

TESINA DI MATURITA'

anno scolastico

1980-'81

Titolo

L'INIZIO DEL NOSTRO SECOLO ; IL PROGRESSO NELLE SCIENZE FISICHE
DOVUTO ALLA MECCANICA QUANTISTICA NEI PRIMI TRENT'ANNI DEL '900.

redatta da ~~Andrea~~ Di Cicco, alunno del XXIV° LICEO SPERIMENTA-
LE, classe III triennio, sezione B.

PREMESSA METODOLOGICA

Esistono in generale due forme caratteristiche dell'attività umana: da una parte quella diretta alla sopravvivenza e al progresso materiale, che costituisce la 'sfera economica', dall'altra l'attività intellettuale e spirituale, che si esprime nelle produzioni scientifiche, filosofiche, artistiche.

Attività pratiche e teoriche costituiscono il quadro della 'civiltà' raggiunta da un popolo o da una nazione; il ruolo che assume la cultura è di primaria importanza per la circolazione e la formulazione delle idee, per il mantenimento della tradizione culturale e per rendere meno difficoltosa la vita comune.

L'influenza che l'attività pratica ha sulla cultura è evidente, in quanto essa ne è il rispecchiamento teorico; il problema è quindi vedere in che modo la cultura si collega alla storia economica e sociale.

Su questo problema esiste un vasto dibattito, ma indubbiamente le interpretazioni del problema più diffuse sono principalmente due: quella materialistica marxista e quella idealista.

Dal punto di vista marxista ogni intellettuale si ispira ai valori ed agli interessi della classe "dominante" in ogni singolo sistema economico; in pratica la cultura proviene direttamente dalla sfera del potere economico ed ogni ideologia rispecchia i valori dominanti del tempo. Dal punto di vista idealistico invece la cultura tende ad elevarsi al di sopra della situazione di fatto, è attività creativa distaccata dagli interessi po-

litici ed economici.

Il dibattito tra le due tendenze ha la sua punta massima quando prende in considerazione la scienza, intesa nel senso moderno di fisica a base sperimentale; lo scienziato procede nel suo lavoro condizionato da interessi economici o agisce in maniera del tutto disinteressata?

Certamente il bisogno economico non può andare oltre i limiti imposti dalle leggi naturali (oro dal piombo non si è mai riusciti ad averne) ma da sempre l'investigazione della natura corrisponde ad un'esigenza di dominio dell'ambiente, di protezione dagli imprevisti. Così la scienza non è stata mai disinteressata, ma sempre tesa ad ottenere risultati utili all'uomo: la nozione di "indipendenza" del lavoro scientifico è dovuta piuttosto al fatto che lo scienziato ha a che vedere con talune realtà fisiche dell'ambiente difficilmente ricollegabili alle esigenze della comunità.

Lo scienziato quindi non potrà "creare" mai una natura corrispondente ai desideri di quegli strati sociali a cui serve il lavoro scientifico, ma le scelte dei settori sui quali operare saranno sempre dettate da precise ragioni sociali, economiche, militari e politiche come dimostrano mille e mille esempi di progresso scientifico dovuto alle immediate necessità dell'industria o a causa di guerre, o teorizzazioni come quella di Darwin che riuscì ad intuire l'evoluzione delle specie grazie anche all'andamento progressivo ascendente del benessere sociale e della meccanizzazio-

ne sempre più perfezionata.

Un lavoro scientifico quindi è bene che prenda in considerazione anche la struttura storica nella quale la ricerca scientifica si è evoluta, per meglio comprendere il generale movimento di idee che ha portato a certe conclusioni.

PARTE I :

INTRODUZIONE STORICO

-CULTURALE GENERALE.

Il periodo storico 1900-1914: gli avvenimenti principali.

Il '900 inizia in un clima di generale ottimismo, dovuto in gran parte al benessere che l'industria stava portando nel mondo industrializzato, alla pace duratura che sembrava resistere in Europa, all'affermazione del sistema liberale che piano piano allargava la sfera dei diritti politici a tutti i cittadini.

Gli antagonismi nazionali sembravano essere confinati solo sul piano economico e non su quello militare e l'unica preoccupazione delle potenze dell'epoca era l'espansione imperialistica nei continenti sottosviluppati.

Anche l'antagonismo fra le classi sociali sembrava attenuarsi in concomitanza con la sconfitta dei tentativi reazionari e con l'accoglimento delle esigenze democratiche provenienti dalle classi fino ad allora escluse dalla vita politica.

L'affermazione dei sindacati e le riforme.

All'inizio del secolo il movimento operaio segue prevalentemente una direttrice marxista; questo attraverserà una crisi dovuta prima al sorgere del 'revisionismo' e poi ad infiltrazioni nazionalistiche.

E. Bernstein, teorico del revisionismo, sosteneva la necessità dell'adattamento del programma socialista alle condizioni reali esistenti e l'abbandono del "programma massimo" per trasformare le istituzioni

capitalistiche dall'interno, progressivamente.

Battuta questa linea nell'ambito dell'internazionale socialista, il revisionismo costituirà una propria corrente politica che si può ricollegare all'odierna socialdemocrazia ed ai labouristi inglesi.

Nonostante la spaccatura interna creata dal revisionismo, il movimento socialista si sviluppò fortemente nei primi anni del secolo, sia nelle città che nelle campagne e le organizzazioni sindacali ad esso collegate si svilupparono allo stesso modo fondendosi a livello nazionale in varie federazioni lavorative di tutta Europa: nel 1913 fu creata la federazione internazionale dei Sindacati.

Nello stesso tempo nacque ed acquisì rilevante importanza anche il sindacalismo cattolico, ma le correnti più democratiche furono duramente osteggiate dalle gerarchie ecclesiastiche.

L'affermazione dei sindacati e dei partiti socialisti europei determinò un accrescimento culturale e politico delle masse lavoratrici che andarono acquistando sempre maggior peso nella vita politica delle nazioni.

Il problema sociale diventò serio motivo di preoccupazione per i partiti liberisti, che dovettero intervenire direttamente con riforme abbandonando in parte quel patto di non interferenza con l'iniziativa privata ('laissez faire'). Questo era l'orientamento generale europeo anche se paesi come la Spagna o la Russia pre-rivoluzionaria mantenevano intatta l'egemonia della classe dominante sulle masse contadine povere e sfruttate. Soprattutto l'Inghilterra si fece portavoce di questa tendenza democratica emanando grandi riforme so-

ciali sugli infortuni, sulle pensioni e sui minimi salariali ed introducendo in seguito l'imposta progressiva sul reddito che favoriva le classi meno abbienti.

In Francia e in Germania le riforme sociali furono meno rilevanti anche a causa delle differenti realtà economico-politiche. I paesi scandinavi invece furono all'avanguardia con la concessione di riforme libertarie, la Svezia, per esempio, adottò il suffragio universale nel 1907.

Negli Stati Uniti la situazione era diversa per via della mancanza di forze socialiste nei sindacati e tra le forze politiche, ma sia durante il governo repubblicano che sotto quello democratico, si avviarono importanti riforme, culminanti con l'istituzione dell'imposta progressiva (sotto i democratici) e della legge anti-trusts.

Queste riforme avvicinarono le masse lavoratrici allo stato, ma dopo la crisi economica mondiale del 1907 l'azione riformatrice si fermerà sotto la pressione delle classi dirigenti; il crescere della tensione mondiale derivante dall'antagonismo tra le nazioni, che porterà alla 1° guerra mondiale, restringerà ulteriormente gli spazi d'azione del movimento operaio per far fronte all'immediato bisogno di riarmo e questo condurrà ad una serie di scioperi in tutta Europa duramente repressi nei paesi dove meno avanzata era la trasformazione democratica. Un altro fatto importante di questi anni è la nascita del movimento femminista (indice di una grossa spinta democratica), sviluppatosi in Inghilterra per acquisire il diritto di voto. L'agitazione, capeggiata da

Emmeline Pankhurst, fu spesso oggetto di repressione da parte delle autorità, ma venne rafforzata quando le femministe si collegarono con i sindacati operai e con i partiti socialisti. Le richieste non vennero accolte, ma intanto il movimento si era rafforzato; in Norvegia fu concesso il diritto di voto a tutte le donne con due leggi del 1907 e del 1915.

I nazionalisti

I conservatori, all'inizio del '900, potevano essere generalmente di due tipi: liberal-conservatori e conservatori nazionalisti. Questi ultimi opponevano alle nuove conquiste sociali un radicale disprezzo delle masse ed una concezione assolutistica del potere uniti ad un nazionalismo che ben poco aveva a che vedere con il nazionalismo liberal-democratico ottocentesco. Su queste basi sorsero movimenti di destra in Francia (Lega dei patrioti, "Action Française") che aderirono al culto della violenza e all'idea della lotta fra nazioni come strumento di progresso.

Esaltando la nazionalità e l'imperialismo essi sostenevano anche il razzismo e diedero il loro contributo per la discriminazione degli ebrei (sebbene il movimento sionista nasce in quel tempo nell'ambito di una prospettiva nazionalistica). Tutte queste componenti portarono a fare dell'esaltazione della guerra il punto fondamentale dell'ideologia nazionalistica e l'incontro tra conservatorismo, ideologia nazionalista ed imperialismo si manifestò nella nascita di una concreta forza politica

eversiva. Anche in Italia l'impronta del nazionalismo, nella sua forma più rozza ed antipopolare, si fece sentire; fu soprattutto attraverso l'opera di G. D'Annunzio che si diffusero gli ideali di un individualismo 'superiore' e di unione patriottica, che sfociarono poi anche in una tendenza imperialistica i cui risultati saranno ben poco favorevoli.

La situazione italiana.

Il personaggio a cui toccò prendere in mano le redini del governo dopo la sconfitta delle destre fu Giovanni Giolitti, liberale capace di capire i problemi delle classi lavoratrici. La società italiana era dominata da forti contraddizioni, sia a livello di squilibri sociali interni, sia per la grande differenza esistente tra il Nord industrialmente progredito ed il Sud arretrato ed agricolo.

Giolitti è quindi per le riforme, convinto della necessità di coinvolgere le masse popolari.

Egli è presidente del Consiglio nel 1903 (era stato ministro dell'interno nel 1901) e mantiene quest'incarico, con brevi interruzioni, fino al 1914; nonostante le sue tendenze democratiche, rendendosi conto della necessità di adattarsi alle circostanze, si serve anche dell'appoggio dei latifondisti del sud, cosa che influirà molto riguardo alla cattiva azione sul mezzogiorno attuata dal governo in quegli anni.

Nonostante queste pecche, ereditate dal trasformismo, l'obiettivo di Giolitti era quello di mantenere una maggioranza progressista formata da liberali e socialisti

che, nella sua ottica, dovevano seguire una politica riformista; in effetti il P.S.I. conduceva una linea riformista, autorevolmente rappresentata da Filippo Turati.

