular hypothesis enunciated by Amedeo Avogadro in 1811 on the equality of the number of molecules of two gases under the same conditions of temperature, pressure and volume, which arose in the chemical context of Dalton's atomic theory, was ignored until it was again made known in 1858 by Stanislao Cannizzaro who called it the "Avogadro's hypothesis". In the physical analysis of gases, Avogadro's hypothesis was first interpreted by Rudolf Clausius within the kinetic theory of gases to be then implicitly included in the ideal gas law. James Clark Maxwell's kinetic theory formulated starting from 1860 and Ludwig Boltzmann's 1871 theory on the thermal equilibrium of polyatomic gases were based on Clausius's work, culminating in the 1875 energy equipartition theorem. Fully inserted in a classical context, Avogadro's hypothesis was not compatible with the new quantum statistical theories.

In this short note, Polvani showed that Avogadro's hypothesis was not in agreement with the quantum statistical theory of a monatomic perfect gas published by Enrico Fermi in 1926 (the fermion or Fermi-Dirac statistics), except within the limits of temperature or volume tending to infinity, the limits at which Fermi's new statistics tended to Maxwell-Boltzmann classical statistics. In particular, Polvani found the relationship between the numbers of molecules of the two gases in the degenerate case of temperature tending to zero.

E. Majorana, “Ricerca di un’espressione generale delle correzioni di Rydberg, valevole per atomi neutri o ionizzati positivamente”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 6, pagine XIV-XVII (1929) •

APPROFONDIMENTO



Ettore Majorana (1906-1939?). Allievo e collega di Enrico Fermi, scomparso in circostanze misteriose nel Marzo del 1938 (poco più che trentenne) da Napoli, dove era stato nominato pochi mesi prima Professore di Fisica Teorica per chiara fama, è stato un grande fisico teorico. Le sue ricerche hanno riguardato la fisica atomica, la fisica molecolare, le particelle elementari e i suoi risultati sono tuttora attuali.

“Ricerca di un’espressione generale delle correzioni di Rydberg, valevole per atomi neutri o ionizzati positivamente”. Majorana inizia la sua carriera scientifica ancora come studente di Ingegneria, nel 1928, collaborando con Giovanni Gentile jr (1906-1942), figlio del filosofo e politico Giovanni Gentile (1875-1944) su un’estensione al caso in cui gli elettroni sono dotati di spin del modello statistico dell’atomo, sviluppato da Fermi l’anno prima (il così detto “modello di Thomas-Fermi”). Dopo aver pubblicato un articolo in comune sui Rendiconti dell’Accademia dei Lincei, sempre nel 1928, Majorana prosegue da solo le sue ricerche sul modello statistico dell’atomo e perviene a risultati che, a differenza dei precedenti, costituiscono un miglioramento effettivo della impostazione generale di Fermi.

Essi vengono comunicati da Majorana alla “XXII Adunanza Generale della Società Italiana di Fisica” svoltasi a Roma dal 28 al 30 dicembre del 1928 e pubblicati come “Ricerca di un’espressione generale delle correzioni di Rydberg, valevole per atomi neutri o ionizzati positivamente” su “Il Nuovo Cimento”.

In particolare, Majorana mostra, per la prima volta, la possibilità di descrivere con il modello di Fermi anche ioni positivi. Inoltre egli presenta applicazioni molto interessanti nella descrizione degli spostamenti delle righe spettrali di tipo Roentgen di elementi quali l’alluminio, il silicio, il fosforo e lo zolfo, quando questi sono presenti come composti molecolari con l’ossigeno.

La comunicazione di Majorana, inoltre, come del resto tutti i lavori pubblicati su *Il Nuovo Cimento*, è elencata nel *German Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik* (55, 1183) del 1929. Essa, tuttavia, fino al 2015, non è mai stata citata da nessuno degli storici di Majorana, e neppure da Fermi o dai suoi collaboratori, o da qualsiasi altro ricercatore del settore.

Fermi per molti anni non adotta il “miglioramento” di Majorana, ma continua ad usare la propria formulazione originale.

Solo nel 1933-1934 c’è un ripensamento e la ricerca di Fermi sul modello statistico dell’atomo si conclude con un monumentale lavoro di rassegna, scritto in collaborazione con Edoardo Amaldi, pubblicato nel maggio del 1934 sugli *Atti dell’Accademia d’Italia*, e in cui viene utilizzato un metodo “migliorato”, che sostanzialmente coincide con quello introdotto da Majorana quasi cinque anni prima. Tutte le formule di questo lavoro ricalcano le analoghe formule della comunicazione, riportata da Majorana nel “*Nuovo Cimento*”, anche se c’è un lieve cambiamento nelle notazioni.

Majorana comunque non viene neppure citato.

Da notare che la Comunicazione di Majorana al Congresso della Società Italiana di Fisica è una testimonianza non solo dei notevoli risultati raggiunti, oltre che della sicurezza e della determinazione di Majorana (nel frattempo diventato studente del IV anno di Fisica) a far conoscere i propri risultati, ma anche della sua ferma volontà a inserirsi in prima persona nel mondo accademico che lo circonda, scavalcando qualsiasi ordine gerarchico precostituito, e puntando soltanto sul suo ingegno.

§§§§

E. Majorana, Search for a general expression of Rydberg corrections, valid for neutral or positively ionized atoms

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 6, pages XIV-XVII (1929) •

Ettore Majorana (1906-1939?). Student and colleague of Enrico Fermi, who died in mysterious circumstances in March 1938 (just over thirty) from Naples, where he had been appointed a few months earlier Professor of Theoretical Physics for clear fame, was a great theoretical physicist. His research has covered atomic physics, molecular physics, elementary particles and his results are still current.

Search for a general expression of Rydberg corrections, valid for neutral or positively ionized atoms. Majorana began his scientific career still as an engineering student, in 1928, collaborating with Giovanni Gentile jr (1906-1942), son of the philosopher and politician Giovanni Gentile (1875-1944) on an extension of the statistical model of the atom, developed by Fermi the year before (the so-called “Thomas-Fermi model”) to the case in which spin is attributed to electrons. After having published a joint paper on the “*Rendiconti dell’Accademia dei Lincei*”, in 1928, Majorana continues his research on the statistical model of the atom alone and arrives at results which, unlike the previous ones, constitute an effective improvement of the general approach by Fermi.

They are communicated by Majorana to the “XXII General Meeting of the Italian Physical Society” held in Rome from 28 to 30 December 1928 and published as “Search for a general expression of the Rydberg corrections, valid for neutral or positively ionized atoms” on “*Il Nuovo Cimento*”.

In particular, Majorana shows, for the first time, the possibility of describing positive ions with the Fermi model. Furthermore, he gives very interesting applications in the description of the displacements of the Roentgen-type spectral lines of elements such as aluminum, silicon, phosphorus and sulfur, when these are present as molecular compounds with oxygen.

Majorana’s communication, like all the works published in *Il Nuovo Cimento*, is listed in the German *Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik* (55, 1183) of 1929. However, until 2015, it was never mentioned, by none of Majorana’s historians, nor by Fermi or his collaborators, or by any other researcher in the sector. Fermi did not adopt Majorana’s “improvement” for many years, but continued to use his original formulation.

Only in 1933-1934 there was a rethinking and Fermi’s research on the statistical model of the atom ended with a monumental review work, written in collaboration with Edoardo Amaldi, published in May 1934 in the *Rendiconti dell’Accademia d’Italia*, and in which an “improved” method is used, which substantially coincides with the one introduced by Majorana almost five years earlier. All the formulas of this work follow the analogous formulas of the communication, reported by Majorana in “*Il Nuovo Cimento*”, even if there is a slight change in the notations.

Majorana, however, is not mentioned,

It should be noted that Majorana’s Communication at the Congress of the Italian Physics Society is a testimony not only of the remarkable results achieved, as well as of Majorana’s confidence and determination (in the meantime becoming a fourth year student of Physics) to make his results known, but also of his firm will to insert himself in the academic world that surrounds him, bypassing any pre-established hierarchical order, and focusing only on his value.

Giovanni Polvani, “La radiazione nera considerata come un vapore saturo di fotoni”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 6, No. 1, pagine 186-200 (1929) ●

APPROFONDIMENTO



Giovanni Polvani (1892-1970), studente di matematica e di fisica alla Scuola normale superiore di Pisa, si formò nella fisica sperimentale nel gruppo di Luigi Puccianti. Fu professore di Fisica sperimentale a Bari, Pisa e, infine, a Milano dove istituì i corsi di laurea in Fisica e in Matematica e Fisica. Fu presidente della Società italiana di fisica (1947-1961) e del Consiglio Nazionale delle Ricerche (1960-1964) e uno dei principali organizzatori della fisica italiana del dopoguerra. Notevoli i suoi interessi per la storia della fisica.

“La radiazione nera considerata come un vapore saturo di fotoni”. L’articolo di Polvani si colloca dopo la conclusione di un percorso di ricerche che nel corso di tre decenni ha portato all’accettazione dell’idea di fotone come corpuscolo della luce. Nello studio del corpo nero Max Planck era giunto nel 1900 a trovare l’espressione corretta della formula del suo spettro assumendo la quantizzazione dell’energia degli oscillatori presenti nelle pareti del corpo nero. Nel 1905 Albert Einstein superò l’ipotesi di Planck assumendo che anche l’energia della radiazione emessa dagli oscillatori doveva essere quantizzata.

L’esistenza effettiva di quanti di radiazione, caratterizzati da un’energia e una quantità di moto legate alla frequenza della radiazione e al quanto d’azione di Planck, fu sperimentalmente confermata dalle ricerche di Arthur Compton sull’effetto che porta il suo nome (diffusione di raggi X incidenti su elettroni atomici), ricerche pubblicate nel 1923 e che hanno portato all’utilizzo del nome “fotone”.

Nel 1924 Satyendra Nath Bose sviluppò una statistica non classica che descrive il comportamento dei fotoni (e, più in generale, dei bosoni). È a questo punto che Polvani, in quest’articolo, prese nuovamente in considerazione la radiazione di cavità di corpo nero assumendola come un vapore saturo di un gas ideale monoatomico dopo aver stabilito la corrispondenza tra le grandezze meccaniche di un atomo di gas ideale e di un fotone. L’analisi termodinamica del vapore saturo di fotoni, seguendo il metodo usato da Rudolf Clausius per dimostrare il teorema del viriale, portò Polvani a ottenere la relazione sulla pressione di radiazione di Maxwell-Bartoli. Dallo studio teorico delle relazioni adiabatiche sul gas di fotoni, Polvani ottenne nuovamente le leggi fondamentali del corpo nero e la caratterizzazione del vapore saturo di fotoni come estremamente rarefatto.

§§§§

Giovanni Polvani, Black-Body Radiation Considered as a Saturated Vapour of Photons

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 6, No. 1, pages 186-200 (1929) ●

Giovanni Polvani (1892-1970) was a student of mathematics and physics at the Scuola Normale Superiore in Pisa. He trained in experimental physics in Luigi Puccianti's team. He was professor of Experimental Physics in Bari, Pisa and, finally, in Milan where he established the degree courses in Physics and in Mathematics and Physics. He was president of the Italian Physics Society (1947-1961) and of the National Research Council (1960-1964) and one of the main organizers of post-war Italian physics. His interests in the history of physics are noteworthy.

Black-Body Radiation Considered as a Saturated Vapour of Photons. Polvani's article comes after the conclusion of a research path that over the course of three decades has led to the acceptance of the idea of the photon as a particle of light. In his study of the blackbody, in 1900 Max Planck had come to find the correct expression of its spectrum formula by assuming the quantization of the energy of the oscillators in the walls of the blackbody. In 1905 Albert Einstein overcame Planck's hypothesis by assuming that the energy of the radiation emitted by the oscillators also had to be quantized.

The actual existence of radiation quanta, characterized by energy and momentum linked to the radiation frequency and to Planck's quantum of action, was experimentally confirmed by Arthur Compton's research on the effect named after him (diffusion of X-rays incident on atomic electrons), a research published in 1923 and which led to the use of the name "photon".