Durante gli scioperi del 1901-2 la posizione neutrale di Giolitti era stata giudicata positiva sia dai socialisti sia dalla borghesia industriale del nord (probabilmente danneggiata da eventuali repressioni) e dopo questa data si incominciarono a varare le prime riforme: tutela del lavoro, assicurazione contro gli infortuni, pensioni, assistenza agli emigrati e istituzione del Consiglio superiore del lavoro.

Questo era stato possibile grazie anche alla favorevole congiuntura economica che portò l'Italia sullo stesso piano dei paesi più potenti e il successo politico-economico che ne derivò fece scomparire le critiche dei liberalisti più intransigenti riguardo all'intervento statale nella società.

Intanto i socialisti, che erano stati invitati a far parte del governo e che avevano rifiutato (per non scontentare la loro 'base' elettorale), si trovarono pieni di contrasti interni con i massimalisti che premevano per una dura opposizione al governo e che, nel 1904, conquistarono la maggioranza al congresso; questo portò ad una serie di scioperi che Giolitti affrontò senza ricorrere alla forza indicando, una volta rifluita la contestazione, nuove elezioni. In questa consultazione elettorale i socialisti vennero seccamente sconfitti e la maggioranza governativa rafforzata; dopo un breve ministero Fortis-Sonnino, Giolitti tornò al potere (1906); dopo qualche tempo i riformisti riconquistarono la maggioranza del P.S.I..

Il nuovo governo affrontò la questione meridionale senza però approdare a buoni risultati: il tentativo di introdurre l'industria nel sud e contemporaneamente rafforzare l'agricoltura senza toccare gli interessi dei latifondisti non poteva condurre a miglioramenti di rilievo.

I meridionalisti di sinistra criticarono aspramente l'indirizzo del governo sostenendo che l'industria del nord aveva bisogno del "mercato" sottosviluppato del sud per continuare a sopravvivere, e criticarono lo stesso P.S.I. accusato di disinteresse rispetto alla questione meridionale.

Dopo il 1907, anno della grave crisi che colpì l'economia internazionale, la pressione degli industriali che volevano bloccare le riforme irrigidì i rapporti tra governo e P.S.I., le cui correnti anarco-sindacaliste (espulse dal partito nel 1908) andarono a promuovere uno sciopero generale che suscitò reazioni violente creando un clima favorevole alla reazione. Giolitti si dimise nel 1909, nel tentativo di introdurre l'imposta progressiva sul reddito, e dopo i ministeri Sonnino e Luzzati tornò al governo (1911) con un programma di rilancio delle riforme e di parziale accoglimento delle proposte colonialiste della destra.

Il punto centrale del capitolo riforme era il suffragio universale maschile (1912), a cui seguirono altre riforme fra cui una sull'istruzione elementare; nel 1911 fu dichiarata inoltre guerra alla Turchia per procedere all'occupazione della Libia, cosa che si rivelò più lunga e penosa del previsto; in questo modo Giolitti pensa-

va di accontentare le destre che invece mantennero un atteggiamento ostile al governo, pensando ad una svolta verso la loro parte; dall'altro lato, radicali e socialisti mantenevano una posizione contraria alla spedizione libica.

Ciò non di meno la guerra libica otteneva il consenso di larghi strati di opinione pubblica, dai nazionalisti (come D'Annunzio) agli anarco-sindacalisti che vedevano nella Libia una soluzione per la fame di terra dei contadini del sud. Il problema non era più tanto la guerra ma lo stesso governo ed il modo con il quale veniva condotta l'operazione bellica: quindi delusioni della destra per la debolezza dimostrata dall'esercito e nella sinistra, dove tra lo scontento generale ci fu il ritorno dei massimalisti alla maggioranza. Il governo, che nelle speranze di Giolitti doveva uscire rafforzato dalla guerra, ne usciva in realtà più debole che mai.

La vittoria che Giolitti ottenne nelle elezioni del 1913 fu in gran parte dovuta al 'patto Gentiloni', per mezzo del quale i cattolici si impegnavano a sostenere i liberali; la forte maggioranza liberale che si formò non era però più disponibile alle riforme e sebbene il P.S.I. avesse ottenuto un buon risultato (78 seggi) il compromesso tra socialisti riformisti e liberali era divenuto impossibile.

Giolitti pensò così di far designare come suo successore un conservatore, credendo che non sarebbe durato a lungo, ma Antonio Salandra, una volta designato nel 1914, ben si inserì nel mutato clima politico dove le divergenze tra liberali e socialisti diventavano sempre più evi-

denti: gli avvenimenti interni del 1914, fatti di scioperi e scontri con le autorità, inasprirono l'involuzione conservatrice fino a vertici repressivi ormai dimenticati.

Lo scoppio della I° guerra mondiale trasformerà questi scontri in una lotta politica pro o contro l'intervento italiano introducendo il paese in una delle sue fasi più drammatiche.

La grande guerra: periodo 1914-1918.

Il periodo precedente all'inizio della 1° guerra mondiale era stato abbastanza movimentato in tutto il mondo, grazie a vari tentativi rivoluzionari avvenuti in Russia, in Turchia ed in Cina ed a tensioni interne ed internazionali presenti un po' in tutti i paesi.

Il problema della guerra fu affrontato in maniera diversa dalle varie tendenze politiche ma in generale il consenso fu abbastanza ampio, dettato anche da una diffusa ostilità verso il regime liberal-riformista.

I socialisti, sebbene schierati per la pace, erano divisi tra le rivendicazioni delle varie nazioni e, internamente, tra massimalisti e riformisti; non erano comunque capaci di creare un movimento internazionale contro la guerra.

Alcune guerre scoppiate in Europa orientale aprirono definitivamente la strada alla possibilità di un conflitto internazionale.

La guerra scoppiò, ufficialmente, il 28 luglio 1914, un mese dopo l'assassinio dell'arciduca Francesco Ferdi-

nando d'Austria ad opera di studenti serbi.

La Russia si schierò dalla parte serba e poco dopo la Germania dichiarò guerra a Russia e Francia; anche l'Inghilterra (con Francia e Russia) e il Giappone (con Austria e Germania) entrarono presto in conflitto. Dopo che furono tentate operazioni veloci da ambo le parti la guerra diventò di 'posizione' impegnando così più duramente le nazioni nello sforzo bellico; si capì che la guerra sarebbe durata più a lungo del previsto.

Durante la fase iniziale del conflitto l'Italia si dichiarò neutrale; infatti nonostante il patto (triplice alleanza) che la legava ad Austria e Germania il modo con cui era cominciata la guerra non era stato conforme agli obblighi assunti. La maggioranza del paese era contraria all'intervento seppure per diverse ragioni: i cattolici soprattutto per ragioni morali, i socialisti perchè la consideravano (a nostro avviso giustamente) 'un affare tra borghesi' che condannava le masse proletarie al macello, i liberali perchè convinti che il problema delle terre irredente si poteva negoziare. A favore dell'intervento, oltre ovviamente ai nazionalisti ed ai conservatori (come lo stesso Salandra, presidente del consiglio), erano alcuni democratici che volevano il compimento finale del risorgimento e poi anche i sindacalisti rivoluzionari e alcuni socialisti (come Benito Mussolini, direttore dell'"Avanti!", subito espulso dal P.S.I.) mossi anche loro dal problema delle terre irredente.

Mentre in Italia infuriavano le polemiche il governo stipulò segretamente un patto (il 'patto di Londra' dell'aprile 1915) che in cambio dell'aiuto militare contro Austria e Germania, garantiva, in caso di vittoria, il

Trentino Alto-Adige, Trieste ed altri territori lungo la costa adriatica. Fatto questo, il governo appoggiò pienamente la campagna interventista che raggiunse presto toni intimidatori e piegò il parlamento ad accettare la riconferma di Salandra e la dichiarazione di guerra all'Austria (24 maggio 1915): l'entrata in guerra dell'Italia coincideva con la ripresa più forte dell'opposizione reazionaria al governo parlamentare.

La seconda parte del conflitto fu caratterizzata da una serie di fatti fondamentali: l'adesione che suscitò la proposta della corrente bolscevica (massimalista) del partito socialdemocratico russo di trasformare la guerra imperialista in rivoluzione popolare (che venne proposto con discreto successo a Kienthal durante una conferenza di socialisti pacifisti), il crollo della Russia dove i bolscevichi riuscirono ad assumere il controllo della situazione, l'intervento degli Stati Uniti.

L'intervento americano, dovuto a vari fattori di ordine economico, politico e ideale, si inserì in un grave momento per l'Inghilterra, messa in crisi dalla flotta dei sottomarini tedeschi, dando nuovo slancio all'offensiva dei paesi dell'Intesa (Francia etc.). Il crollo della Russia fu seguito oltre che dall'intervento americano anche da quello della Grecia e della Cina; Germania ed Austria nel tentativo di anticipare l'arrivo dei nuovi alleati produssero l'ultimo sforzo offensivo concentrandolo in Italia (Caporetto) dove dopo un successo iniziale cominciarono ad incontrare serie difficoltà, ed in Francia con lo stesso risultato; dopo pochi mesi l'esercito austro-germanico era in rotta su tutti i fronti e comin-

ciarono a susseguirsi le rese: prima della Bulgaria, poi dell'Austria ed infine della Germania dove una rivoluzione popolare cacciò l'imperatore proclamando la repubblica.

Terminava così la 1° guerra mondiale, costata più di 10 milioni di morti che lasciava l'Europa con problemi di ricostruzione civile e morale e che apriva la strada ad una perdita della supremazia economico-politica del vecchio continente sul mondo, lasciando spazio alla nuova potenza nascente, gli Stati Uniti, e alla futura potenza, l'Unione Sovietica.

La spartizione delle terre e le condizioni della pace si svolsero senza la partecipazione dei paesi vinti e solo U.S.A., Gran Bretagna, Francia e Italia ebbero un reale potere decisionale; la Germania fu punita duramente perchè considerata maggiore responsabile del conflitto, l'Austria si ridimensionò considerevolmente con la creazione del regno d'Ungheria, della Jugoslavia e con la cessione di territori alla Polonia ed alla Romania. All'Italia vennero assegnati il Trentino Alto-Adige e Trieste con l'Istria ma la contemporanea creazione dello stato Jugoslavo rese impossibile l'acquisizione della Dalmazia.

Dopo che gruppi nazionalisti ebbero occupato Fiume la questione fu regolata con un trattato che riconosceva l'autorità Jugoslava sulla Dalmazia a parte le città di Zara e Fiume (trattato di Rapallo).

Cenni sulla rivoluzione russa.

La rivoluzione socialista avrebbe dovuto realizzarsi in un paese industrialmente avanzato, dove lo svilup-

po capitalista fosse al massimo livello. Questo, nel pensiero di Marx, perchè l'estensione delle industrie avrebbe creato maggiore coscienza sociale nelle afforzate masse proletarie.

In realtà, com'è dimostrato dalla rivoluzione russa, il socialismo si è realizzato in uno tra i paesi meno progrediti del mondo: la Russia zarista; in Russia si passò infatti da un regime semi-feudale agricolo all'esperienza bolscevica senza essere passati per il regime liberale. Lo stesso successo della rivoluzione russa fu dovuto all'arretratezza anacronistica della Russia che esasperò le masse contadine e il primo proletariato operaio (alcuni complessi industriali erano stati costruiti a Pietroburgo, Mosca, Kiev) durante la crisi della grande guerra.

Dopo la prima rivoluzione del 1905 non era cambiato niente poichè il parlamento non aveva il potere decisionale e la riforma agraria tanto attesa tentava di dare più forza all'iniziativa privata disturbando le nascenti comuni agricole. Milioni di contadini poveri andarono incontro alla disoccupazione ed allo sfruttamento, data la scarsa disponibilità della nascente industria; la riforma non conseguì l'obbiettivo che si era prefissata, anche per l'ingresso in guerra della Russia, ma anzi favorì la diffusione di idee rivoluzionarie.

La Russia entrava in guerra povera e impreparata e così dopo un periodo di incredibile povertà avvenne la rivoluzione di Febbraio, di tendenza liberal-riformista, che vedeva anche come ministro della giustizia un socialista (Kerenskij), mentre i Soviet (consigli elettivi di

zona), composti in maggioranza da menscevichi e socialisti-rivoluzionari appoggiavano il governo.

Lentamente i bolscevichi riuscirono ad acquisire una maggiore importanza e approfittando della svolta reazionaria che aveva compiuto il nuovo governo si garantirono la maggioranza nei soviet e dopo alterne vicende di lotta politica i capi del movimento bolscevico, Lenin e Trockij, guidarono l'insurrezione che portò rapidamente al potere i comunisti in Russia, destinata a diventare in breve tempo l'Unione delle Repubbliche Socialiste Sovietiche.

Il dopoguerra ed il fascismo in Italia: periodo
1918-1930.

Il problema maggiore che si doveva affrontare all'indomani della grande guerra era ancora la questione meridionale: lo sviluppo economico aveva accentuato i contrasti interni esistenti tra Nord e Sud; la guerra infatti aveva avuto bisogno di un immane sforzo produttivo che aveva definitivamente legato l'industria del Nord allo stato creando un'interdipendenza che non poteva tener conto degli interessi del meridione. I contrasti non erano quindi solo tra classi sociali ma anche tra le stesse classi dirigenti del paese.

Oltretutto nel corso della guerra si era ulteriormente accentuata quella tendenza autoritaria di cui si è già accennato, operando ^{censure} sulla stampa e vigilando sulle attività politiche; nonostante questo la guerra aveva portato maggiore coscienza politica alle masse che iniziarono a manifestare il loro malessere per le condizioni so-

ciali: le due confederazioni del lavoro (una socialista ed una cattolica) aumentarono grandemente il numero degli iscritti ed iniziarono scioperi ed occupazioni di terre.

Contemporaneamente l'opinione pubblica italiana risentì molto della non acquisizione delle terre dalmate e questo aiutò la diffusione di un risentimento nazionalista verso gli alleati e verso il governo.

In tutto questo movimento di idee che c'è nel dopoguerra, si colloca la fondazione del Partito Popolare fatto da Don Sturzo; in questo modo i cattolici entrarono nella scena politica dopo anni di quasi-astensionismo (in realtà cattolici furono eletti fin dal 1904); la prima conquista del Partito Popolare fu la riforma elettorale che passò dal sistema uninominale a quello proporzionale. In questo modo la lotta elettorale non era tra singole personalità ma tra liste di partito, annullando così il fenomeno del trasformismo che prevedeva le formazioni di maggioranze politicamente non omogenee.

Le elezioni del 1919 videro un grande successo del partito popolare e del P.S.I. che era peraltro travagliato dalla solita spaccatura interna tra massimalisti e riformisti; da notare che nel 1919 sorse, per iniziativa di Antonio Gramsci, la rivista "Ordine Nuovo" le cui idee si ricollegavano a quelle che hanno ispirato la rivoluzione bolscevica. Così nel 1921 una parte della corrente massimalista guidata da Gramsci e Bordiga, diede vita al Partito Comunista Italiano, altra grossa novità del panorama politico nazionale.

Nel 1919 era sorta, purtroppo, un'altra novità: gra-

12

zie all'opera di Benito Mussolini si costituì il movimento fascista divenuto poi partito nel 1921, movimento che aveva caratteri antiborghesi e nazionalistici e che assunse presto (anche se con metodi terroristici) un ruolo di primo piano nella lotta politica italiana.

Prima delle elezioni del '19 ci fu un ministero sostanzialmente rispettoso della democrazia vigente guidato da F.S.Nitti, osteggiato dalle destre e comunque debolissimo; le elezioni del 1919 videro un assottigliamento della rappresentanza liberale ed un suo conseguente spostamento verso posizioni conservatrici, ma alcuni liberali come Giolitti non si allinearono con questa tendenza e rimasero convinti della politica delle riforme.

Così il governo fu affidato a Giolitti nella speranza che venissero sanate le contraddizioni politico-economiche italiane; si concluse così il trattato di Rapallo, sgomberando la città di Fiume dai nazionalisti dannunziani, e fu placata anche la contestazione operaia senza intervenire con la forza ma realizzando un accordo tra le parti. La crisi del 1921 rese però vani gli sforzi di Giolitti creandò malumore tra i ceti abbienti, aggravati da nuovi carichi fiscali, e anche tra la povera gente.

Iniziò così il fenomeno della squadrista fascista, vero e proprio terrorismo che mirava a distruggere il movimento operaio, interpretando la volontà politica della classe dirigente; l'offensiva reazionaria si scatenò nella maniera peggiore: assassini, distruzioni di sedi di partito e giornali, spedizioni punitive. Il movimento, sostenuto e finanziato soprattutto dalla borghesia agraria, iniziò a stroncare le conquiste delle lotte dei la-

voratori e le organizzazioni sindacali; ma il fatto nuovo e più importante fu l'appoggio che il fascismo ebbe dai liberali: essi, convinti che si trattasse solamente di sfruttare un utile e passeggero strumento di repressione, non si resero conto del suo potenziale distruttivo anche nei confronti dello stesso stato liberale.

Alle elezioni del 1921 cattolici e socialisti mantennero le stesse posizioni del '19 ma i liberali non riuscirono ad assicurarsi la maggioranza; i fascisti conseguirono un modesto risultato.

Sebbene rappresentate in parlamento, le forze democratiche non erano più in grado di muoversi nel paese perchè sia i fascisti che il nuovo governo Bonomi reprimevano duramente ogni tentativo di risollevarlo dell'opposizione popolare; in questo clima il fascismo acquistò rispettabilità, tanto che lo stesso PIO XI mostrò il suo appoggio a quel movimento togliendolo ai popolari.

I socialisti intanto si vedevano ulteriormente divisi dalla scissione riformista di G. Matteotti. Nel 1922 i fascisti preparavano e attuavano la cosiddetta "marcia su Roma"; il re probabilmente già a conoscenza del fatto, rifiutò di difendere la capitale e offrì invece a Mussolini la presidenza del consiglio (28 ottobre).

Il governo comunque manteneva un'apparente legalità essendo formato da fascisti, liberali e popolari e seguì una politica liberalista nettamente contraria alle classi lavoratrici; questo fino al 1924 quando la congiuntura economica tornò ad essere favorevole.

Mussolini pensò che era il momento giusto per una ulteriore svolta reazionaria e svuotò il parlamento di ogni

autorità, per garantire che il potere restasse saldamente nelle sue mani: ridusse le attività sindacali, le libertà di stampa e le concessioni alle altre forze politiche della maggioranza, indisse nuove elezioni approvando una legge che assicurava la maggioranza a fascisti e conservatori.

Alla prima riunione della camera Matteotti (deputato socialista) denunciò le illegalità compiute nel corso della consultazione ma venne ucciso pochi giorni dopo da sicari fascisti.

Il regime fascista, messo in crisi dalle proteste dell'opposizione parlamentare e del paese, reagì con severe misure liberticide che culminarono con il nuovo ordinamento statale dove la maggiorparte dei poteri era conferito al "duce" ed ai suoi sottoposti.

Il tribunale speciale per la difesa dello Stato cominciò a perseguire gli oppositori del regime fra i quali molti emigrarono all'estero ed alcuni, come Gramsci, restarono in Italia e furono condannati.

Il regime fascista si differenziò presto da quello liberale, esaltando il corporativismo come momento di contatto tra iniziativa privata e benessere comune.

La "carta del lavoro" che univa - eliminando così il concetto di "lotta di classe" - tramite le corporazioni padroni ed operai (che erano stati nel frattempo privati dei più elementari diritti di associazione e di sciopero) lasciava in realtà il capitale libero di agire senza salvaguardare affatto gli interessi di stato. Questo avvenne per esempio nel caso delle grandi bonifiche, dove gli interessi dei grandi proprietari non furono toccati sebbene questi si fossero dimostrati incapaci di gestire

le terre.

Il protezionismo nei confronti dell'industria fu spinto fino all'"autarchia", ma il governo non riuscì mai a conciliare gli interessi di stato, generali, con quelli capitalistici; con la crisi del '29 ci fu un certo fermento che obbligò Mussolini a mantenere una politica più forte che si indirizzò per soprattutto verso l'estero.

Una delle cose più importanti che il fascismo seppe ottenere prima del '30 per rafforzare il regime furono i "patti lateranensi", firmati l'11 febbraio del 1929, dove venne riconosciuta l'autorità della chiesa sulla città del Vaticano e pagato un indennizzo per gli espropri fatti durante l'unificazione. Il concordato regola alcuni aspetti del rapporto tra Stato e Chiesa come il matrimonio, l'insegnamento della religione, la negazione di alcuni diritti civili a sacerdoti non in regola con il Vaticano.

Questa 'conciliazione' con il regime dittatoriale fascista (malvista dai cattolici più democratici e dai laici) rafforzò molto il favore verso lo stato stesso, e stesso effetto ebbe l'attività anti-sovietica operata da Mussolini, condivisa dalla maggioranza delle nazioni occidentali. A niente valsero le opposizioni autorevoli al regime come quella di Benedetto Croce, il fascismo continuò su quella strada, apparentemente innocua, che porterà invece ad una delle più grandi tragedie della storia dell'umanità: la II° Guerra Mondiale.

PANORAMICA CULTURALE (1900-1930)

Cenni sulla filosofia.

Alla fine dell'800 assistiamo al rapido declino del'positivismo; modello filosofico che si era imposto nella seconda metà dell'800.

I positivisti identificarono scienza e filosofia, considerando il metodo scientifico l'unico adatto per la conoscenza ed applicandolo indistintamente sulla natura e sull'uomo; inutile dire che anche questa posizione era una conseguenza dell'interesse destatosi per la scienza in una società avviata alla meccanizzazione industriale.

I limiti dell'applicazione del metodo scientifico all'attività umana erano presto risultati evidenti: ridurre l'uomo ad una macchina, seppur complessa, non era né realistico né accettabile. In questo modo sorsero nell'ultimo scorcio di secolo filosofie che cercavano di mettere in risalto l'attività umana, autonoma nei confronti della natura.