In 1924 Satyendra Nath Bose developed a non-classical statistics that describes the behaviour of photons (and, more generally, of bosons). At this point Polvani, in this article, took again into consideration the radiation of blackbody cavities, assuming it as a saturated vapour of an ideal monatomic gas after having established the correspondence between the mechanical quantities of an ideal gas atom and of a photon. The thermodynamic analysis of a saturated photons vapour, following the method used by Rudolf Clausius to prove the virial theorem, led Polvani to obtain the Maxwell-Bartoli radiation pressure relation. From the theoretical study of the adiabatic relations on photon gas, Polvani again obtained the fundamental laws of the blackbody and the characterization of a saturated photons vapour as extremely rarefied.

Enrico Fermi, “L’interpretazione del principio di causalità nella meccanica quantistica”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 7, No. 2, pagine 361-366 (settembre 1930) ●●

APPROFONDIMENTO



Enrico Fermi (Roma 1901, Chicago 1954) è uno dei fisici italiani più famosi e importanti.

Vincitore nel 1938 del premio Nobel per la Fisica per la scoperta della radioattività indotta da neutroni e per l’effetto del loro rallentamento, portò la ricerca italiana a livello internazionale in settori di punta quali la fisica atomica, la fisica teorica, la fisica nucleare. In America, dove si trasferisce definitivamente nel 1938, realizza il primo reattore nucleare e partecipa in posizione di primo piano al progetto Manhattan sugli armamenti nucleari. Terminata la guerra, dà contributi molto importanti soprattutto in ricerche sui neutroni e sui mesoni.

“**L’interpretazione del principio di causalità nella meccanica quantistica**”. Nell’articolo Fermi si interroga sulla nuova accezione che il concetto di causalità debba assumere in Meccanica quantistica. Come conseguenza dell’indeterminazione posizione impulso il principio di causalità classico perde di senso nella nuova meccanica, ora la determinazione dello stato del sistema dipende dalla particolare osservabile fisica che si intende misurare. Data una osservabile lo stato del sistema è egualmente ben definito dal suo valore, oppure dalla funzione d’onda, il corrispondente scalare di campo a quell’istante.

Sulla base del fatto che, data la funzione d’onda che rappresenti lo stato del sistema ad un certo istante, è sempre possibile trovare una osservabile di valore nullo su questo stato, l’autore mostra che dato un qualunque osservabile è sempre possibile conoscere il valore che esso assumerà ad un certo tempo, data la misura di un opportuno osservabile ad un tempo iniziale.

Fermi conclude quindi che, mentre in meccanica classica (note le forze in gioco) la conoscenza della posizione e dell’impulso ad un certo istante permette di prevedere il valore di qualunque grandezza fisica per ogni tempo, in meccanica quantistica la misura di una determinata osservabile ad un determinato tempo, fornisce informazione sul valore di una specifica osservabile ad un tempo ben preciso.

§§§§

Enrico Fermi, *The interpretation of the principle of causality in quantum mechanics*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 7, No. 2, pages 361-366 (September 1930) ●●

Enrico Fermi (Roma 1901, Chicago 1954). Winner of the Nobel Prize in Physics in 1938 for the discovery of radioactivity induced by neutrons and for the effect of their slowdown, he brought Italian research to an international level in leading sectors such as atomic physics, theoretical physics, nuclear physics. In America, where he moved permanently in 1938, he built the first nuclear reactor and participated as a leader in the

Manhattan project on nuclear weapons. After the war, he makes very important contributions especially in research on neutrons and mesons.

The interpretation of the principle of causality in quantum mechanics. In the article Fermi questions the new meaning that the concept of causality should take on in quantum mechanics. As a consequence of the position momentum uncertainty, the classical causality principle loses its meaning in the new mechanics, now the determination of the state of the system depends on the particular physical observable to be measured. Given an observable, the state of the system is equally well defined by its value, or by the wave function, the corresponding scalar field at that instant.

On the basis of the fact that, given the wave function that represents the state of the system at a certain instant, it is always possible to find an observable of null value on this state, the author shows that given any observable it is always possible to know the value that it will assume at a certain time, given the measurement of a suitable observable at an initial time.

Fermi therefore concludes that, while in classical mechanics (known the forces at play) the knowledge of the position and of the momentum at a certain instant makes it possible to predict the value of any physical quantity for any time, in quantum mechanics the measurement of a certain observable at a given time, only provides information on the value of a specific observable at a specific time.

Enrico Persico, “Sulla relazione $E = h\nu$ nella meccanica ondulatoria”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 7, No. 2, pagine 344-347 (settembre 1930) •

APPROFONDIMENTO



Enrico Persico (Roma 1900, Roma 1969). È stato un importante fisico e accademico italiano.

Persico diede importanti contributi allo sviluppo ed all'insegnamento della meccanica quantistica, sulla base delle sue lezioni di fisica teorica all'Istituto di Fisica di Arcetri scriverà uno dei primi trattati sulla meccanica quantistica intitolato “Fondamenti della meccanica atomica”. Fu studente di Corbino, sotto la cui guida si laureò e del quale fu assistente per molti anni. La stretta amicizia con Fermi, conosciuto al liceo, è testimoniata dall'intensa corrispondenza epistolare, dedicata alla discussione delle questioni più profonde della Fisica. Si occupò anche di aspetti tecnici e sperimentali dando un importante contributo allo sviluppo della nuova fisica delle particelle e delle macchine acceleratrici. Centrali nella sua vita furono l'insegnamento e l'indagine epistemologica e metodologica dei fondamenti della fisica.

“Sulla relazione $E = h\nu$ nella meccanica ondulatoria”. Nell'articolo Persico si propone di approfondire il significato della nota relazione che nella meccanica ondulatoria viene postulata fra l'energia di un punto materiale e la frequenza del gruppo di onde ad esso associato. Il postulato è suggerito dal fatto che lo scambio di energia fra radiazione e materia è determinato dalla relazione $E = h\nu$.

L'autore procede in maniera generale confrontando il principio di Fermat per un pacchetto d'onde, con il principio di minima azione per il moto di un punto materiale, e quindi la velocità del gruppo di onde con quella del punto. Lasciando libera la dipendenza funzionale dell'energia dalla frequenza, l'autore scopre che l'energia deve essere una funzione lineare della frequenza ($E = a\nu + b$) affinché l'identificazione del punto con il pacchetto d'onde sia possibile.

Considerando il caso di un'onda piana, dalla misura di Davisson e Germer della lunghezza d'onda, Persico scopre che la costante a deve essere identificata con la costante di Planck. La costante b è arbitraria in contesto non-relativistico, mentre deve coincidere con l'energia a riposo della particella per soddisfare il principio di relatività.

§§§§

Enrico Persico, *On the relation $E = h\nu$ in wave mechanics*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 7, No. 2, pagine 344-347 (settembre 1930) •

E. Persico (Roma 1900, Roma 1969). He gave important contributions to the development and teaching of quantum mechanics, on the basis of his theoretical physics lessons at the Institute of Physics of Arcetri he wrote one of the first treatises on quantum mechanics entitled "Foundations of atomic mechanics". He was a student of Corbino, under whose guidance he graduated, he also was his assistant for several years. The close friendship with Fermi, known at the high school, is testified by the intense correspondence, dedicated to the discussion of the deepest issues of physics. He also dealt with technical and experimental aspects, giving an important contribution to the development of the new physics of particles and accelerating machines. Central to his life were teaching and the epistemological and methodological investigation of the foundations of physics.

On the relation $E = h\nu$ in wave mechanics. In the article Persico deepens on the meaning of the known relationship that in wave mechanics is postulated between the energy of a material point and the frequency of the group of waves associated with it. The postulate is suggested by the fact that the exchange of energy between radiation and matter is determined by the relation $E = h\nu$.

The author proceeds in a general way by comparing Fermat's principle for a wave packet, with the principle of least action for the motion of a material point, and therefore the speed of the wave group with that of the point. Leaving free the functional dependence of the energy on the frequency, the author discovers that energy must be a linear function of frequency ($E = a\nu + b$) so that the identification of the point with the wave packet is possible.

Considering the case of a plane wave, from the Davisson and Germer measurement of the wavelength, Persico discovers that the constant a must be identified with the Planck's constant. The constant b is arbitrary in a non-relativistic context, while it must coincide with the rest energy of the particle to satisfy the principle of relativity.

E. Majorana, “Sulla formazione dello ione molecolare di elio”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 8, pagine 22-28 (1931) •

APPROFONDIMENTO



Ettore Majorana (1906- 1939?). Allievo e collega di Enrico Fermi, scomparso in circostanze misteriose nel Marzo del 1938 (poco più che trentenne) da Napoli, dove era stato nominato pochi mesi prima Professore di Fisica Teorica per chiara fama, è stato un grande fisico teorico. Le sue ricerche hanno riguardato la fisica atomica, la fisica molecolare, le particelle elementari e i suoi risultati sono tuttora attuali.

“Sulla formazione dello ione molecolare di elio”. Uno dei primi argomenti di ricerca di Majorana, da laureato, è la teoria della valenza, seguendo una linea di tendenza internazionale di quegli anni che mira a spiegare il legame chimico usando metodi della meccanica quantistica.

Un grande risultato è stato recentemente raggiunto da Fritz London (1900-1954), e da Walter Heinrich Heitler (1904-1981), nel 1927, con la formulazione della teoria quantistica del legame omopolare, nel caso dei due atomi di idrogeno uniti nella molecola di idrogeno. In questo primo lavoro sul legame chimico, Majorana parte da alcune osservazioni fatte sullo spettro a bande dell’elio che “dimostrano la possibilità di esistenza, almeno nello stato fondamentale, dello ione He_2^+ ”. Per verificare la validità di questa ipotesi, studia la reazione $\text{He} + \text{He}^+$ dal punto di vista energetico, utilizzando sostanzialmente il metodo di Heitler e London, opportunamente modificato, a cui però muove pesanti critiche.

Con una capacità impressionante nel trattare le funzioni d’onda, Majorana arriva a “risultati che, come scrive, si accordano con i dati sperimentali”. Infatti dopo aver dimostrato che la reazione $\text{He} + \text{He}^+$ può portare alla formazione dello ione molecolare dell’elio, trova la distanza di equilibrio tra i due nuclei, che risulta in “notevole accordo” con il risultato sperimentale. Calcola anche l’energia del sistema, di cui però non si conosce il valore, e infine la frequenza della molecola ionizzata che, come nota ironicamente Majorana, “è in accordo casualmente perfetto con il valore determinato sperimentalmente”.

Questo lavoro, mostra una completa padronanza da parte di Majorana dei metodi della meccanica quantistica agli effetti della spiegazione del legame chimico e lo rende una sorta di pioniere della Chimica Teorica, un settore che avrà pieno sviluppo in Italia solo venti anni dopo.

§§§§

E. Majorana, *On the formation of the molecular ion of helium*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 8, pages 22-28 (1931) •

Ettore Majorana (1906- 1939?). Student and colleague of Enrico Fermi, who died in mysterious circumstances in March 1938 (just over thirty) from Naples, where he had been appointed a few months earlier Professor of Theoretical Physics for clear fame, was a great theoretical physicist. His research has covered atomic physics, molecular physics, elementary particles and his results are still current.

On the formation of the molecular ion of helium. One of Majorana's first research topics, as a graduate, is the theory of valence, following an international trend of those years that aims to explain the chemical bond using methods of quantum mechanics.

A great result was recently achieved by Fritz London (1900-1954), and by Walter Heinrich Heitler (1904-1981), in 1927, with the formulation of the quantum theory of homopolar bond, in the case of the two hydrogen atoms united in the molecule of hydrogen. In this first work on the chemical bond, Majorana starts from some observations made on the helium band spectrum that “demonstrate the possibility of existence, at least in the ground state, of the He_2^+ ion”. To verify the validity of this hypothesis, he studies the $\text{He} + \text{He}^+$ reaction from the energetic point of view, essentially using the method of Heitler and London, suitably modified, to which however he moves heavy criticisms.