Marx criticherà ampiamente l'ideologia sociale positivista, che tentando di pacificare tutti i contrasti con il progresso materiale delle macchine, dei mezzi di comunicazione e della ricchezza in generale, si disinteressava completamente della condizione della classi lavoratrici. Gli operai, infatti, usufruivano nella maniera peggiore dello sviluppo delle forze produttive, che nell'ambito di una società capitalistica, contribuiva solo a rendere più profondo lo squilibrio sociale.

Nietzsche, inserendosi sempre nella polemica tra

legge meccanica e libera iniziativa umana, giungerà a considerare il vero stato di natura dell'uomo come puro irrazionalismo ('dionisiaco'), perduto fin dai tempi dell'antica Grecia ma da recuperare per vivere liberamente la propria vita.

Per Nietzsche non esiste né Dio, né progresso, né morale, perchè produzioni concettuali della società razionalistica occidentale ; l'uomo sarà così valorizzato da essere considerato un "superuomo" dominatore con una suprema volontà di potenza istintuale che non deve distinguere tra i tradizionali valori morali della società ('bene' e 'male').

Freud invece è lo scienziato che per primo compie un'analisi dell'attività psichica dell'uomo, interpretando i disturbi comportamentali come frutto di disordini interiori dovuti allo scarso adattamento dell'uomo alle regole imposte dalla società industriale. In questo senso affermerà che gli uomini 'mascherano' il proprio istinto e che alla base anche degli atteggiamenti conformi al modello sociale ci sono repressioni, sensi di colpa, ossessioni, pulsioni sessuali; nonostante la scientificità del discorso freudiano, esso si ricollega abbastanza agevolmente con le correnti irrazionaliste, ponendo alla base dell'attività umana l'istintualità e l'"eros" che, repressi, sono la causa del disagio della civiltà.

Vediamo quindi come la crisi del positivismo dia luogo ad una quantità di nuove tendenze che non si possono dire molto omogenee: l'inizio del '900 sarà così caratterizzato proprio dal pullulare contemporaneo di

varie filosofie, anche contrapposte, cosa che non era mai avvenuta nella storia. La crisi del sistema liberista (incapace di autoregolarsi), accompagnata dal declino del positivismo, darà quindi luogo a due diversi risultati: da una parte una ^{nuova} concezione della scienza, dall'altra il rifiuto di ogni sistemazione scientifica razionale della realtà: neo-idealisti e spiritualisti negheranno alla scienza la possibilità stessa della conoscenza, mentre pragmatisti, storicisti^e soprattutto epistemologi tenteranno in parte di rifondare le basi della conoscenza scientifica.

Per una 'filosofia della scienza'.

Una filosofia della scienza è direttamente connessa ai fisici dell'epoca, convinti che l'indagine scientifica non può essere disgiunta da un particolare modo di interpretare il meccanismo universale. In questo senso si inserisce il 'fenomenismo' di Mach (cfr. cap. 1° parte 2) che tiene conto della 'relatività' della scienza in rapporto alla sua dipendenza dai sensi e dalla psiche umana. La crisi del meccanicismo, di cui si parlerà ampiamente più tardi, è strettamente connessa con la nascita dell'epistemologia, visto che erano stati messi in discussione i metodi scientifici e le stesse leggi del moto.

Anche nel 'fenomenismo' quindi la conoscenza è superficiale e dipendente dalle relazioni che la psiche umana crea; utilizzando queste nozioni il neo-idealismo giungerà a sostenere l'immutabilità delle facoltà di conoscenza del pensiero umano e anche il 'convenzionalismo' epistemologico dichiarerà la pura convenzionalità del sa

pere scientifico. Nessuno quindi potrà dire qualcosa sulla realtà della natura ma solo sui nomi che l'uomo ha dato alle cose e la conoscenza dovrà quindi essere un'analisi dei modi del conoscere umano.

Nell'area del 'convenzionalismo' si colloca Poincaré, che cerca di ridare alla filosofia il compito di verificare e interpretare il dato scientifico; egli parte dall'assunto che sia l'aritmetica che la geometria sono creazioni 'convenzionali' della mente umana, e che anche le leggi sono non solo 'convenzionali' ma anche basate su un certo calcolo delle probabilità rispetto alla generalizzazione del fenomeno. In pieno contrasto con l'idealismo (che sosteneva la 'creazione' infondata del dato scientifico) per Poincaré il fatto è reale, è osservato e compreso con il linguaggio; quindi la convenzionalità scientifica non è un limite ma un pregio e garantisce lo scambio dei dati. Il limite, secondo Poincaré, (influenzato da certa filosofia anti-scientifica e da Bergson), sta nel fatto che il sapere scientifico consiste solo di relazioni tra fenomeni e che l'indagine sull'essenza del fenomeno (per esempio, cos'è il calore?) è campo d'azione della filosofia e non potrà esserlo della scienza.

In quest'ambito si muove la scuola dell'empirismo logico (neo-positivismo), che nasce a Vienna ad opera di un gruppo di epistemologi (come Gödel, Carnap, Neurath, Schlick) che fondano dal 1926 una propria corrente filosofica con intenti teorici comuni. Essi si ispiravano soprattutto al pensiero di Mach (ma anche alle nascenti teorie di Wittgenstein e di Popper); la scienza, per i neo-positivisti, è ormai solo il contatto tra potenzia-

lità cognitiva umana e realtà fisica, è, in pratica, il linguaggio verbale o matematico per mezzo del quale l'uomo comunica le sue conoscenze.

I mezzi che sfrutta l'uomo per indagare la natura esterna non sono più a-prioristici, poichè, con le nuove scoperte si è dimostrato che anche i metodi scientifici possono portare a sbagliare e possono essere modificati (teoria dei Quanti di Planck e Relatività di Einstein). Infatti se il lavoro mentale che indaga sulla natura potesse osservarla solo con un certo tipo di metodo, insito nel meccanismo tipico a-prioristico, si potrebbe avere solo un aumento delle nozioni da acquisire senza però poter modificare mai i fondamenti teorici, mentre i cambiamenti radicali avvenuti nei primi trent'anni del '900 dimostrano che la scienza è sempre e solo un incontro tra realtà e soggettività umana, un fatto indubbiamente a-posteriori.

Le formule matematiche e le frasi che inquadrano un fenomeno sono quindi la ricostruzione abbreviata del processo cognitivo che è l'operazione compiuta dallo scienziato sul fenomeno e viceversa.

Questa nuova impostazione del processo della conoscenza riconosce quindi i limiti della scienza umana dove la ragione può solo registrare (e non giudicare) il fenomeno, ma nello stesso tempo non ripara dal pericolo di un 'soggettivismo' della conoscenza; questo pericolo viene fugato (secondo Carnap) dalla verifica da compiere sul linguaggio: le frasi, i singoli termini, i periodi devono essere tali da non contraddirsi l'uno con l'altro. La "cosa in sè" non interessa più, interessa invece la

verifica della non-contraddittorietà delle leggi.

Fino al 1930 quindi c'è stato un grosso fermento filosofico che ha fatto compiere grossi passi avanti alla critica ed alla filosofia della scienza, dovuto in grossa parte alla vera e propria rivoluzione che è avvenuta nel campo della fisica; le conclusioni più interessanti, naturalmente, si sono avute più tardi con le opere di Popper, Bachelard ed altri meno importanti; anche Cassirer e De Saussure completano il quadro nel campo del linguaggio, ma comunque sono tutte cose che esulano dalla nostra trattazione. Parlando del nostro problema specifico, che è lo sviluppo della meccanica quantistica, il dibattito c'è stato soprattutto negli ultimi anni ma le conclusioni non sembrano certo definitive: il problema teorico è ancora da risolvere.

Cenni di cultura letteraria

Anche in letteratura, come nella scienza e nella filosofia, il '900 porta grosse novità. A livello di letteratura italiana le prime novità vennero da Gabriele D'Annunzio; il 'fenomeno' D'Annunzio non fu puramente letterario: i suoi atteggiamenti e la sua carica vitale restarono famosi in Italia e nel mondo per molto tempo.

La lettura di Nietzsche (dal quale riprese però solo certe tematiche) lo portò ad accettare, inserendolo nelle sue opere, ed a personificare addirittura, il modello del "superuomo", così la sua influenza si estese, con effetti talvolta clamorosi, nella vita politica e sociale del paese; in realtà in campo letterario, dove dimostrò quasi solamente un'ottima tecnica e qualche spunto intelligente, non ebbe praticamente seguito ma anzi le maggio

ri correnti e ^{gli} autori dell'epoca dimostrarono ostilità e rifiuto alle influenze dannunziane. Il suo "superuomo", così velleitario, influenzò molto di più gli scontenti della borghesia media italiana che vi ritrovavano i loro 'sogni' proibiti di potenza, di dominio, di lusso, di coraggio e di sfrenato nazionalismo.

Questa tendenza alla riaffermazione violenta di sé, comunque, si inserisce sempre come reazione alla frustrazione, alla sconfitta di quella parte di borghesia esclusa dalla classe dominante che produsse per la maggior parte della produzione letteraria dell'epoca.

Meno vistosa ma più collegata con aspetti sociali e culturali dell'epoca è la poesia di G. Pascoli.

Durante una vita tormentosa, che lo vede partecipare, tra l'altro, a moti anarchici (il conseguente arresto aumentò il suo pessimismo e diminuì la sua attività politica), elaborò la cosiddetta 'poetica del fanciullino'.

Secondo Pascoli il poeta coincide con il 'fanciullo' che è dentro di noi - quindi ricerca anche nei ricordi infantili - che ci porta a guardare ogni cosa come se fosse la prima volta, spontaneamente ed intuitivamente; il ricordo dell'infanzia oltre ad essere un modo per vedere puramente (e poeticamente) la realtà è anche un modo per sfuggire al caos e le contraddizioni della società moderna, al predominio delle cose sull'uomo.

In Europa l'inizio del '900 vede come protagonista il grande romanzo, che sarà il tipico prodotto della mente dei grandi scrittori che escono fuori in questi anni: Kafka, Proust, Joyce, Svevo.

Franz Kafka, nato a Praga, è l'autore della famosa triade di romanzi intitolati 'America', 'Il progresso', 'Il castello' e di numerosi racconti (tra cui "La metamor-

fosi") in cui il tema centrale è la solitudine dell'individuo e il suo rapporto con la società. L'uomo desidera l'amore degli altri e per gli altri ma la società, il potere repressivo legano questo sentimento come fosse una colpa: la natura e la società nei romanzi kafkiani, scritti con stile lucido e regolare, sono impenetrabili e misteriose; l'uomo è impotente di fronte a questo potere occulto e finisce per soccombere al suo volere senza possibilità di scampo.

In questo tormentato autore, stroncato prematuramente dalla tubercolosi, si può vedere il problema dell'angoscia dell'individuo nella società moderna.

Marcel Proust, francese, scrive nel periodo in cui l'incertezza in forme di conoscenza oggettive è massima, così nella sua "Ricerca del tempo perduto" (sette titoli per quindici volumi) egli non adotta più un procedimento narrativo che ricostruisca il "tempo perduto" (passato) nella maniera tradizionale, particolareggiata e continua, ma tramite la tecnica che egli stesso chiama "intermittenza del cuore" che, sfruttando la vivacità occasionale di uno specifico ricordo (vedi l'episodio del sapore del biscotto in "La strada di Swann"), permette una ricognizione più illuminante di fatti ed episodi passati che vengono così pienamente rivissuti e non solo ricordati.

Un altro audace rinnovatore delle tecniche letterarie è l'irlandese James Joyce, autore del famoso 'Ulisse' (oltre che dei 'Dubliners', di "A portrait of the artist as a young man", e di "Finnegans wake"). Il testo dell'Ulisse rappresenta, in più di mille pagine, una sola giornata

di una persona apparentemente insignificante -L. Bloom - che compie azioni del tutto normali; la giornata di Bloom non è una storia, ma è il flusso ininterrotto di pensieri, di sensazioni che egli e gli altri due personaggi provano nel corso della giornata.

Questo "stream of consciousness" (flusso di coscienza) porta ad una rivoluzione sia della tecnica narrativa (Joyce usa indifferentemente linguaggio aulico, parodia, gergo) sia dell'argomento narrativo, indagando l'intimo della personalità umana attraverso l'analisi di tutti gli accadimenti interni ed esterni della persona.

Vediamo in Joyce più che in Proust l'influenza della psicoanalisi freudiana e tramite l'uso di questa analisi introspettiva l'antieroe per eccellenza, Bloom, diventa interessante come il grandioso 'Ulisse'.

Il romanziere italiano (acquisito dall'Austria dopo la guerra, dato che era triestino) Italo Svevo, dopo vari tentativi letterari sfortunati, scrive nel 1923 "La coscienza di Zeno", primo romanzo specificatamente psicologico che si può porre accanto ai grandi romanzi dei suoi contemporanei europei.

Zeno Cosini vuole assolutamente smettere di fumare, ma ogni tipo di cura che fa fallire inesorabilmente a causa della sua scarsa volontà; anche l'intervento della psicoanalisi non giova, perchè Zeno finge di credere alle conclusioni del medico. Zeno è 'inguaribile', perchè la sua insoddisfazione di borghese non mediocre non ha ragioni fisiche ma psicologiche che deve trovare e guarire da solo; Svevo si dimostra così critico attento della

psicoanalisi freudiana senza però abbandonare il 'motivo' psicologico.

I letterati citati fino a questo momento sono senz'altro i rappresentanti delle tendenze più durature ed interessanti del momento; altre correnti anche più fortunate sul piano della notorietà sono rappresentate da vari movimenti rinnovatori, quando non iconoclasti, di cui quello più importante è il "futurismo". Il "futurismo" mette al centro della ricerca artistica l'energia (ricordiamo che nello stesso periodo in fisica assume un'importanza fondamentale) e il movimento; i futuristi conseguirono i migliori risultati nelle arti figurative; in letteratura invece le sperimentazioni di Marinetti e compagni, sebbene molto avanzate, ebbero scarsa rilevanza.

Il futurismo comunque grazie alla carica di aggressività verso ogni tipo di tradizione e contro il passato aprì la strada a tutte le tendenze più radicalmente rinnovatrici in ogni campo dell'arte, dimostrando così di aver avuto un cospicuo valore storico e, specie nelle arti figurative, anche artistico.

Naturalmente l'esame della cultura letteraria del tempo non dovrebbe fermarsi qua, visto che nei primi trent'anni del '900 si susseguono molte tendenze e molti fatti nuovi; le citazioni che abbiamo fatto ci sembrano però sufficienti a dare un quadro generale della situazione: scendere in particolari più approfonditi, sia in campo filosofico che letterario, significherebbe appesantire troppo la nostra trattazione, incentrata soprattutto sullo sviluppo della teoria fisica dei Quanti.

PARTE II:

NASCITA E SVILUPPO DEL-
LA MECCANICA QUANTISTICA.

- CAPITOLO I -

Antecedenti, crisi della fisica classica, nascita della meccanica quantistica.

La crisi del meccanicismo.

Tra la fine dell'ottocento e i primi del novecento assistiamo alla crisi dei presupposti su cui si basava la fisica classica, da Galileo e Newton in poi.

Il metodo galileano si fondava principalmente sugli 'esperimenti', quindi sulle riproduzioni controllate dei fenomeni, eseguite nel laboratorio del fisico; al fenomeno venivano applicate misurazioni che permettevano di rappresentarlo sotto forma di formule matematiche.

Il fenomeno era quindi visto in maniera meccanica e determinata e alla rivelazione dei 'dati' sperimentali si associava automaticamente la previsione delle successive modificazioni del fenomeno osservato.

Il fine è dunque utilitaristico: riuscire a tradurre quei dati in tecnica, in operazioni possibili (anche per lo sfruttamento del fenomeno osservato). Tutto ciò che è stato misurato e osservato è la realtà dei fenomeni osservati, un patrimonio di conoscenze incontestabile e destinato alla crescita; tutto si può aggiungere ma niente si può modificare. Nel modello meccanicistico di una legge (o 'invariante') le forze e le grandezze in gioco sono interdipendenti; spazio e tempo, considerati teoricamente infiniti, sono il 'luogo' dove il fenomeno avviene e dove si estendono le previsioni della legge, essi non dipendono da niente, sono semplicemente le dimensioni in cui l'uomo 'legge' i fenomeni (Kant).

Ciò appare essenzialmente connesso con la necessità che ha una società già basata sulle macchine di prevedere l'andamento dei fenomeni.

Inoltre il criterio dell'interdipendenza dei fenomeni contiene in sé il principio della "causalità": infatti se un fenomeno condiziona un altro significa che è la causa del cambiamento; il nuovo fenomeno sarà l'effetto dell'azione reciproca di altri fenomeni. Nella catena ininterrotta di trasformazioni che sono la storia fisica dell'ambiente non c'è fenomeno che non abbia una causa precedente e che non sia esso stesso causa di una nuova modificazione. Il principio di "causalità" diventa quindi fondamentale per la conoscenza sia del futuro che del passato.

Il fatto che togliendo la causa del fenomeno si suppone che esso ritorni allo stato primitivo introduce il concetto di "reversibilità" dei fenomeni fisici, una nozione applicata specialmente nel campo chimico ma generalmente accettata nell'assunto: "nulla si crea, nulla si distrugge".

L'impulso al cambiamento, alla ricerca scientifica, venne naturalmente dall'industria; il maggiore salto qualitativo si opera però quando vennero introdotte nell'uso fonti di energia non umane: la prima in ordine di tempo è il vapore. Per rendere quest'energia competitiva (a livello di costi) con quella umana o animale tradizionale, iniziarono studi particolareggiati sul calore; vennero immediatamente superate le arcaiche concezioni che consideravano il calore come 'fluido' indistruttibile che si trasmetteva tra i corpi: risultò infatti subito la non

reversibilità del processo calorico, infatti il calore passa sempre da un corpo più caldo a uno più freddo e non viceversa, ed in secondo luogo grazie agli studi di Thomson, Clausius e Maxwell il calore risultò associato alla mobilità delle molecole del corpo considerato, alla sua "agitazione termica".

Nacque così il metodo statistico - di Maxwell e Boltzmann - che introduceva il calcolo delle probabilità per stabilire l'energia cinetica media delle molecole in rapporto alla temperatura del corpo considerato.

Quindi alcuni principi fondamentali del meccanicismo come la reversibilità dei fenomeni (o rispetto alla nuova teoria dell'entropia, il "nulla si crea, nulla si distrugge") erano stati messi in crisi e lo stesso concetto di energia, prima considerato solo negli aspetti di 'forza d'urto' (dov'è più facilmente intuibile) o addirittura come 'forza viva' divina immessa nel mondo sensibile, era soggetto ad una piccola rivoluzione: il moto interno degli stessi solidi (molecole che posseggono energia cinetica) aveva creato un grosso interesse sia rispetto al rapporto massa-energia sia rispetto alle particelle microscopiche che sembravano 'produrre' il calore, aprendo così la strada a nuovi modi di pensare. Intanto il mondo industriale premeva anche in un'altra direzione: l'elettricità.

L'esperimento di Oersted (1820) aveva già dimostrato che il passaggio di corrente in una spira di rame circolare influenza un ago magnetico posto all'interno del cerchio prodotto dalla spira stessa, facendolo disporre su di un piano perpendicolare a quello della spira.

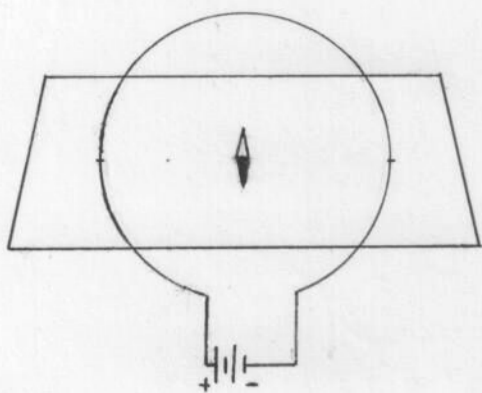


Figura 1(Parte II):

L'esperimento di Oersted; la corrente che passa attraverso la spira orienta l'ago magnetizzato in senso perpendicolare al piano individuato dalla spira stessa.

Il contrasto con il principio Newtoniano secondo cui le masse possono interagire tra loro unicamente in linea retta fra le loro distanze era piuttosto evidente.

Maxwell (1831-1879) formulò nel "Trattato di elettricità e magnetismo" (1873) la convinzione che i fenomeni da lui osservati non si comportavano come masse, o cariche, interagenti in linea retta, ma erano dovuti ad una energia propagantesi nello spazio in tutte le direzioni.

Questo, oltre a spiegare l'effetto Oersted, conduceva all'idea di una natura ondulatoria dell'elettromagnetismo, che si doveva comportare all'incirca come i raggi luminosi che, partendo da una sorgente, si vanno propagando nello spazio alla maniera dei cerchi concentrici che si formano su di uno specchio d'acqua per la caduta di un sasso. Dopo aver superato alcune difficoltà, Maxwell si servì di un modello matematico, le "equazioni del campo" per quantificare e rendere comprensibili gli effetti dell'elettromagnetismo; in queste equazioni, dove compaiono più variabili ed incognite, è definitivamente superato il modello di Newton per le interazioni (a distanza) tra mas-

se, che viene sostituito da una complessa analisi che tiene conto di una molteplicità di fattori che 'prevede' le future modificazioni del campo solo nella porzione di spazio considerata.

L'interpretazione dell'elettromagnetismo come fenomeno ondulatorio e la natura elettromagnetica della luce furono poi verificate nel 1898 dall'oscillatore di Hertz, che riuscì a produrre e ricevere onde elettromagnetiche.

Secondo le conoscenze dell'epoca l'esistenza di tali onde era possibile solo se esisteva un mezzo che le sostenesse nella propagazione, per questo venne ideata e sostenuta l'ipotesi dell'esistenza dell'etere, probabile gas invisibile e leggerissimo che serviva questo scopo.