With an impressive ability in dealing with wave functions, Majorana arrives at “results that, as he writes, are in agreement with the experimental data”. In fact, after demonstrating that the $\text{He} + \text{He}^+$ reaction can lead to the formation of the molecular ion of helium, he finds the equilibrium distance between the two nuclei, which results in “remarkable agreement” with the experimental result. He also calculates the energy of the system, the value of which is not known, and finally the frequency of the ionized molecule which, as Majorana notes ironically, “is in randomly perfect agreement with the experimentally determined value”.

This work shows Majorana's complete mastery of the methods of quantum mechanics to the effects of the chemical bond explanation and makes him a sort of pioneer of Theoretical Chemistry, a sector that will have full development in Italy only twenty years later.

E. Majorana, “I presunti termini anomali dell’elio”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 8, pagine 78-83 (1931) •

APPROFONDIMENTO



Ettore Majorana (1906-1939?). Allievo e collega di Enrico Fermi, scomparso in circostanze misteriose nel Marzo del 1938 (poco più che trentenne) da Napoli, dove era stato nominato pochi mesi prima Professore di Fisica Teorica per chiara fama, è stato un grande fisico teorico. Le sue ricerche hanno riguardato la fisica atomica, la fisica molecolare, le particelle elementari e i suoi risultati sono tuttora attuali.

“I presunti termini anomali dell’elio”. Uno degli argomenti di interesse di Majorana, nel suo breve ma intenso periodo di attività svolto tra il 1928 e il 1937, è la Spettroscopia. Infatti, nello stesso anno 1931, Majorana fornisce, in due articoli, (di cui questo pubblicato sul *Nuovo Cimento*, e l’altro sui *Rendiconti dell’Accademia dei Lincei*) l’interpretazione teorica rispettivamente di due nuove righe attribuite recentemente all’elio e di alcune anomalie presenti nello spettro del Calcio. Sono lavori autorevoli, comunemente apprezzati come esempi di eleganti applicazioni della teoria matematica dei gruppi, ma che contengono anche nuove idee fisiche.

Anche in queste ricerche il punto di partenza di Majorana sono certi dati sperimentali che hanno incontrato serie difficoltà nell’essere interpretati teoricamente. In particolare, in questo primo articolo (E. Majorana, “I presunti termini anomali dell’elio”, *N.C.*, 8, 78-83 (1931)) Majorana si richiama a due righe nell’estremo ultravioletto appena scoperte (1930) da P.G. Kruger nello spettro dell’elio e da questi interpretate come dovute a transizioni tra “termini non conosciuti”, in particolare da stati normali a stati “accentati”, cioè a stati con due elettroni eccitati. Majorana, riconosce subito che questi stati “accentati” possono dar luogo a un nuovo processo spettroscopico, in cui un elettrone si libera e l’altro cade nell’orbita più interna (1s), ossia, la nuvola elettronica perturbata si riassetta, producendo oltre che l’emissione di una riga spettrale, anche l’espulsione di un elettrone.

Questo nuovo processo introdotto da Majorana e da lui chiamato “ionizzazione spontanea”, e di cui sviluppa la teoria è l’equivalente, nel campo ottico, di un processo molto noto riguardante i Raggi X, il “processo Auger”, scoperto in sede sperimentale nel 1923. Lo stesso tipo di processo, sempre nell’anno 1931, veniva introdotto in modo completamente indipendente rispetto a Majorana, nel caso di un livello dell’atomo di mercurio da A.G. Shenstone, dell’Università di Princeton, e chiamato “auto-ionizzazione”, termine che è stato poi adottato in letteratura.

Majorana, attraverso calcoli perturbativi spinti al 2° ordine e basandosi sulle proprietà di simmetria dei diversi stati conferma la spiegazione proposta da Kruger per la prima riga, mentre ricava che la spiegazione fornita per la seconda riga è “certamente erronea, “bocciando” così in pieno, per questo caso, Kruger.

Le conclusioni di Majorana furono confermate, molti anni più tardi, nel 1973, da Knystautas and Drouin relativamente a entrambe le righe. Un altro merito importante di Majorana in questo lavoro è stato quello di fissare l’attenzione sullo spettro dell’elio, argomento che ancora oggi continua a suscitare interesse nella ricerca teorica e sperimentale.

E. Majorana, The alleged anomalous terms of helium

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 8, pages 78-83 (1931) ●

Ettore Majorana (1906- 1939?). Student and colleague of Enrico Fermi, who died in mysterious circumstances in March 1938 (just over thirty) from Naples, where he had been appointed a few months earlier Professor of Theoretical Physics for clear fame, was a great theoretical physicist. His research has covered atomic physics, molecular physics, elementary particles and his results are still current.

The alleged anomalous terms of helium (1931). One of Majorana's topics of interest, in his short but intense period of activity carried out between 1928 and 1937, is Spectroscopy. In fact, in the same year 1931, Majorana provides, in two articles, (this one published in *Il Nuovo Cimento*, and the other in the *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei*), the theoretical interpretation respectively of two new lines recently attributed to helium and of some anomalies present in the calcium spectrum. They are authoritative works, commonly appreciated as examples of elegant applications of mathematical group theory, but which also contain new physical ideas.

Even in these researches Majorana's starting point are some experimental data that have encountered serious difficulties in being interpreted theoretically. In particular, in this first article, Majorana refers to two lines in the ultraviolet just discovered (1930) by PG Kruger in the helium spectrum and interpreted by him as due to transitions between "unknown terms", in particular from normal states to "accented" states, that is to states with two excited electrons. Majorana, immediately recognizes that these "accented" states can give rise to a new spectroscopic process, in which one electron is freed and the other falls into the innermost orbit (1s), that is, the perturbed electronic cloud is rearranged, producing beyond that the emission of a spectral line, also the ejection of an electron.

This new process introduced by Majorana and called by him "spontaneous ionization", and of which he develops the theory, is the equivalent, in the optical field, of a well-known process concerning X-rays, the "Auger process", discovered in an experimental setting in 1923. The same type of process, again in the year 1931, was introduced in a completely independent way with respect to Majorana, in the case of a level of the mercury atom by AG Shenstone, of Princeton University, and called "self-ionization", a term that has since been adopted in the literature.

Majorana, through perturbative calculations pushed to the 2nd order and based on the symmetry properties of the different states, confirms the explanation proposed by Kruger for the first spectral line, while he finds that the explanation provided for the second row is "certainly erroneous," rejecting thus, for this case, Kruger's explanation.

Majorana's conclusions were confirmed, many years later, in 1973, by Knystautas and Drouin in the case of both lines. Another important merit of Majorana in this work was that of focusing attention on the helium spectrum, a subject that still continues to arouse interest in theoretical and experimental research.

E. Majorana, “*Teoria relativistica di particelle con momento intrinseco arbitrario*”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 9, pagine 43-50 (1932) •

APPROFONDIMENTO



Ettore Majorana (1906-1939?). Allievo e collega di Enrico Fermi, scomparso in circostanze misteriose nel Marzo del 1938 (poco più che trentenne) da Napoli, dove era stato nominato pochi mesi prima Professore di Fisica Teorica per chiara fama, è stato un grande fisico teorico. Le sue ricerche riguardarono la fisica atomica, la fisica molecolare, le particelle elementari e i suoi risultati sono tuttora attuali.

“Teoria relativistica di particelle con momento intrinseco arbitrario”. Questo è il sesto articolo prodotto da Majorana nella sua intensa attività scientifica svolta tra il 1931 e il 1932. L’origine è legata all’insoddisfazione di Majorana verso la celebre equazione per l’elettrone, inventata da Dirac nel 1928, che rappresenta una generalizzazione relativistica dell’equazione di Schroedinger e che descrive il corretto comportamento dell’elettrone nel campo elettromagnetico. Le critiche di Majorana riguardano sia la limitazione a particelle di spin $s = \frac{1}{2}$, sia la presenza di stati a energia negativa (il “mare di Dirac”), che li considera “stati non fisici”. Si lancia quindi nell’impresa di trovare equazioni valide per qualsiasi momento angolare intrinseco e prive di stati a energia negativa.

Giunge così alla costruzione di una teoria relativisticamente invariante, del tipo di Dirac, cioè lineare nell’impulso, per particelle di spin arbitrario senza stati a energia negativa, mai ricavata prima da nessuno, scoprendo per primo l’esistenza di una larga classe di rappresentazioni unitarie infinito-dimensionali del gruppo delle trasformazioni di Lorentz della relatività speciale di Einstein, che poi sviluppa e applica.

Da un punto di vista matematico, in particolare nell’ambito della teoria dei gruppi, perviene dunque a una grandissima scoperta. Il ruolo pionieristico di Majorana verrà pienamente riconosciuto in un celebre articolo di Eugene Wigner del 1939, su *Annals of Mathematics*, dove tutte le rappresentazioni sono costruite con eleganti metodi diretti della teoria dei gruppi. Anche dal punto di vista fisico i risultati raggiunti sono importanti.

Il manoscritto originale dell’articolo di Majorana è conservato presso la Domus Galilaeana in Pisa (11 pagine). La stesura finale è raggiunta dopo estese e sostanziali cancellazioni e riscritture. Chiaramente si tratta di un argomento molto avanzato, completamente nuovo per Majorana e anche difficile, che precorre alquanto i tempi.

Comunque la teoria di Majorana, agli effetti delle applicazioni fisiche, ha il grande limite di essere di utilizzo molto macchinoso. La scoperta, poi, nel 1933, del positrone, previsto dalla teoria di Dirac, porterà Majorana ad abbandonare questa sua impostazione, giungendo così, nel 1937, alla sua famosa “Teoria simmetrica dell’elettrone e del positrone”, pubblicata nel volume 5 del *Nuovo Cimento* del 1937 (vedi scheda).

§§§§

E. Majorana, *Relativistic theory of particles with arbitrary intrinsic moment*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 9, pages 43-50 (1932) •

Ettore Majorana (1906-1939?). Student and colleague of Enrico Fermi, who died in mysterious circumstances in March 1938 (just over thirty) from Naples, where he had been appointed a few months earlier Professor of

Theoretical Physics for clear fame, was a great theoretical physicist. His research has covered atomic physics, molecular physics, elementary particles and his results are still current.

Relativistic theory of particles with arbitrary intrinsic moment. This is the sixth article produced by Majorana in his intense scientific activity carried out between 1931 and 1932. The origin is linked to Majorana's dissatisfaction with the famous equation for the electron, invented by Dirac in 1928, which represents a relativistic generalization of the Schroedinger equation and which describes the correct behavior of the electron in the electromagnetic field. Majorana's criticisms concern both the limitation to particles of spin $s = \frac{1}{2}$, and the presence of negative energy states (the "Dirac sea"), which considers them "non-physical states". He then launches into the enterprise of finding equations valid for any intrinsic angular momentum and without negative energy states.

Thus, he arrives at the construction of a relativistically invariant theory of the Dirac type, i.e. linear in the impulse, for particles of arbitrary spin without negative energy states, never obtained before by anyone, and discovers the existence of a large class of infinite-dimensional representations of the group of Lorentz transformations of Einstein's special relativity, which he then develops and applies.

From a mathematical point of view, in particular in the field of group theory, he thus arrives at a great discovery. Majorana's pioneering role will be fully recognized in a famous article by Eugene Wigner of 1939, in *Annals of Mathematics*, where all representations are constructed with elegant direct methods of group theory. Even from the physical point of view the results achieved are important.

The original manuscript of Majorana's article is kept at the Domus Galilaeana in Pisa (11 pages). The final draft is reached after extensive and substantial cancellations and rewrites. Clearly this is a very advanced topic, completely new for Majorana and also difficult, which is somewhat ahead of its time.

However, Majorana's theory, from the point of view of physical applications, has the great limitation of being of very difficult use. The discovery, then, in 1933, of the positron, foreseen by Dirac's theory, will lead Majorana to abandon this approach, thus arriving, in 1937, at his famous "Symmetric theory of the electron and of the positron", published in volume 5 of *Il Nuovo Cimento* from 1937.

Zaira Ollano, “Il neutrone”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 10, No. 6, pagine xxi-xxxvii (1933) ●

APPROFONDIMENTO

Zaira Ollano (1904-1997). Laureata in fisica all’Università di Cagliari forse nel 1926. Fu l’assistente più importante di Rita Brunetti a Cagliari e a Pavia. Tenne differenti corsi di fisica e, come libera docente, di Fisica sperimentale a Pavia, Perugia e Genova. Le sue ricerche riguardarono soprattutto la spettroscopia, la strumentazione per radiazioni, la fisica nucleare.

“Il neutrone”. La nota del 1933 di Ollano fu un’importante rassegna delle conoscenze sul neutrone a un anno dalla sua scoperta, nel 1932, da parte di James Chadwick.

Il neutrone era stato ipotizzato già nel 1920 da Ernst Rutherford come sistema legato elettrone-protone. L’ipotesi di un atomo d’idrogeno di dimensioni nucleari era però incompatibile con la teoria atomica di Niels Bohr del 1913 che prevedeva per l’orbita di raggio minimo un valore sul mezzo angstrom. I tentativi sperimentali di individuare questo neutrone al Cavendish Laboratory portarono a risultati negativi. Ulteriori proposte furono avanzate, ma non testate sperimentalmente, da Aldo Pontremoli con l’ipotesi di considerare l’elettrone non in orbita ma direttamente tangente al protone, e da Langer e Nathan Rosen nel 1931 che modificarono il campo elettrico coulombiano del nucleo con un termine correttivo che permetteva la transizione di un elettrone orbitale direttamente sul nucleo.

L’ipotesi del neutrone come sistema elettrone-protone dovette fare i conti con vari problemi. Le misure dello spin del nucleo di azoto-14 fatte da Leonard Ornstein nel 1928 erano incompatibili con l’idea che il nucleo dell’azoto-14 fosse composto da 14 protoni e 7 elettroni, cioè un numero dispari di particelle con spin semi-intero, a fronte del valore unitario ottenuto sperimentalmente. Per ragioni simili, un’incompatibilità fu osservata analizzando lo spin a partire dagli spettri a bande delle molecole di idrogeno e di azoto ottenuti da Franco Rasetti nel 1929. A ciò si andarono ad aggiungere i problemi ben più noti dell’impossibilità di conciliare i valori di energia degli elettroni emessi dai nuclei per decadimento beta con il principio di indeterminazione di Heisenberg.

La nota di Ollano presentò un’analisi dettagliata della fisica sperimentale del neutrone. In particolare trattò i tre esperimenti che alla fine portarono alla scoperta del neutrone: 1) Walther Bothe e Herbert Becker nel 1930, facendo collidere particelle alfa da polonio su bersagli di elementi leggeri, produssero una radiazione altamente penetrante; 2) Irène Curie e Frédéric Joliot nel 1932 causarono l’espulsione di protoni dalla paraffina irraggiata con questa radiazione penetrante; 3) James Chadwick nel 1932, per testare se questa radiazione penetrante, almeno in parte, potesse essere invece di natura corpuscolare, ripeté l’esperimento di Curie e Joliot trovando i risultati compatibili con l’ipotesi di una particella neutra con massa confrontabile con quella del protone.

§§§§

Zaira Ollano, *The neutron*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 10, No. 6, pages xxi-xxxvii (1933) ●

Zaira Ollano (1904-1997). She graduated in Physics at the University of Cagliari perhaps in 1926. She was Rita Brunetti’s most important assistant in Cagliari and Pavia. She held several courses in Physics, and as a lecturer, in Experimental Physics in Pavia, Perugia, and Genoa. Her researches mainly concerned spectroscopy, radiation instruments, and nuclear physics.

The neutron. Ollano’s 1933 note was an important review of the knowledge on the neutron one year after its discovery, in 1932, by James Chadwick.

The neutron had been hypothesized as early as 1920 by Ernst Rutherford as a bound electron-proton system. His hypothesis of a nuclear-sized hydrogen atom was, however, incompatible with Niels Bohr’s 1913 atomic theory,

which predicted a value of half an angstrom for the orbit of minimum radius. Experimental attempts to locate this neutron at the Cavendish Laboratory led to negative results. Further proposals were advanced, but not experimentally tested, by Aldo Pontremoli with the hypothesis of considering the electron not in orbit but directly tangent to the proton, and by Langer and Nathan Rosen in 1931, who modified the Coulombian electric field of the nucleus with a corrective term that allowed the transition of an orbital electron directly on the nucleus.

The hypothesis of the neutron as an electron-proton system had to deal with various problems. The measurements of the spin of the nitrogen-14 nucleus by Leonard Ornstein 1928 were incompatible with the idea that the nitrogen-14 nucleus was composed of 14 protons and 7 electrons, i.e. an odd number of particles with half-integer spin, compared to the unitary value obtained experimentally. For similar reasons, an incompatibility was observed by analyzing the spin from the band spectra of hydrogen and nitrogen molecules obtained by Franco Rasetti in 1929. Furthermore, there were the well-known problems of the impossibility of reconciling the energy values of the electrons emitted by the nuclei by beta decay with Heisenberg's uncertainty principle.

Ollano's note presented a detailed analysis of experimental neutron physics. In particular she dealt with the three experiments that eventually led to the discovery of the neutron: 1) in 1930 Walther Bothe and Herbert Becker made collide the alpha particles from a polonium source on targets of light elements and produced a highly penetrating radiation; 2) in 1932 Irène Curie and Frédéric Joliot caused the expulsion of protons from a paraffin target irradiated with this penetrating radiation; 3) in 1932 James Chadwick, to test whether this penetrating radiation, at least in part, could have a corpuscular nature instead, repeated Curie and Joliot's experiments, finding the results compatible with the hypothesis of a neutral particle with a mass comparable to that of the proton.

E. Fermi, “Tentativo di una teoria dei raggi β ”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 11, pagine 1-19 (1934) •

APPROFONDIMENTO



Enrico Fermi (Roma 1901, Chicago 1954) è uno dei fisici italiani più famosi e importanti. Vincitore nel 1938 del premio Nobel per la Fisica per la scoperta della radioattività indotta da neutroni e per l'effetto del loro rallentamento, portò la ricerca italiana a livello internazionale in settori di punta quali la fisica atomica, la fisica teorica, la fisica nucleare. In America, dove si trasferisce definitivamente nel 1938, realizza il primo reattore nucleare e partecipa in posizione di primo piano al progetto Manhattan sugli armamenti nucleari. Terminata la guerra, dà contributi molto importanti soprattutto in ricerche sui neutroni e sui mesoni.

“Tentativo di una teoria dei raggi β ”. Dopo aver partecipato, come rappresentante dell'Italia, al Settimo Congresso Solvay (22-29 Ottobre 1933), dedicato a “Struttura e proprietà dei nuclei atomici”, al suo rientro a Roma, stimolato dalle discussioni a cui aveva preso parte, affrontava e risolveva il problema del decadimento beta, cioè il fatto che gli elettroni uscivano direttamente dal nucleo con energie tutte diverse, che variavano con continuità, entro limiti molto ampi.

La soluzione a cui giungeva veniva pubblicata, in una prima versione ridotta, sulla Ricerca Scientifica alla fine di dicembre del 1933 (E. Fermi “Tentativo di una teoria dell'emissione dei raggi beta”, *La Ricerca Scientifica*, 4, (1933), 491-495) e in forma estesa sul Nuovo Cimento del gennaio del 1934 (E. Fermi, “Tentativo di una teoria dei raggi β ”, *Nuovo Cimento*, II, 1934, 1-19) e, quasi contemporaneamente anche sulla prestigiosa rivista tedesca Zeitschrift für Physik (E. Fermi, “Versuch einer Theorie der β -Strahlen. I”, *Zeit. für Physik*, 88, 1934, 161,171). La differenza tra le tre versioni stava nel fatto che tutti i passaggi matematici erano riportati soltanto nelle ultime due pubblicazioni, le quali erano sostanzialmente identiche, a parte il fatto che nella versione italiana veniva citato, accanto a un lavoro di Heisenberg sulla teoria dei nuclei (Z.P. 77, I, 1932) anche il lavoro di Majorana del 1933 pubblicato sugli ZS P, mentre nella versione tedesca, quest'ultimo lavoro non veniva riportato. Quando Fermi affrontava il problema del decadimento beta, il nucleo veniva comunemente considerato composto oltre che da neutroni e da protoni, anche da elettroni, non ostante tutte le difficoltà di confinamento che ne derivavano, proprio per giustificare il decadimento beta. Invece, la teoria di Heisenberg della struttura del nucleo, sviluppata nel 1932 e modificata da Majorana agli inizi del 1933, considerava il nucleo composto soltanto dai due tipi di particelle pesanti, protone e neutrone. A questa teoria, fortemente pubblicizzata al Congresso Solvay, si rifaceva Fermi, aderendo completamente all'idea che gli elettroni non facevano parte integrante dei nuclei. Per spiegare, quindi, la loro emissione nel decadimento beta, Fermi, dopo aver adottato l'ipotesi di Pauli sull'esistenza del neutrino, cioè di un corpuscolo elettricamente neutro con massa dell'ordine di grandezza di quella dell'elettrone o minore, in modo da risolvere il problema dello spettro continuo dei raggi beta, introduceva un'idea formidabile, che si rivelerà poi la base di tutte le interazioni deboli: gli elettroni, prima di fuoriuscire dal nucleo, non esistono all'interno del nucleo, ma vengono creati, al momento della loro espulsione, assieme ai neutrini, nella trasformazione di un neutrone in un protone, analogamente ai fotoni che vengono creati all'interno dell'atomo dal passaggio di un elettrone atomico da un livello d'energia superiore a uno inferiore.

Questo articolo rappresenta il trionfo della Meccanica Quantistica, in questo caso, della teoria dei campi, anche per spiegare il decadimento beta.

§§§§

Enrico Fermi, *Attempt of a theory of β rays*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 11, pages 1-19 (1934) •

Enrico Fermi. Winner of the Nobel Prize in Physics in 1938 for the discovery of radioactivity induced by neutrons and for the effect of their slowdown, he brought Italian research to an international level in leading sectors such as atomic physics, theoretical physics, nuclear physics. In America, where he moved permanently in 1938, he built the first nuclear reactor and participated as a leader in the Manhattan project on nuclear weapons. After the war, he makes very important contributions especially in research on neutrons and mesons.

Attempt of a theory of β rays (1934). After having participated, as representative of Italy, in the Seventh Solvay Congress (22-29 October 1933), dedicated to “Structure and properties of atomic nuclei”, on his return to Rome, stimulated by the discussions in which he had taken part, he faced and it solved the problem of beta decay, that is, the fact that electrons came out directly from the nucleus with all different energies, which varied continuously, within very wide limits.

The solution he arrived at was published, in a first abridged version, in “*La Ricerca Scientifica*” at the end of December 1933 (E. Fermi “*Attempting a theory of the emission of beta rays*”, *La Ricerca Scientifica*, 4, (1933), 491-495) and in extended form in *Il Nuovo Cimento* of January 1934 (E. Fermi, “*Attempt of a theory of β rays*”, *Il Nuovo Cimento*, II, 1934, 1-19) and, almost simultaneously also in the prestigious German Magazine “*Zeitschrift für Physik*” (E. Fermi, “*Versuch einer Theorie der β -Strahlen. I*”, *Zeitz. Fur Physik*, 88, 1934, 161,171). The difference between the three versions was that all the mathematical passages were reported only in the last two publications, which were substantially identical, apart from the fact that in the Italian version it was cited, alongside a work by Heisenberg on the theory of nuclei (ZP 77, I, 1932) and also Majorana's 1933 work published on the ZP, while in the German version, the latter work was not reported. When Fermi faced the problem of beta decay, the nucleus was commonly considered to be composed not only of neutrons and protons, but also of electrons, to justify beta decay, despite all the ensuing confinement difficulties. Instead, Heisenberg's theory of the structure of the nucleus, developed in 1932 and modified by Majorana in early 1933, considered the nucleus to be composed only of the two types of heavy particles, proton and neutron. Fermi referred to this theory, heavily publicized at the Solvay Congress, fully adhering to the idea that electrons were not an integral part of nuclei. To explain, therefore, their emission in beta decay, Fermi, after adopting the Pauli hypothesis on the existence of the neutrino, that is, of an electrically neutral corpuscle with a mass of the order of magnitude of that of the electron or less, in order to solve the problem of the continuous spectrum of beta rays, he introduced a formidable idea, which will later prove to be the basis of all weak interactions: electrons, before leaving the nucleus, do not exist inside the nucleus, but are created , at the moment of their expulsion, together with the neutrinos, in the transformation of a neutron into a proton, similarly to the photons that are created inside the atom by the passage of an atomic electron from a higher energy level to a lower one.