L'etere, naturalmente, non venne mai scoperto, ma prima che l'idea venisse abbandonata completamente due fisici (Michelson e Morley), nel tentativo di dimostrare l'esistenza del cosiddetto 'vento d'etere', scoprirono che la velocità della luce rimaneva costante rispetto al moto terrestre, cioè non si componeva (come voleva la fisica classica) con esso, una scoperta che aprì la strada a nuove concezioni sulla velocità di propagazione della luce, che Einstein finì per considerare assoluto punto di riferimento nella sua teoria della relatività (sia 'ristretta' che 'generale').

Alla fine dell'ottocento il fisico e filosofo Ernst Mach (1838-1916), rendendosi conto che la meccanica classica stava per essere superata dagli eventi, iniziò una critica costruttiva del meccanicismo; come prima cosa tolse quel carattere di 'dogmaticità' alle leggi scoperte dai grandi fisici del passato, mettendo in luce i li-

miti della ricerca umana e la soggettività dell'esperienza; in secondo luogo criticò il concetto classico di massa, sostenendo che una quantità di materia in sé non può essere definita massa - secondo il rapporto classico densità per volume - ma lo è solo in rapporto con altra materia, o meglio con le interazioni (gravitazionali o d'urto) energetiche che ha con altra massa.

Questo concetto dinamico di massa connetteva ancora più strettamente di prima energia e materia, connessione che si affermerà sempre più valida e reale nel corso degli anni.

Dal pensiero di Mach emergono quindi due fatti fondamentali: la scienza ha carattere osservativo, cioè è collegata al soggetto osservante ed ai suoi sensi; la scienza è relativa perchè il sapere scientifico è sempre determinato dalla relazione di due o più fenomeni (l'osservazione di un singolo fenomeno non può condurre a generalizzare). Possiamo quindi intuire come Mach abbia influenzato le generazioni di scienziati e filosofi che lo seguiranno, a cominciare soprattutto da Einstein.

Valenza socio-ideologica della crisi del meccanicismo
e nascita delle nuove teorie.

L'avvio della ricerca scientifica che ha dato luogo alla crisi della fisica classica è stato senza dubbio un effetto dovuto al bisogno da parte della società industriale della padronanza di nuove forme di energia.

Quando l'unica energia disponibile era quella dell'operaio, il problema era essenzialmente di natura mec-

canica, cioè rendere più produttivo l'insieme sfruttando meglio la forza umana; è solo quando si mette a punto lo sfruttamento di nuove forme d'energia che ci si rende conto che il modello meccanicistico non è reale, che è stato imposto dall'uomo sulla natura il quale ha visto nei fenomeni naturali solo gli aspetti più direttamente collegabili al tipo di sfruttamento produttivo-meccanico in uso nell'epoca. Gli studi sull'energia dimostrarono che il meccanicismo non bastava più e che la materia dimostrava una discreta libertà di comportamento-rispetto agli schemi classici - che cominciava a portare ad una libera critica delle antiche teorie, tanto che Mach tentava una rilettura dei testi classici per ricostruire le 'ragioni storiche' delle ipotesi scientifiche. Mach, in quel periodo, si fa portatore di quella nuova visione della scienza-storicistica - per la quale il pensiero scientifico nasce dall'incontro di psiche umana (con i suoi limiti e condizionamenti) e dati reali cosicchè l'origine della conoscenza va ricercata nel processo globale dell'esistenza e la scientificità della conoscenza è garantita dalla corretta analisi del processo del conoscere.

Il dopo-Mach, accentuando la critica agli schemi classici, respingerà completamente l'assolutizzazione di spazio e tempo, la teoria dell'etere, i concetti di reversibilità e di azione a distanza, di continuità.

Il cambiamento che si sta per compiere è quindi teorico-metodologico, anche se la svolta che le due grandi teorie nascenti - la teoria della relatività e la teoria dei Quanti - apporteranno non sarà così radicale come si potrebbe immaginare leggendo finora; le certezze del pas-

sato saranno giustamente ridimensionate ma non cancellate e rimarranno valide per la comprensione immediata dei fenomeni naturali più vicini alla normale esperienza umana.

Eliminando infatti dalle formule della meccanica quantistica e della relatività le nuove costanti introdotte, cioè prendendo C (velocità della luce nel vuoto = 299.792 Km/sec.) come infinito e h (costante di Planck = $6,625 \cdot 10^{-27}$ erg/sec.) equivalente a zero, le suddette formule diventano uguali a quelle della meccanica classica, che si può dire sia un 'caso limite' delle due teorie. Infatti dove si considerino fenomeni macroscopici dove non compaiano velocità prossime a quelle della luce la meccanica classica è (con approssimazione trascurabile) vera.

Da questo punto in poi la nostra trattazione riguarda lo sviluppo della meccanica quantistica e ci occuperemo della nascita e affermazione di questa tralasciando (purtroppo ma necessariamente) la pur importantissima teoria della relatività, di cui daremo cenni solamente quando è indispensabile la conoscenza di qualche formula od enunciato.

La nascita della Meccanica Quantistica come risposta a precise mancanze teoriche: un nuovo modo di concepire il reale.

Come abbiamo già avuto modo di notare, nel campo della ricerca scientifica alla fine del secolo scorso c'erano state grosse novità che avevano incrinato le antiche certezze; sappiamo anche che una serie di stimoli esterni al mondo scientifico avevano contribuito a questo, provenienti dalla società in generale e dal mondo produttivo particolarmente.

Nel campo specifico della scienza fisica c'erano diverse difficoltà interne - che esamineremo meglio in seguito - tra cui la più importante, rimasta parzialmente insoluta era quella del dualismo onda-corpuscolo.

Agli inizi del '900 infatti, dopo che esperimenti condotti da Young e Fresnel (inizio '800) avevano dimostrato che la luce doveva avere una natura ondulatoria, nuovi esperimenti mettevano in luce un atteggiamento tipicamente corpuscolare della radiazione elettromagnetica (dalle onde lunghe ai raggi γ); nel 1900 quindi Planck, e subito dopo anche Einstein, propose l'ipotesi dei quanti di luce (fotoni) e nel 1922 Compton dimostrò con un esperimento la realtà dei quanti (delle particelle) di luce. Nello stesso tempo alcuni esperimenti condotti su particelle materiali (elettroni) dimostravano fenomeni di diffrazione - tipicamente ondulatori - di fasci delle particelle stesse.

Dopo i miglioramenti che Bohr e Sommerfeld apportarono alla teoria di Planck, una risposta al problema del dualismo onda-corpuscolo venne da De Broglie, il quale pensò che lo stesso dualismo era insito nella materia, che di per sé aveva già una natura ondulatoria. Questa teoria fu largamente accettata e migliorata dai fisici del tempo: lo stesso Bohr e poi Schrödinger, Heisenberg, Dirac, Pauli e altri facenti capo soprattutto alle scuole di Copenaghen, Gottinga, Monaco. La teoria dei Quanti non fu, come nel caso della 'Relatività', il prodotto stupendo di una mente geniale, ma un lavoro di gruppo costruito poco per volta e che tramite le piccole, o grandi, innovazioni date dai singoli scienziati permise di edificare la struttura tecnica e concettuale che costrinse presto ad assumere punti di vi-

sta completamente nuovi che andavano ben oltre le aspettative e anche le speranze degli scienziati.

La stessa descrizione dei fenomeni cambiò radicalmente: nella meccanica classica il fenomeno più semplice, il moto di una particella puntiforme nello spazio, veniva descritta dando in ogni istante di tempo t la precisa posizione del corpo, individuato tramite i tre assi ortogonali, ponendo quindi la posizione in funzione del tempo ed individuando così la traiettoria - in questo modo si potevano conoscere anche velocità ed accelerazione e le altre caratteristiche del moto.

Nella meccanica quantistica la descrizione è necessariamente più imprecisa, infatti il moto viene descritto segnalando, in ogni istante t , la probabilità che la particella sia in un determinato punto. Questo tramite un complesso d'informazioni che ci danno una visione più completa possibile del moto della particella, raggruppate tutte in un'unica funzione, tradizionalmente denominata ψ , che associa ad ogni punto dello spazio \vec{x} e ad ogni istante di tempo t un numero complesso $\psi(\vec{x}, t)$; data la regione R ; la quantità $\int \psi^2(\vec{x}, t) d\vec{x}$ fornisce la probabilità descritta.

La differenza più rilevante non è quella formale, matematica, ma la negazione che la meccanica quantistica fa della possibilità di rilevare un'osservazione completa ed esauriente sul moto della particella, asserendo che l'informazione più completa teoricamente ottenibile è appunto quella sopra descritta in termini probabilistici.

Una conseguenza di questa nuova posizione è l'enunciazione che il fisico e filosofo Heisenberg fa del prin-

° regione R : il luogo dove è possibile il moto della particella.

cipio d'indeterminazione che asserisce l'impossibilità di conoscere, mediante misurazioni, la posizione e la velocità di una stessa particella ad uno stesso istante di tempo.

Vi è un'altra caratteristica che solleva negli ambienti scientifici notevoli incertezze e problemi. Non si è ancora parlato infatti della 'dinamica' connessa con la meccanica quantistica, accennando come si descrive un sistema ma ignorando le nuove o antiche leggi che lo dovranno governare; non è importante qui scrivere la famosa equazione di Schrödinger ma considerarne le principali caratteristiche.

Ad ogni istante t la situazione di un sistema è completamente descritta dalla funzione ψ e la legge del moto deve dire come cambia, o non cambia, tale funzione del tempo, tenendo ovviamente conto delle forze che interagiscono nel sistema; in questo senso la funzione ψ risponde ad una logica perfettamente deterministica, infatti, in linea di principio, una volta nota la ψ in un istante fissato t_0 è sempre possibile calcolare (lasciando inalterato il sistema) la funzione in qualsiasi istante successivo. Quindi l'equazione di Schrödinger esprime una dinamica deterministica alla pari di quella della meccanica newtoniana.

Il cosiddetto indeterminismo connesso con la meccanica quantistica è semmai legato alla descrizione dello stato di un sistema: è chiaro infatti che anche se conosciamo 'completamente' (cioè conosciamo la ψ) il sistema nell'istante t_0 , per ogni istante t successivo a t_0 potremo solo dire con che probabilità un esperimento

to teso a misurare una data grandezza darà un dato risultato, ma ciò solo perchè la nostra conoscenza, all'istante t come all'istante t_0 , e come in qualsiasi altro istante, è comunque probabilistica, non perchè ci sia qualcosa che impedisce di conoscere la ψ all'istante t .

L'interpretazione erronea di questo punto fondamentale fece nascere sia nell'ambito scientifico che filosofico numerose speculazioni di vario tipo, tese spesso a dimostrare l'ingresso nel cuore stesso della fisica teorica dell'indeterminismo e quindi dell'irrazionalismo; addirittura vi fu chi pensò che venisse così fornita la chiave per giustificare il libero arbitrio.