This article represents the triumph of Quantum Mechanics, in this case, of field theory, also to explain beta decay.

E. Majorana, “Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, pagine 171-184 (1937) ●

APPROFONDIMENTO



Ettore Majorana (1906-1939?). Allievo e collega di Enrico Fermi, scomparso in circostanze misteriose nel Marzo del 1938 (poco più che trentenne) da Napoli, dove era stato nominato pochi mesi prima Professore di Fisica Teorica per chiara fama, è stato un grande fisico teorico. Le sue ricerche riguardarono la fisica atomica, la fisica molecolare, le particelle elementari e i suoi risultati sono tuttora attuali.

“Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone”. Questo, l'ultimo articolo pubblicato da Majorana, è forse il suo articolo più importante, dedicato alla teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone, e contenente anche l'ipotesi del “neutrino di Majorana”, cioè di una particella neutra che è identica alla sua antiparticella.

Dopo la delusione in seguito alla scoperta del positrone che rafforzava la teoria di Dirac, Majorana prosegue la sua ricerca sulla formulazione relativistica della teoria delle particelle elementari, nell'ambito del nuovo contesto fisico emergente.

Questo è un articolo davvero affascinante, dedicato alla teoria quantistica di campi interagenti che coinvolgono fotoni, elettroni e positroni (elettrodinamica quantistica). Le equazioni del moto sono derivate da un principio variazionale per campi non commutativi molto elegante. Da un punto di vista concettuale ci sono due ingredienti essenziali.

Innanzitutto si riconosce che le equazioni d'onda relativistiche possono avere un'interpretazione fisica consistente solo nell'ambito di una teoria quantistica dei campi. Le equazioni di campo regolano l'evoluzione del tempo non per la funzione d'onda quantistica, come nel caso non relativistico dell'equazione di Schroedinger, ma per gli operatori di campo quantistici, che nel caso non interagente possono essere suddivisi in due parti, una relativa alla creazione di particelle e l'altra relativa alla loro annichilazione. In particolare, l'equazione di Dirac trova la sua interpretazione fisica coerente, dove non c'è posto per il mare di Dirac.

Il secondo ingrediente fondamentale è dato dalla nota rappresentazione di Majorana per le matrici di Dirac. Le scelte di Dirac e Majorana sono equivalenti dal punto di vista fisico, ma la rappresentazione di Majorana permette di definire separatamente il campo dell'elettrone e quello del positrone. Quindi si ha un trattamento completamente simmetrico per le due particelle, come si evince dal titolo dell'articolo.

La rappresentazione di Majorana permette anche di introdurre una nuova descrizione per le particelle neutre (neutrone e neutrino), dove particella e antiparticella coincidono. Il neutrone, a differenza di quanto ipotizzato da Majorana, è ovviamente escluso da questa descrizione, in quanto dotato di momento magnetico. Il numero barionico verrà riconosciuto successivamente.

Rimane quindi la possibilità che il neutrino, già introdotto nei tre articoli del 1933-34 di Fermi sul decadimento beta (vedi scheda articolo di Fermi sul Nuovo Cimento, gennaio 1934), sia una particella di Majorana. Questo è argomento di un'intensa attività di ricerca contemporanea.

Attualmente il “neutrino di Majorana” è ampiamente studiato in connessione alla fisica della materia condensata e a problemi cosmologici. Ettore Majorana è notevole anche per la lucidità metodologica delle procedure sfruttate nella sua ricerca, dove considerazioni fenomenologiche, fondate su aspetti fisici e intuizione, si fondono con metodi matematici avanzati, basati sulla simmetria e sulla teoria dei gruppi.

§§§§

E. Majorana, Symmetric theory of the electron and positron

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 5, pages 171-184 (1937) ●

Ettore Majorana (1906-1939?). Student and colleague of Enrico Fermi, who died in mysterious circumstances in March 1938 (just over thirty) from Naples, where he had been appointed a few months earlier Professor of Theoretical Physics for clear fame, was a great theoretical physicist. His research has covered atomic physics, molecular physics, elementary particles and his results are still current.

Symmetric theory of the electron and positron. This, the latest article published by Majorana, is perhaps his most important article, dedicated to the symmetrical theory of the electron and positron, and also containing the hypothesis of the “neutrino of Majorana”, that is of a neutral particle which is identical to its antiparticle.

After the disappointment following the discovery of the positron that strengthened Dirac's theory, Majorana continues her research on the relativistic formulation of the theory of elementary particles, in the framework of the new emerging physical context.

This is a truly fascinating article, dedicated to the quantum theory of interacting fields involving photons, electrons and positrons (quantum electrodynamics). The equations of motion are derived from a very elegant variational principle for non-commutative fields. From a conceptual point of view there are two essential ingredients.

First of all, it is recognized that relativistic wave equations can have a physical interpretation that is consistent only in the context of a quantum field theory. The field equations regulate the evolution of time not for the quantum wave function, as in the non-relativistic case of the Schroedinger equation, but for the quantum field operators, which in the non-interacting case can be divided into two parts, one related to the creation of particles and the other related to their annihilation. In particular, the Dirac equation finds its coherent physical interpretation, where there is no place for the Dirac sea.

The second fundamental ingredient is given by the well-known Majorana representation for Dirac matrices. The choices of Dirac and Majorana are equivalent from a physical point of view, but the Majorana representation allows the electron and positron fields to be defined separately. So, there is a completely symmetrical treatment for the two particles, as can be seen from the title of the article.

The Majorana representation also allows us to introduce a new description for neutral particles (neutron and neutrino), where particle and antiparticle coincide. The neutron, unlike Majorana's hypothesis, is obviously excluded from this description, as it has a magnetic moment. The baryon number will be recognized later. The possibility therefore remains that the neutrino, already introduced in Fermi's three articles of 1933-34 on beta decay (see Fermi's article on the *Nuovo Cimento*, January 1934), is a Majorana particle. This is the subject of intense contemporary research.

Currently the “Majorana neutrino” is widely studied in connection with the physics of condensed matter and cosmological problems.

Ettore Majorana is also notable for the methodological lucidity of the procedures exploited in his research, where phenomenological considerations, based on physical aspects and intuition, merge with advanced mathematical methods, based on symmetry and group theory.

Piero Caldirola, “Sull’equazione ondulatoria e sulla dinamica di una particella nella teoria della relatività”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 15, No. 8, pagine 467-472 (agosto 1938) •

APPROFONDIMENTO



Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984) è stato un importante fisico e accademico Italiano. Caldirola fu un fisico poliedrico, la cui ricerca spaziò dalla fisica teorica a quella applicata. Diede contributi alla meccanica statistica e quantistica, si impegnò nello studio delle particelle elementari e nella ricerca di una teoria unificata delle interazioni forte e gravitazionale. Diede importanti contributi nella fisica del plasma, anche applicata alla fisica medica, nonché alla fusione termonucleare. Fra i molti riconoscimenti ed incarichi che ricoprì, Caldirola fu presidente dello European Atomic Forum (FORATOM).

“Sull’equazione ondulatoria e sulla dinamica di una particella nella teoria della relatività”. L’articolo viene scritto nel 1938 a Roma, dove il neo-laureato Caldirola trascorre un breve periodo in visita, fra gli altri, di Enrico Fermi.

In questo lavoro Caldirola estende alla meccanica relativistica, argomenti utilizzati per legare la Teoria Ondulatoria alla meccanica di Hamilton-Jacobi in contesto classico.

Lo studio prende prima in esame una particella libera in uno spazio Euclideo. Attraverso un opportuno cambio di variabile, lo spinore viene riscritto inglobando l’energia di riposo nell’energia totale. La funzione che ne risulta – dipendente da una fase reale Λ – soddisfa ad una equazione di Klein-Gordon ridotta.

Caldirola riconosce che la fase è legata alla lunghezza d’arco di traiettoria tramite la massa a riposo della particella. La fase soddisfa inoltre una semplice equazione tensoriale, che vincola la traiettoria del corpuscolo ad essere una geodetica della varietà. In questa equazione sono insite sia l’equazione del moto che la conservazione dell’energia relativistica.

Al primo ordine in $1/c^2$ risulta valida una notevole relazione fra la fase, l’energia della particella e l’azione di Maupertuis. Caldirola conclude questo lavoro esplicitando il legame tra la fase e l’equazione delle geodetiche, al caso in cui la particella sia soggetta ad un potenziale.

§§§§

Piero Caldirola, On the wave equation and the dynamics of a particle in the theory of relativity

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 15, No. 8, pages 467-472 (August 1938) •

Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984). Caldirola was a multifaceted physicist, whose research ranged from theoretical to applied physics. He gave contributions to statistical and quantum mechanics, he engaged in the study of elementary particles and in the search for a unified theory of strong and gravitational interactions. He gave important contributions in plasma physics, also applied to medical physics, as well as to thermonuclear fusion. Among the many awards and positions he held, Caldirola was president of the European Atomic Forum (FORATOM).

The article **“On the wave equation and the dynamics of a particle in the theory of relativity”** was written in 1938 in Rome, where the recent graduate Caldirola spent a short period visiting, among others, Enrico Fermi.

In this work Caldirola extends to relativistic mechanics, arguments used to link the Wave Theory to Hamilton-Jacobi mechanics in a classical context.

The study first examines a free particle in Euclidean space. Through an appropriate change of variable, the spinor is rewritten by incorporating the rest energy into the total energy. The resulting function - dependent on a real phase Λ - satisfies a reduced Klein-Gordon equation.

Caldirola recognizes that the phase is linked to the arc length of the trajectory through the rest mass of the particle. The phase also satisfies a simple tensor equation, which constrains the trajectory of the corpuscle to be a geodesic of the manifold. Both the equation of motion and the conservation of relativistic energy are inherent in this equation.

At the first order in $1/c^2$ a remarkable relationship between the phase, the energy of the particle and the Maupertuis action is valid. Caldirola concludes this work by making explicit the link between the phase and the equation of geodesics, in the case where the particle is subject to a potential.

Giovanni Gentile, “Sui limiti dell’elettrodinamica e i nuovi risultati sperimentali sulla radiazione cosmica”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 16, No. 3, pagine 113-135 (1939) ●

APPROFONDIMENTO



Giovanni Gentile (1906-1942), figlio dell’omonimo filosofo, si laureò in fisica nel 1927. Successivamente lavorò a Roma con Fermi e Majorana, Berlino con Schrödinger e Lipsia con Heisenberg. Fu assistente a Pisa e professore di Fisica teorica a Milano. Si occupò di fisica atomica, magnetismo, e statistiche quantistiche con la teorizzazione delle statistiche intermedie.

“Sui limiti dell’elettrodinamica e i nuovi risultati sperimentali sulla radiazione cosmica”. L’articolo di Gentile del 1939 è il testo preparato per una conferenza tenuta il 28/01/1938 al Seminario Matematico e Fisico di Milano, che riuniva docenti dell’Università e del Politecnico di Milano. Il tema considerato, i limiti dell’elettrodinamica, viene inserito nel contesto della fisica dei raggi cosmici. Uno dei principali problemi interpretativi della radiazione cosmica nei decenni ‘20 e ‘30 consisteva nella possibilità o meno di utilizzare alcune teorie che erano state fino ad allora confermate in range energetici di gran lunga inferiori a quelli determinati dai risultati delle ricerche sperimentali sui raggi cosmici. La natura stessa dei costituenti dei raggi cosmici dipendeva fortemente dalla validità di tali teorie al di fuori di determinati intervalli di valori. Una di queste teorie era l’elettrodinamica classica, così come formulata nella seconda metà dell’Ottocento da Maxwell ed elaborata dai fisici maxwelliani.