Certamente di tutto questo oggi non è rimasto quasi nulla, ma è importante sottolineare come la ricerca scientifica possa influenzare, a volte anche in modo non legittimo, lo sviluppo del pensiero umano in generale/annullando quella rigida separazione tra cultura umanistica e scientifica che ha più volte dimostrato di essere infondata e superficiale.

LO SVILUPPO DELLA MECCANICA QUANTISTICA (1900-1930)

Max Planck

Abbiamo visto come la teoria cinetica del calore analizza va statisticamente il movimento delle particelle, che, muovendo si disordinatamente e casualmente danno luogo al calore; statisticamente, dicevamo, perchè è impossibile determinare il movimento di ogni singola molecola.

Uno dei fondamenti della Meccanica Statistica è il cosiddetto Teorema Di Equipartizione, che dice che l'energia totale posseduta da un sistema nel quale si muovono e scambiano energia tramite urti moltissime particelle si ripartisce ugualmente (in media) tra tutte le particelle. Naturalmente se le particelle sono tutte uguali avranno tra loro uguale velocità ed energia cinetica medie (E =Energia totale, N =Numero delle particelle-Energia media per particella= $\frac{E}{N}$), se però le particelle sono diverse tra loro la velocità cambierà secondo il tipo di particella in modo che l' E_{cin} (Energia cinetica) rimanga costante. Le velocità e le energie possono comunque scostarsi dalle medie, dando luogo alle caratteristiche fluttuazioni statistiche (rappresentate

Fig.2 - dalle 'curve' di Maxwell).

Durante la fine dell'800 si cercò di allargare il metodo statistico alla radiazione termica. Era noto infatti che tutti i corpi caldi emettono radiazione elettromagnetica: alle basse temperature vengono emesse onde di ampiezza piuttosto grande (radiazione infrarossa) , aumentando la temperatura si entra nel campo del visibile .

Ad ogni data temperatura c'è una frequenza predominante e le frequenze emesse da un corpo caldo si distribuiscono su di

Fig.2 - una curva simile a quella delle fluttuazioni statistiche.

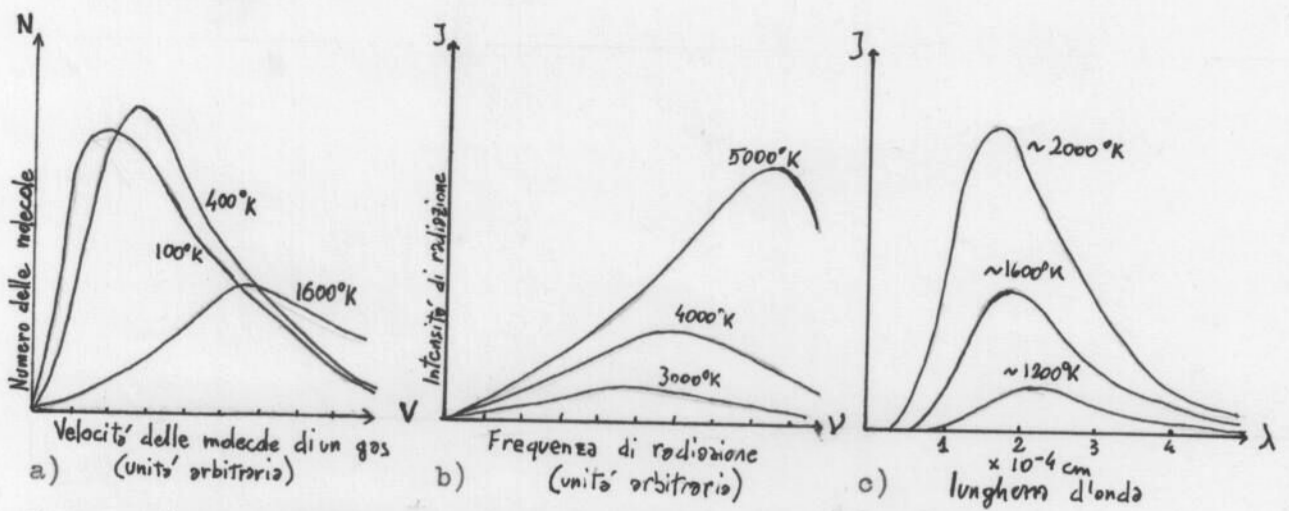


Fig.2: a) Distribuzione di Maxwell; le aree sotto le tre curve sono uguali, perchè il numero delle molecole in gioco è costante.
b) Distribuzione dell'intensità di radiazione in funzione delle frequenze; la frequenza corrispondente alla massima intensità aumenta in proporzionalità diretta alla temperatura assoluta.
c) Distribuzione dell'intensità di radiazione in funzione della lunghezza d'onda. Stessa osservazione che c'è in (b) - (l'ampiezza diminuisce) -

La somiglianza tra le curve di Maxwell e le curve della radiazione termica indusse i fisici Rayleigh e Jeans ad applicare anche in questo caso il Principio di Equipartizione, ma l'idea ebbe risultati catastrofici; supponendo che l'energia totale si ripartisse fra tutte le frequenze possibili si andava incontro ad un errore teorico, perchè mentre le particelle (molecole) sono disponibili sempre in numero finito le frequenze possibili di radiazione sono infinite. Per capire meglio l'assurdità di una tale applicazione del principio di equipartizione possiamo esaminare l'oscillazione di una corda le cui vibrazioni possibili sono la 'nota' fondamentale e le sue armoniche, tendenzialmente infinite; secondo il principio di equipartizione ad ogni modo di vibrazione spetterebbe $\frac{E}{\infty}$, una quantità infinitamente piccola di energia. Sarebbe come dire che pizzicando una corda dovremmo produrre il 'rumore' dovuto alla combinazione di infiniti suoni; questo, come anche la nostra limitata esperienza ci insegna, non è vero. D'altronde se così non fosse ogni corpo caldo, innocua

sorgente di radiazione, si trasformerebbe presto, secondo la teoria di Rayleigh e Jeans, in una pericolosissima fonte di ogni tipo di raggi: ultravioletti, X, γ .

La prima spiegazione convincente dello spettro di emissione del "corpo nero" fu data da Max Planck il 14 Dicembre 1900 e suscitò vivo stupore. Egli affermò che le paradossali conclusioni di Rayleigh e Jeans potevano essere evitate se si postulava che "l'energia delle onde elettromagnetiche può esistere solo sotto forma di 'pacchetti discreti' direttamente proporzionali alle frequenze". Questo annullava lo "sconfinamento" delle frequenze fino alle radiazioni di ampiezza cortissima.

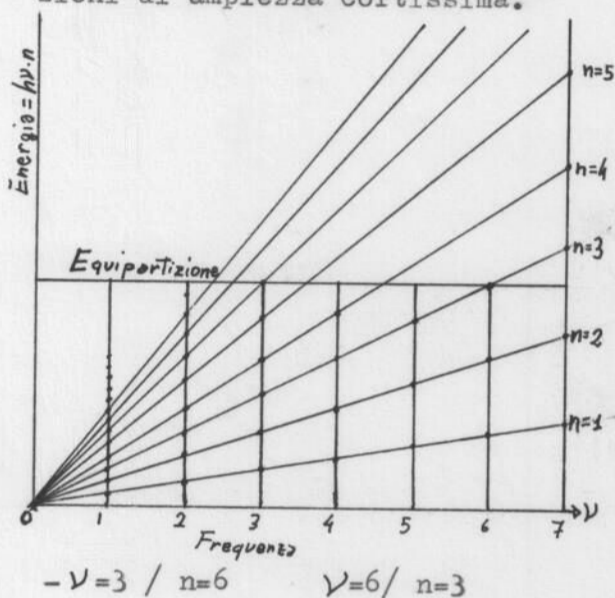


Fig. 3: confronto tra l'ipotesi di Planck e l'applicazione del Principio di Equipartizione; le alte frequenze hanno bisogno di più energia quindi, ad un certo punto, non ne possono assorbire più (proseguire idealmente le linee corrispondenti ad $n=1$, etc.)

ν = frequenze 'possibili' di vibrazione in un dato intorno.

n = numero intero dei "quanti" di energia.

h = Costante di Planck (risultata essere, per confronto con le curve sperimentali - fig. 2 - = C.G.S. $6,77 \times 10^{-27}$ ergxsec.)

Secondo la fisica classica è ammesso qualsiasi valore di energia, cioè qualsiasi punto sulle linee verticali della figura 3, e la sua distribuzione dà luogo all'equipartizione fra tutte le frequenze.

Secondo Planck invece è possibile solo un insieme di valori discreti di energia pari ad n volte il 'pacchetto' corrispondente alla frequenza considerata; nella figura 3 dato che l'energia del pacchetto è proporzionale ad ν , i valori permessi sono rappresentati dai pun

ti neri di contatto tra le linee oblique e quelle verticali.

La formula di Planck (per cui l'energia di un 'quanto' è proporzionale alla frequenza) è: $E = h \cdot \nu$. Il piccolo valore di h la rende trascurabile rispetto a fenomeni di ordine macroscopico.

L'effetto fotoelettrico

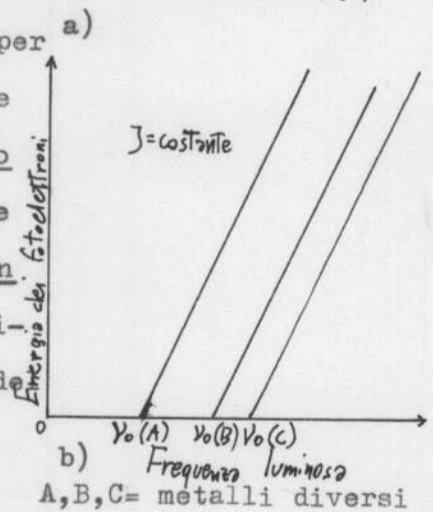
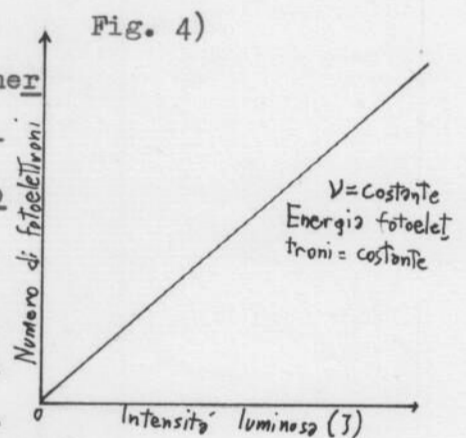
Dopo aver 'inventato' il quanto, Planck preferì pensare che la caratteristica di assorbire ed emettere radiazione solo in quantità discrete fosse una caratteristica intrinseca della materia e non una specifica proprietà delle onde luminose.

Nel 1905 Einstein riconobbe il quanto di luce come entità fisica indipendente, necessaria per spiegare le leggi empiriche dell'effetto fotoelettrico: emissione di elettroni dalle superfici metalliche esposte ai raggi ultravioletti.