L’irruzione della fisica quantistica nell’elettrodinamica comportò due problemi principali: il dualismo onda-corpuscolo (cioè l’utilizzo sia dell’elettrodinamica classica con le onde elettromagnetiche, sia dell’ipotesi di Einstein del quanto di energia radiante del 1905), e l’effetto del principio di indeterminazione di Heisenberg del 1927 nella definizione operativa locale del campo elettromagnetico. Già questi due problemi posero, in modi differenti, limiti all’applicazione dell’elettrodinamica. Ad esempio, in alcuni fenomeni, come l’effetto fotoelettrico, la radiazione doveva essere considerata composto da quanti di energia e non da onde, vale a dire l’elettrodinamica non poteva più essere applicata in questi casi. Nel presente articolo, Gentile mostrò più in dettaglio come affrontare i limiti dell’elettrodinamica posti dal principio di indeterminazione di Heisenberg seguendo una linea di pensiero che risaliva all’applicazione data da Bohr nel 1933 alle componenti del campo elettromagnetico in un contesto teorico di complementarità o dualismo.

L’applicazione dell’elettrodinamica allo studio della radiazione cosmica, a partire dagli esperimenti di Bothe e Kohlhörster del 1928-29 che ne chiarirono la natura in prevalenza corpuscolare, permise di affrontare le differenti distribuzioni geografiche della radiazione al suolo (effetto latitudine, effetto est-ovest). Allo stesso modo, l’elettrodinamica fu utilizzata per analizzare i fenomeni di sciame di raggi cosmici tramite lo studio dei differenti processi di produzione e di assorbimento. È soprattutto per questi fenomeni che l’analisi di Gentile approfondì il tema dei limiti di applicabilità di teorie che si basavano sull’elettrodinamica mostrando come l’accettazione del mesotrone (oggi “muone”) come nuova particella di massa intermedia tra quella dell’elettrone e del protone e scoperta da Anderson e Neddermeyer nel 1936 fosse pienamente compatibile con la validità dell’elettrodinamica nei range di energia considerati negli sciame di raggi cosmici.

Giovanni Gentile, *On the limits of electrodynamics and the new experimental results on cosmic radiation* (1939)

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 16, No. 3, pages 113-135 (1939) ●

Giovanni Gentile (1906-1942), son of the homonymous philosopher, graduated in Physics in 1927. He worked later in Rome with Fermi and Majorana, in Berlin with Schrödinger, and in Leipzig with Heisenberg. He was assistant professor in Pisa and professor of Theoretical Physics in Milan. He dealt with atomic physics, magnetism, and quantum statistics with the theorization of intermediate statistics.

On the limits of electrodynamics and the new experimental results on cosmic radiation. Gentile's 1939 article is the text prepared for a conference held on 28/01/1938 at the Mathematical and Physical Seminar in Milan, which brought together professors for the University and the Polytechnic of Milan. The topic considered, the limits of electrodynamics, is placed in the context of cosmic ray physics. One of the main interpretative problems of cosmic radiation in the 1920s and 1930s consisted of the possibility or not of using some theories that had hitherto been confirmed in an energy range far lower than that determined by the results of experimental research on cosmic rays. The very nature of the components of cosmic rays depended heavily on the validity of such theories outside a given range of values. One of these theories was classical electrodynamics, as formulated in the second half of the nineteenth century by Maxwell and elaborated by the Maxwellian physicists.

The eruption of quantum physics into electrodynamics entailed two main problems: wave-particle dualism (i.e. the use of both classical electrodynamics with electromagnetic waves, and Einstein's 1905 theory of the quantum of radiant energy), and the effect of Heisenberg's 1927 uncertainty principle in the local operational definition of the electromagnetic field. These two problems already posed, in different ways, limits to the application of electrodynamics. For example, in some phenomena, such as the photoelectric effect, the radiation had to be considered composed of energy quanta and not waves, i.e. electrodynamics could no longer be applied in these cases. In this article, Gentile showed in more detail how to deal with the limits of electrodynamics posed by Heisenberg's uncertainty principle following a line of thought that dates back to Bohr's 1933 application to the components of the electromagnetic field in a theoretical context of complementarity or dualism.

The application of electrodynamics to the study of cosmic radiation, starting from the 1928-29 experiments by Bothe and Kohlhörster, which clarified its predominantly corpuscular nature, made it possible to deal with the different geographical distributions of radiation on the ground (latitude effect, east-west effect). Similarly, electrodynamics was used to analyze the phenomena of cosmic ray showers by studying the different production and absorption processes. It is above all for these phenomena that Gentile's analysis deepened the issue of the limits of applicability of the theories based on electrodynamics, showing how the acceptance of the mesotron (today "muon") as a new particle of intermediate mass between that of the electron and of the proton, discovered by Anderson and Neddermeyer in 1936, was fully compatible with the validity of electrodynamics in the energy range considered in cosmic ray showers.

Giovanni Gentile, “Osservazioni sopra le statistiche intermedie”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 17, No. 10, pagine 493-497 (1940) •

APPROFONDIMENTO



Giovanni Gentile (1906-1942), figlio dell'omonimo filosofo, si laureò in fisica nel 1927. Successivamente lavorò a Roma con Fermi e Majorana, Berlino con Schrödinger e Lipsia con Heisenberg. Fu assistente a Pisa e professore di Fisica teorica a Milano. Si occupò di fisica atomica, magnetismo, e statistiche quantistiche con la teorizzazione delle statistiche intermedie.

“Osservazioni sopra le statistiche intermedie”. Nel contesto della fisica quantistica due nuove teorie statistiche andarono ad affiancarsi alla statistica classica. La statistica classica fu formulata da Ludwig Boltzmann nel 1868 per lo studio dell'equilibrio termico dei gas. Nella statistica classica si trattano particelle identiche distinguibili, mentre nella fisica quantistica le particelle identiche sono indistinguibili. La prima statistica quantistica fu formulata nel 1924 da Satyendra Nath Bose, sviluppata in seguito da Albert Einstein, per lo studio dei quanti di radiazione. Nel caso dei bosoni non si pone alcun limite al numero di particelle che possono essere assegnate a un qualsiasi stato quantistico. La seconda statistica quantistica fu formulata da Paul Dirac e, indipendentemente, da Enrico Fermi, per lo studio degli elettroni nei metalli. Nel caso dei fermioni si può assegnare una sola particella a ogni singolo stato quantistico.

Gentile iniziò a interessarsi alla creazione di una teoria statistica intermedia, cioè con un numero massimo di particelle assegnabili a ogni stato intermedio tra 1 (fermioni) e infinito (bosoni). Per ricavare la distribuzione intermedia Gentile seguì la falsariga del lavoro di Bose e formulò la teoria di un ipotetico gas ideale monoatomico intermedio come eventuale applicazione di non immediata utilità

§§§§

Giovanni Gentile, *Observations on the Intermediate Statistics*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 17, No. 10, pages 493-497 (1940) •

Giovanni Gentile (1906-1942), son of the homonymous philosopher, graduated in Physics in 1927. He worked later in Rome with Fermi and Majorana, in Berlin with Schrödinger, and in Leipzig with Heisenberg. He was assistant professor in Pisa and professor of Theoretical Physics in Milan. He dealt with atomic physics, magnetism, and quantum statistics with the theorization of intermediate statistics.

Observations on the Intermediate Statistics. In the context of quantum physics, two new statistical theories went alongside classical statistics. Classical statistics was formulated by Ludwig Boltzmann in 1868 for the study of the thermal equilibrium of gases. In classical statistics we consider distinguishable identical particles, while in quantum physics identical particles are indistinguishable. The first quantum statistics was formulated in 1924 by Satyendra Nath Bose, and was later developed by Albert Einstein for the study of radiation quanta. In the case of bosons, there is not limit to the number of particles that can be assigned to any quantum state. The second quantum statistics was formulated by Paul Dirac and, independently, by Enrico Fermi, for the study of electrons in metals. In the case of fermions, only one particle can be assigned to each individual quantum state.

Gentile began to be interested in the making of an intermediate statistical theory, that is, with a maximum number of particles that can be assigned to each intermediate state between 1 (fermions) and infinite (bosons). To derive the intermediate distribution, Gentile followed the lines of Bose's work and formulated the theory of a hypothetical ideal intermediate monatomic gas as a possible application of not immediate utility.

Piero Caldirola, “Su alcune relazioni fra le proprietà geometriche di una V_n e la dinamica delle particelle”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 17, No. 2, pagine 69-73 (febbraio 1940) •

APPROFONDIMENTO



Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984) è stato un importante fisico e accademico Italiano. Caldirola fu un fisico poliedrico, la cui ricerca spaziò dalla fisica teorica a quella applicata. Diede contributi alla meccanica statistica e quantistica, si impegnò nello studio delle particelle elementari e nella ricerca di una teoria unificata delle interazioni forte e gravitazionale. Diede importanti contributi nella fisica del plasma, anche applicata alla fisica medica, nonché alla fusione termonucleare. Fra i molti riconoscimenti ed incarichi che ricoprì, Caldirola fu presidente dello European Atomic Forum (FORATOM).

“**Su alcune relazioni fra le proprietà geometriche di una V_n e la dinamica delle particelle**”. Nell’articolo Caldirola si inserisce in uno dei più studiati e dibattuti problemi della fisica, ovvero il legame non ancora risolto fra la formulazione relativistica della teoria della gravità e la meccanica quantistica. Questo lavoro è il capostipite di una intensa ricerca che Caldirola perseguirà nel corso della sua vita, cercando di costruire una teoria unificata delle interazioni forti e gravitazionale.

Più in dettaglio l’autore si propone di approfondire la relazione fra le equazioni delle geodetiche e la relatività, ottenuta come generalizzazione della teoria di Hamilton-Jacobi, i risultati vengono applicati al moto di una particella dotata di carica elettrica e spin.

Viene dimostrato un importante teorema: presa una qualunque geodetica di una varietà di dimensione n - ad esempio lo spazio-tempo - è sempre possibile trovare una varietà di dimensione $n+1$, in maniera tale che la geodetica considerata è la proiezione su V_n di una geodetica nulla in V_{n+1} . Come prima conseguenza, la retta percorsa da un fotone nello spazio tridimensionale vuoto è la proiezione della geodetica nulla dello spazio-tempo, che descrive il moto dei raggi luminosi nella teoria di Einstein.

Generalizzando quindi una proprietà notata da Fischer, Proca e Goudsmit, Caldirola postula che tutte le proprietà di una particella (massa, carica, spin ...), interpretabili come gradi di libertà, possano essere descritte utilizzando varietà di dimensione via via crescenti. Queste sarebbero le sezioni di un astratto spazio delle fasi, in cui sarebbe possibile modellizzare il moto di una particella.

§§§§

Piero Caldirola, *On some relationships between the geometric properties of a V_n and the dynamics of particles*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 17, No. 2, pages 69-73 (February 1940) •

Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984). Caldirola was a multifaceted physicist, whose research ranged from theoretical to applied physics. He gave contributions to statistical and quantum mechanics, he engaged in the study of elementary particles and in the search for a unified theory of strong and gravitational interactions. He gave important contributions in plasma physics, also applied to medical physics, as well as to thermonuclear fusion. Among the many awards and positions he held, Caldirola was president of the European Atomic Forum (FORATOM).

On some relationships between the geometric properties of a V_n and the dynamics of particles. In the article Caldirola takes part to one of the most profound debates in physics, that is the unsolved link between the relativistic formulation of the theory of gravity and quantum mechanics. This work is the progenitor of an intense research that Caldirola will pursue throughout his life, trying to build a unified theory of strong and gravitational interactions.

In more detail, the author aims to investigate the relationship between the equations of geodesics and relativity, obtained as a generalization of the Hamilton-Jacobi theory, the results are applied to the motion of a particle with an electric charge and spin.

An important theorem is proved: taking any geodesic of a variety of dimension n – for example space-time – it is always possible to find a variety of dimension $n + 1$, in such a way that the considered geodesic is the projection on V_n of a null geodesic in $V_n + 1$. As a first consequence, the line traveled by a photon in empty three-dimensional space is the projection of the null geodesic of space-time, which describes the motion of light rays in Einstein's theory.

Thus, generalizing a property noted by Fischer, Proca and Goudsmit, Caldirola postulates that all the properties of a particle (mass, charge, spin...), which can be interpreted as degrees of freedom, can be described using varieties of gradually increasing dimension. These can be seen as the sections of an abstract phase space, in which it would be possible to model the motion of a particle.

Piero Caldirola, “Sulle forze di scambio di Majorana”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 17, No. 4, pagine 168-174 (aprile 1940) •

APPROFONDIMENTO



Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984) è stato un importante fisico e accademico Italiano. Caldirola fu un fisico poliedrico, la cui ricerca spaziò dalla fisica teorica a quella applicata. Diede contributi alla meccanica statistica e quantistica, si impegnò nello studio delle particelle elementari e nella ricerca di una teoria unificata delle interazioni forte e gravitazionale. Diede importanti contributi nella fisica del plasma, anche applicata alla fisica medica, nonché alla fusione termonucleare. Fra i molti riconoscimenti ed incarichi che ricoprì, Caldirola fu presidente dello European Atomic Forum (FORATOM).

“Sulle forze di scambio di Majorana”. Nell’articolo Caldirola approfondisce alcuni aspetti fondamentali del nuovo formalismo della Meccanica Quantistica, in relazione alla formulazione Hamiltoniana della Meccanica Classica, prendendo spunto dall’equazione di Schroedinger relativa alle forze di scambio di Majorana. Le potenzialità ed i limiti di applicabilità dello sconvolgente impianto formale della meccanica ondulatoria sviluppato, fra gli altri, da Heisenberg, Born, Jordan e Dirac, delle *regole di quantizzazione* che traghettano la fisica classica a quella quantistica, affascinano il giovane Caldirola. Inizia la sua indagine dei sistemi dissipativi in meccanica quantistica, che già un anno più tardi porterà all’importante lavoro “Forze non conservative in Meccanica Quantistica”.

Nel 1933 Majorana pubblica il suo celebre lavoro sulla teoria del nucleo. Majorana aveva compreso che protoni e neutroni erano legati da forze quantistiche originate dalla loro indistinguibilità, forze di scambio delle rispettive posizioni spaziali, e non degli spin, come ipotizzato da Heisenberg. Nel 1936 Wheeler dimostra che l’operatore di scambio di Majorana, che compare ad esempio nell’equazione del moto relativo di due nucleoni, può essere sviluppato in termini delle posizioni e dei momenti coniugati delle particelle. Ciò porta Wheeler a supporre che le forze di Majorana possano essere derivate da un potenziale, che dipenda anche dai momenti.

Caldirola si propone di verificare questa ipotesi. Egli deriva l’espressione classica dell’Hamiltoniana che - una volta quantizzata - fornisca l’operatore Hermitiano responsabile della dinamica nucleare. Sulla base di argomenti di meccanica Lagrangiana deriva quindi l’equazione differenziale cui il potenziale incognito (funzione delle coordinate e delle velocità) dovrebbe soddisfare. L’equazione ammette una soluzione, che annulla tuttavia l’Hessiano del sistema Lagrangiano. La non-normalità del sistema Lagrangiano implica che, per il potenziale cercato, non esistono variabili canoniche. Caldirola conclude quindi che non esiste un potenziale generalizzato, tale che l’equazione quantistica del moto dei nucleoni sia derivabile tramite quantizzazione dell’equazione classica del moto.

Piero Caldirola, *On the Majorana exchange forces*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 17, No. 4, pages 168-174 (April 1940) •

Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984). Caldirola was a multifaceted physicist, whose research ranged from theoretical to applied physics. He gave contributions to statistical and quantum mechanics, he engaged in the study of elementary particles and in the search for a unified theory of strong and gravitational interactions. He gave important contributions in plasma physics, also applied to medical physics, as well as to thermonuclear fusion. Among the many awards and positions he held, Caldirola was president of the European Atomic Forum (FORATOM).

In the article **“On the Majorana exchange forces”** Caldirola explores some fundamental aspects of the new formalism of Quantum Mechanics, in relation to the Hamiltonian formulation of Classical Mechanics, taking a cue from the Schrodinger equation for the Majorana exchange forces. The potentialities and the limits of applicability of the shocking formal structure of wave mechanics developed, among others, by Heisenberg, Born, Jordan and Dirac, of the quantization rules that ferry classical physics to quantum physics, fascinate the young Caldirola. He begins his investigation of dissipative systems in quantum mechanics, which already a year later will lead to the important work “Non-conservative forces in Quantum Mechanics”.

In 1933 Majorana publishes his famous work on the theory of the nucleus. Majorana understood that protons and neutrons were linked by quantum forces originating from their indistinguishability, exchange forces of their respective spatial positions, and not of spins, as hypothesized by Heisenberg. In 1936 Wheeler demonstrates that the Majorana exchange operator, which appears for example in the equation of relative motion of two nucleons, can be developed in terms of the positions and the conjugate momenta of particles. This leads Wheeler to suppose that Majorana's forces may be derived from a potential, which also depends on momenta.

Caldirola aims to test this hypothesis. He derives the classical expression of the Hamiltonian which - once quantized - provides the Hermitian operator responsible for the nuclear dynamics. On the basis of arguments of Lagrangian mechanics, the differential equation which the unknown potential (function of coordinates and velocities) should satisfy is therefore derived. The equation admits a solution, which however cancels the Hessian of the Lagrangian system. The non-normality of the Lagrangian system implies that, for the potential sought, there are no canonical variables. Caldirola therefore concludes that there is no generalized potential, such that the quantum equation of motion of nucleons can be derived through quantization of the classical equation of motion.

Piero Caldirola, “Errata-Corrige: Sulle forze di scambio di Majorana”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 18, No. 2, pagina 70 (febbraio 1941) •

APPROFONDIMENTO



Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984) è stato un importante fisico e accademico Italiano. Caldirola fu un fisico poliedrico, la cui ricerca spaziò dalla fisica teorica a quella applicata. Diede contributi alla meccanica statistica e quantistica, si impegnò nello studio delle particelle elementari e nella ricerca di una teoria unificata delle interazioni forte e gravitazionale. Diede importanti contributi nella fisica del plasma, anche applicata alla fisica medica, nonché alla fusione termonucleare. Fra i molti riconoscimenti ed incarichi che ricoprì, Caldirola fu presidente dello European Atomic Forum (FORATOM).

“Errata-Corrige: Sulle forze di scambio di Majorana”. Nell’articolo Caldirola corregge un refuso nella Equazione (12) dell’articolo “Sulle forze di scambio di Majorana”. Nell’articolo del 1940 Caldirola cerca un potenziale generalizzato dipendente dalle posizioni e dalle velocità, tale da ottenere, attraverso la procedura di quantizzazione, l’Hamiltoniana responsabile della dinamica nucleare, tramite l’operatore di scambio di Majorana. L’equazione (12) fornisce appunto tale potenziale, la cui corretta espressione si trova dunque nella errata. Tutte le conclusioni del lavoro del 1940, ovvero il fatto che il potenziale cercato conduca ad un sistema Lagrangiano non integrabile, e dunque che l’equazione quantistica del moto dei nucleoni non sia derivabile tramite quantizzazione dell’equazione classica del moto, rimangono valide.

§§§§

Piero Caldirola, *Errata- Corrige: On the Majorana exchange forces*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 18, No. 2, page 70 (February 1941) •

Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984). Caldirola was a multifaceted physicist, whose research ranged from theoretical to applied physics. He gave contributions to statistical and quantum mechanics, he engaged in the study of elementary particles and in the search for a unified theory of strong and gravitational interactions. He gave important contributions in plasma physics, also applied to medical physics, as well as to thermonuclear fusion. Among the many awards and positions he held, Caldirola was president of the European Atomic Forum (FORATOM).

“Errata-Corrige: On the Majorana exchange forces”. In the article Caldirola corrects a typo in Equation (12) of the article “On the Majorana exchange forces”. In the 1940 article, Caldirola seeks a generalized potential depending on positions and velocities, such as to obtain, through the quantization procedure, the Hamiltonian responsible for nuclear dynamics, through the Majorana exchange operator. Equation (12) provides this potential, the correct expression of which is therefore found in the errata. All the conclusions of the 1940 work,

namely the fact that the potential sought leads to a non-integrable Lagrangian system, and therefore that the quantum equation of the motion of nucleons is not derivable through quantization of the classical equation of motion, remain valid.

Piero Caldirola, “Forze non conservative nella meccanica quantistica”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 18, No. 9, pagine 393-400 (novembre 1941) •

APPROFONDIMENTO



Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984) è stato un importante fisico e accademico Italiano. Caldirola fu un fisico poliedrico, la cui ricerca spaziò dalla fisica teorica a quella applicata. Diede contributi alla meccanica statistica e quantistica, si impegnò nello studio delle particelle elementari e nella ricerca di una teoria unificata delle interazioni forte e gravitazionale. Diede importanti contributi nella fisica del plasma, anche applicata alla fisica medica, nonché alla fusione termonucleare. Fra i molti riconoscimenti ed incarichi che ricoprì, Caldirola fu presidente dello European Atomic Forum (FORATOM).

“Forze non conservative nella meccanica quantistica”. Nel 1940 Caldirola pubblica un articolo sulle forze di scambio di Majorana, in cui tenta di dedurre tali forze da una Hamiltoniana classica, in cui il potenziale sia anche funzione della velocità della particella. In questo lavoro l'autore prosegue la sua analisi, la generalità e le implicazioni di questo studio verranno apprezzati dallo stesso Enrico Fermi.

Le regole di quantizzazione permettono di dedurre l'equazione quantistica del moto dalle equazioni di Hamilton, se le forze agenti sul sistema sono derivabili da un potenziale, in accordo con il formalismo Lagrangiano. Caldirola nota che se sul sistema agiscono forze non derivabili da un potenziale, le equazioni del moto sono invariati per trasformazioni che operino sulle sole coordinate spaziali, ma non sul tempo. Egli cerca quindi una trasformazione puramente temporale, che permetta di esprimere tali equazioni sotto la forma di un sistema Lagrangiano.

Levi-Civita era già riuscito in questo intento, nel caso di forze proporzionali alle velocità. Caldirola deriva la forma più generale di forza non-conservativa per la quale una trasformazione temporale permetta di riscrivere le equazioni del moto in forma Lagrangiana. Applicando tale trasformazione e derivando i nuovi momenti coniugati, l'autore mostra come l'equazione di Schroedinger discenda dalle usuali regole di quantizzazione.

Il metodo sviluppato da Caldirola è di estremo interesse, come mostrato da due esempi di applicazione a sistemi quantistici soggetti a forze non-conservative, essi risultano possedere stati stazionari caratterizzati da alcune osservabili costanti.

§§§§

Piero Caldirola, Non-conservative forces in quantum mechanics

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 18, No. 9, pages 393-400 (November 1941) •

Piero Caldirola (Como 1914, Milano 1984). Caldirola was a multifaceted physicist, whose research ranged from theoretical to applied physics. He gave contributions to statistical and quantum mechanics, he engaged in the study of elementary particles and in the search for a unified theory of strong and gravitational interactions. He gave important contributions in plasma physics, also applied to medical physics, as well as to thermonuclear fusion. Among the many awards and positions he held, Caldirola was president of the European Atomic Forum (FORATOM).

Non-conservative forces in quantum mechanics. In 1940 Caldirola published an article on Majorana exchange forces, in which he attempts to deduce these forces from a classical Hamiltonian, in which the potential is also a function of the speed of the particle. In this work “Non-conservative forces in quantum mechanics” the author continues his analysis, the generality and implications of this study will be appreciated by Enrico Fermi himself.

The quantization rules allow to deduce the quantum equation of motion from Hamilton's equations, if the forces acting on the system are derivable from a potential, in accordance with the Lagrangian formalism. Caldirola notes that if forces not derivable from a potential act on the system, the equations of motion are unchanged for transformations that operate only on spatial coordinates, but not on time. He therefore seeks a pure time transformation, which allows these equations to be expressed in the form of a Lagrangian system.

Levi-Civita had already succeeded in this intent, in the case of forces proportional to velocities. Caldirola derives the most general form of non-conservative force for which a time transformation allows to rewrite the equations of motion in Lagrangian form. Applying this transformation and deriving the new conjugate momenta, the author shows how the Schroedinger equation descends from the usual quantization rules.

The method developed by Caldirola is of great interest, as shown by two examples of application to quantum systems subject to non-conservative forces, they appear to have stationary states characterized by some constant observables.

Giovanni Gentile, “Le statistiche intermedie e le proprietà dell’elio liquido”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 19, No. 4, pagine 109-125 (1942) •

APPROFONDIMENTO



Giovanni Gentile (1906-1942), figlio dell’omonimo filosofo, si laureò in fisica nel 1927. Successivamente lavorò a Roma con Fermi e Majorana, Berlino con Schrödinger e Lipsia con Heisenberg. Fu assistente a Pisa e professore di Fisica teorica a Milano. Si occupò di fisica atomica, magnetismo, e statistiche quantistiche con la teorizzazione delle statistiche intermedie.

“Le statistiche intermedie e le proprietà dell’elio liquido”. Già nel 1940 Gentile aveva formulato una nuova teoria statistica quantistica – la statistica intermedia – che andava ad affiancarsi a quella di Bose-Einstein del 1924 per lo studio della radiazione di corpo nero e a quella di Fermi-Dirac del 1926 per lo studio degli elettroni in un metallo. La statistica di Gentile si caratterizzava come intermedia in quanto il numero massimo di particelle indistinguibili assegnabili a ogni stato quantistico era un numero qualsiasi intermedio tra 1 (imposto ai fermioni dal principio di esclusione di Pauli) e infinito (per i bosoni). Gentile aveva inoltre formulato la teoria di un ipotetico gas ideale monoatomico intermedio come eventuale applicazione della sua statistica, ma nel 1940 non appariva ancora di alcuna particolare utilità.

Nell’articolo pubblicato postumo nel 1942, Gentile propose l’applicazione della teoria statistica intermedia all’elio liquido II assumendo come numero massimo di occupazione il numero di atomi di elio del dato campione considerato. Nel 1924 Heike Kamerlingh Onnes, che fu il primo a liquefare l’elio nel 1908, misurò un massimo di densità alla temperatura di 2,2 K. Nel 1927 Willem Keesom e Mieczyslaw Wolfke compresero che questa era una temperatura di transizione di fase e si chiamò elio II la fase a temperatura minore di 2,2 K, il cosiddetto punto lambda. Nel 1937 Piotr Kapitsa scoprì che l’elio II è superfluido. Ancor più interessanti, per l’applicazione della statistica gentiliana, furono gli esperimenti di John Daunt e Kurt Mendelssohn del 1938 e 1938 sul “transfer effect” cioè l’adesione di una pellicola sottilissima di elio II su una superficie solida. La possibilità di distinguere la sua teoria statistica da quella di Bose-Einstein venne infatti individuata da Gentile nell’effetto fontana, un caso di applicazione del transfer effect.

§§§§

Giovanni Gentile, *Intermediate Statistics and the Properties of Liquid Helium*

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 19, No. 4, pages 109-125 (1942) •

Giovanni Gentile (1906-1942), son of the homonymous philosopher, graduated in Physics in 1927. He worked later in Rome with Fermi and Majorana, in Berlin with Schrödinger, and in Leipzig with Heisenberg. He was assistant professor in Pisa and professor of Theoretical Physics in Milan. He dealt with atomic physics, magnetism, and quantum statistics with the theorization of intermediate statistics.

Intermediate Statistics and the Properties of Liquid Helium. Already in 1940 Gentile had formulated a new quantum statistical theory – intermediate statistics – which went alongside the 1924 Bose-Einstein one for the study of blackbody radiation and the 1926 Fermi-Dirac one for the study of electrons in a metal. Gentile statistics was characterized as intermediate in that the maximum number of indistinguishable particles assignable to each

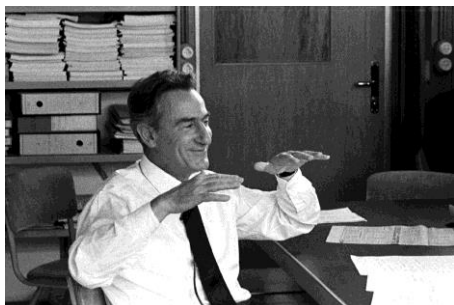
quantum state was any number between 1 (imposed on fermions by Pauli exclusion principle) and infinite (for bosons). Gentile had also formulated the theory of a hypothetical intermediate monatomic ideal gas as a possible application of his statistics, but in 1940 it still did not appear to be of any particular use.

In this article, published posthumously in 1942, Gentile proposed the application of the intermediate statistical theory to liquid helium II, assuming the number of helium atoms of the given sample as the maximum number of occupations. In 1924 Heike Kamerlingh Onnes, who was the first to liquefy helium in 1908, measured a density maximum at a 2.2 K temperature. In 1927 Willem Keesom and Mieczyslaw Wolfke realized that this was a phase transition temperature and called helium II the phase at a temperature lower than 2.2 K, the so-called lambda point. In 1937 Piotr Kapitsa discovered that helium II is a superfluid. Even more interesting, for the application of Gentile statistics, were the 1938 experiments by John Daunt and Kurt Mendelssohn on the transfer effect, that is the adhesion of a very thin film of helium II on a solid surface. The possibility of distinguishing his statistical theory from Bose-Einstein one was actually identified by Gentile in the fountain effect, a case of application of the transfer effect.

Gilberto Bernardini, Bernardo Nestore Cacciapuoti, Ettore Pancini, Oreste Piccioni, “Sulla vita media del mesotrone”

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 19, No. 3, pagine 69-99 (1942) ●

APPROFONDIMENTO



(B. N. Cacciapuoti da inserire)



Gilberto Bernardini (1906-1995) fu professore di Fisica superiore a Bologna, di Spettroscopia e di Fisica Generale a Roma. Fu il direttore della Scuola normale superiore di Pisa, del laboratorio della Testa Grigia, presidente dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, e direttore di ricerca del CERN. Si è occupato di fisica delle particelle elementari e di raggi cosmici.

Bernardo Nestore Cacciapuoti (1913-1979), studente della Scuola normale superiore di Pisa, si laureò in fisica nel 1936. Fu assistente di Segrè a Palermo e di Lo Surdo a Roma. Durante la guerra fu professore dell'Università Clandestina. Dopo la guerra fu professore a Trieste e Pisa. Ricoprì diversi incarichi presso istituzioni internazionali.

Ettore Pancini (1915-1981) si laureò in fisica nel 1938 con Bruno Rossi. Trasferitosi a Roma, divise le attività di ricerca con quelle militari e partigiane, per poi partecipare alle fasi finali degli esperimenti sulla misura della vita media del muone. Fu professore di Fisica sperimentale a Sassari, Genova e Napoli, direttore del laboratorio della Testa Grigia. Si è occupato di fisica delle particelle elementari e di raggi cosmici.

Oreste Piccioni (1915-2003) si laureò in fisica nel 1938 con Enrico Fermi. Partecipò ai fondamentali esperimenti del 1944-46 sulla misura della vita media del muone che dimostrarono come il muone non fosse il pione. Nel 1946 si trasferì negli Stati Uniti dove lavorò in diversi gruppi di ricerca in fisica delle particelle elementari.

“Sulla vita media del mesotrone”. L'articolo di Bernardini, Cacciapuoti, Pancini e Piccioni fa parte della serie di lavori sulle ricerche sperimentali sul mesotrone (oggi “muone”) condotte dai fisici romani negli anni della guerra e che culminarono con l'esperimento CPP (Conversi-Pancini-Piccioni) che dimostrò l'impossibilità di identificare il mesotrone con la particella mediatrice dell'interazione forte prevista da Hideki Yukawa (oggi “pione”). L'articolo presentava i risultati di misure condotte nell'inverno 1940-41 sulla vita media del mesotrone con contatori con e senza assorbitori posti in tre località a differenti quote: Roma, Cervinia e Plateau Rosà.

Lo studio degli sciame di raggi cosmici in atmosfera aveva portato a individuare particelle penetranti di difficile interpretazione. Nel 1937 Carl Anderson e Seth Neddermeyer annunciarono di aver trovato in laboratorio una particella di carica unitaria e massa intermedia tra quella dell'elettrone e quella del protone, da cui il nome mesotrone. Questa particella fu associata a quella prevista da Yukawa nel 1935, il quanto del campo di forza nucleare. In accordo con la previsione del decadimento della particella di Yukawa, si compirono diverse misure della vita media del mesotrone, un risultato utile per spiegare l'assorbimento anomalo dei raggi cosmici in atmosfera, tentando di compiere la misura anche in laboratorio. Il problema divenne uno dei temi più discussi nella fisica dei raggi cosmici dalla fine del 1938. Oltre alle misure condotte dal gruppo romano, diverse campagne di misura a diverse quote furono condotte da Bruno Rossi (a Chicago, Denver, Echo Lake e Mount Evans) e da vari fisici statunitensi.

Gilberto Bernardini, Bernardo Nestore Cacciapuoti, Ettore Pancini, Oreste Piccioni, On the Mesotron's Mean Life

Il Nuovo Cimento (1924-1942), volume 19, No. 3, pages 69-99 (1942) ●

Gilberto Bernardini (1906-1995) was professor of Superior Physics in Bologna, of Spectroscopy and of General Physics in Rome. He was the director of the Scuola Normale Superiore of Pisa, of the Testa Grigia laboratory, president of the National Institute of Nuclear Physics, and research director of CERN. He studied elementary particle physics and cosmic radiation.

Bernardo Nestore Cacciapuoti (1913-1979) was a student at the Scuola Normale Superiore of Pisa and graduated in Physics in 1936. He was Segrè's assistant in Palermo and Lo Surdo's in Rome. During the war he was a professor at the Clandestine University. After the war he was a professor in Trieste and Pisa. He held several positions at international institutions.

Ettore Pancini (1915-1981) graduated in Physics in 1938 with Bruno Rossi. He moved to Rome and shared his time between the research activities, the military duties and his activity as a partisan. He participated in the final stages of the experiments on the measurement of the average life of the muon. He was professor of Experimental Physics in Sassari, Genoa and Naples, director of the Testa Grigia laboratory. He studied elementary particle physics and cosmic radiation.

Oreste Piccioni (1915-2003) graduated in Physics in 1938 with Enrico Fermi. He participated in the 1944-46 fundamental experiments on the measurement of the average life of the muon, which showed that the muon was not the pion. In 1946 he moved to the United States where he worked in several research teams in elementary particle physics.

On the Mesotron's Mean Life. Bernardini, Cacciapuoti, Pancini and Piccioni's article is part of the series of works on experimental research on the mesotron (today "muon") made by the Roman physicists during the war and which culminated in the CPP experiment (Conversi-Pancini-Piccioni) which showed the impossibility of identifying the mesotron with the mediating particle of the strong interaction predicted by Hideki Yukawa (today "pion"). The article presented the results of the measurements made in the 1940-41 winter on the average life of the mesotron with counters, with and without absorbers, placed in three locations at different altitude: Rome, Cervinia, and Plateau Rosà.

The study of cosmic ray showers in the atmosphere had led to the identification of penetrating particles, which are difficult to interpret. In 1937 Carl Anderson and Seth Neddermeyer announced that they had found in the laboratory a particle of unitary charge and an intermediate mass between that of the electron and that of the proton, hence the name mesotron. This particle was associated with the one predicted by Yukawa in 1935, the quantum of the nuclear force field. In agreement with the prediction of the decay of Yukawa's particle, various measurements of the mesotron's average life were made. It was a useful result to explain the anomalous absorption of cosmic rays in the atmosphere. Therefore, they attempted to perform the measurement also in the laboratory. The problem became one of the most discussed topics in cosmic ray physics from the end of 1938. In addition to the measurements made by the Roman team, several measurement campaigns at different altitudes were made by Bruno Rossi (in Chicago, Denver, Echo Lake, and Mount Evans) and by several U.S. physicists.