Studiando l'effetto fotoelettrico si osservavano due situazioni:

Come rappresentato in figura 4a con frequenza costante e variando l'intensità l'energia dei foto-elettroni è costante ma il loro numero varia in maniera direttamente proporzionale all'intensità luminosa.

Variando la frequenza invece, com'è rappresentato nella figura 4b, non vengono emessi fotoelettroni finchè la frequenza non supera un certo valore critico ν_0 , differente per ogni metallo (soglia fotoelettrica). Oltre questo valore ν_0 l'energia dei foto-elettroni aumenta linearmente essendo direttamente proporzionale alla differenza tra la frequenza della luce incidente (fascio monocromatico) e la frequenza critica caratteristica del metallo.



Servendosi della teoria dei quanti di luce, Albert Einstein diede una perfetta spiegazione dei due fenomeni: l'atto dell'effetto fotoelettrico era la collisione tra un quanto di luce (fotone) ed uno degli elettroni liberi del metallo; in quest'urto il 'fotone' svanisce trasferendo la propria energia all'elettrone, ma l'elettrone, per sfuggire all'attrazione degli ioni positivi del metallo (protoni) deve esercitare un lavoro ('lavoro d'estrazione'), diverso per ogni metallo (è l'energia necessaria che cambia), che si indica con W . L'energia cinetica con la quale l'elettrone uscirà dal metallo sarà:

$$E_{cin} = h \cdot \nu - W = h(\nu - \nu_0)$$

Questa formula spiega i fenomeni sopra descritti e non lascia più dubbi sulla realtà dei quanti.

Nel 1923 la realtà dei quanti di luce venne dimostrata con un importante esperimento condotto da A. Compton: volendo studiare l'urto tra un fotone ed un elettrone libero nello spazio, utilizzò raggi X ad elevatissimo potenziale ed atomi di elementi leggeri; data l'altissima energia dei raggi X diveniva trascurabile l'energia di legame dell'atomo. Vedendo l'urto tra le due particelle come simile a quello tra due sfere elastiche di si doveva aspettare una diminuzione dell'energia, e quindi della frequenza, all'aumentare dell'angolo di deviazione dei raggi. La previsione torica concordò pienamente con l'esperienza e la realtà dei quanti trovò così la sua conferma sperimentale.

L'Atomo di Bohr

le premesse:

Nel 1897 il fisico J.J. Thomson dimostrò con esperimenti diretti che si potevano estrarre minuscole particelle negative dall'atomo, lasciandolo carico positivamente; questo fu un grosso passo avanti che fece immaginare a Thomson un atomo completamente diverso da come si credeva che fosse fino ad allora, unico e indivisibile.

Il 'nuovo' atomo di Thomson si presentava così: un'uniforme carica positiva distribuita in tutto lo spazio atomico con piccoli nuclei negativi (simili ai semi in un cocomero) incorporati nella massa positiva.

Le parti positive e negative dell'atomo si comportano secondo le leggi di Coulomb ($\vec{F}_{el} = \frac{Kq_1q_2}{r^2}$, $\vec{E} = \frac{\vec{F} \cdot e_1}{q}$), quando sono in equilibrio l'atomo è nel suo stato normale. Quando l'atomo viene colpito da altri atomi o particelle, i suoi elettroni (e^-) interni vibrano intorno alla posizione di equilibrio emettendo radiazioni elettromagnetiche caratteristiche per ogni elemento, a causa delle differenze nel numero e nella posizione degli elettroni.

Servendosi della meccanica classica, si tentò di eseguire calcoli teorici per definire gli spettri di radiazione caratteristici di alcuni elementi, ma nessuno di quelli calcolati corrispondeva con quelli osservati; evidentemente il modello di Thomson non funzionava e bisognava cambiarlo, di questo se ne doveva occupare il fisico danese Niels Bohr.

Lavorando nel gruppo diretto dallo stesso Thomson, Bohr aveva tentato di andare più avanti con il pensiero studiando le proprietà dei nuovi quanti di luce e tentando di applicarle nell'esame dell'atomo; Bohr non capiva, infatti, perchè se si 'quantizzava' l'energia elettromagnetica della luce ($h, 2h, nh$) non era possibile invece quantizzare l'energia meccanica degli elettroni, tanto più che le discordanze

tra fisica classica e 'quanti' erano tali che ammettendone l'esistenza bisognava per forza arrivare a nuove, rivoluzionarie, concezioni del modello atomico.

Il lavoro di Rutherford

Bohr abbandonò presto Cambridge, dove lavorava con il gruppo di Thomson, a causa delle sue idee un po' troppo rivoluzionarie, e si trasferì a Manchester, dove c'era Ernest Rutherford.

Rutherford era immerso in esperimenti per indagare la struttura in tina degli atomi: li bombardava con le nuove 'particelle α ', emesse dagli elementi radioattivi appena scoperti e che aveva già dimostrato essere ioni positivi di Elio in moto ad altissima velocità (gli elementi radioattivi emettono anche raggi β - elettroni $-$ e raggi γ ad altissima frequenza). Egli scelse le particelle α perchè molto più grosse e pesanti delle β e γ , supponendo che sarebbero riuscite a penetrare nell'atomo.

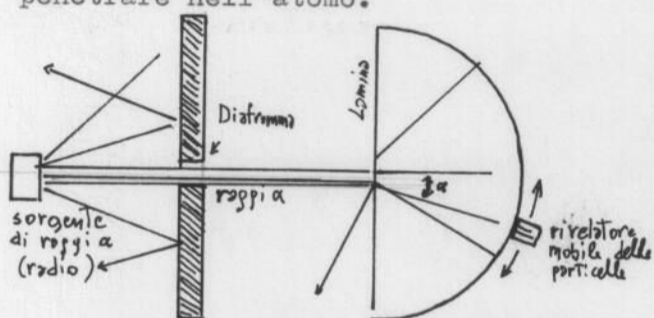


Fig. 5:
L'apparecchio di Rutherford che studiava la deviazione delle particelle α 'sparate' su lamine metalliche.

Secondo il modello di Thomson le particelle α avrebbero potuto essere deviate solo dalla massa positiva atomica (visto che l'elettrone ha una massa circa 8000 volte inferiore di quella delle particelle α), ma questa materia, sempre secondo il modello di Thomson, doveva essere distribuita uniformemente nel solido così da non costituire un valido ostacolo per i raggi α . Invece alcune particelle venivano deviate anche di angoli piuttosto grandi (superiori ai 90°) e ciò era spiegabile solo supponendo che la carica positiva fosse concentrata e non diffusa.

Nasce così un nuovo modello atomico, che somiglia un po' al no-

stro sistema solare, con un nucleo positivo, pesante, centrale ed elettroni leggeri che gli girano intorno.

La legge di Coulomb, dal punto di vista matematico, è uguale a quella della gravitazione universale ($E = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$, $F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$) e quindi gli elettroni si dovranno muovere su traiettorie ellittiche o circolari.

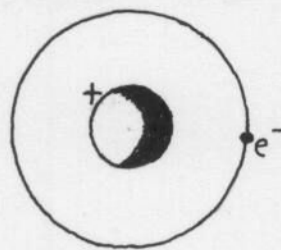


Fig. 6: (Idrogeno) Il modello di Rutherford

La differenza stava nel fatto che la grande quantità di carica posseduta dall'elettrone, oscillando, deve necessariamente produrre onde elettromagnetiche a frequenza elevata, e questo avrebbe fatto perdere all'elettrone tutta la sua energia in pochissimo tempo, portandolo a cadere nel nucleo distruggendo così l'atomo; quindi gli atomi secondo il modello di Rutherford, dovrebbero durare appena qualche centomillesimo di secondo, mentre di fatto esistono da sempre.

Qualcosa che non quadrava c'era e Bohr decise di continuare con la sua idea sui quanti.

La teoria di Bohr.

Quando un atomo emette un quanto di luce, l'energia dell'elettrone - meccanica - deve diminuire della stessa quantità; così, secondo Bohr, siccome gli spettri atomici evidenziavano righe ben definite, gli elettroni non potevano assumere valori intermedi di energia.

Lo stato iniziale dell'atomo è quello di equilibrio, con la minima energia, quando non può emettere quanti di luce; 'eccitando' l'atomo, e per far questo si può aumentare la temperatura, sottoporlo a scariche elettriche e così via, si fa passare l'elettrone dallo stato iniziale E_1 ad uno stadio E_n .

Quando un atomo è eccitato e portato ad uno stato E_m di energia può tornare allo stato inferiore E_n liberando un fotone.

$$h\nu_{m,n} = E_m - E_n \quad \nu_{m,n} = \frac{E_m - E_n}{h}$$

La frequenza ν sarà caratteristica del passaggio di stato da m a n . Questa deduzione portò a conseguenze molto importanti: il calcolo teorico degli spettri di radiazione degli elementi.

Caratteristiche di regolarità numerica nelle varie frequenze emanate dagli elementi erano già state osservate, ma erano state interpretate come bizzarre combinazioni; tuttavia, nel 1885, lo spettroscopista J.J. Balmer aveva scoperto che le frequenze contenute nella parte visibile dello spettro dell'Idrogeno erano rappresentabili con una semplice formula: $\nu_{m,n} = 3,289 \cdot 10^{15} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2} \right) \text{sec}^{-1}$, dove m assume i valori 3,4,5,6. Per valori di m superiori a 6 si va verso la regione ultravioletta con righe sempre più fitte e si converge sul valore ($m = \infty$) di $3,289 \cdot 10^{15} \cdot \frac{1}{4} = 8,2225 \cdot 10^{14} \text{sec}^{-1}$. Variando i valori di m e di $\frac{1}{4}$, che si può porre come $\frac{1}{n^2}$, si scoprono nuove righe effettivamente riscontrabili nello spettro.

Ogni riga dello spettro è quindi funzione dei due indici m ed n , ed è il risultato del passaggio da un livello quantico ad un altro; poichè l'energia del quanto di luce è uguale alla differenza delle energie dei due stati la formula generalizzata (da quella di Balmer) può essere riscritta così/:

$$h\nu_{m,n} = R_h \cdot \left[\left(-\frac{1}{m^2} \right) - \left(-\frac{1}{n^2} \right) \right]$$

$$h\nu_{m,n} = \left(-\frac{R_h}{m^2} \right) - \left(-\frac{R_h}{n^2} \right) \quad (2)$$

dove le quantità tra parentesi sono E_m ed E_n .

Queste energie sono 'negative' perchè convenzionalmente si assegna il valore di energia nullo quando le parti che compongono un sistema sono a distanza infinita le une dalle altre, valore di energia positiva quando gli elementi si allontanano ognuno per conto suo, disgregando così il sistema. Nei sistemi stabili, come quello planetario od atomico, l'energia è negativa e sarebbe necessario fornire energia dall'esterno per disgregare il sistema.

Bohr formulò due ipotesi che spiegavano efficacemente i valori assunti dall'energia nei diversi stati quantici riferiti nella formula precedente: l'atomo di Idrogeno, il più semplice e leggero degli elementi, contiene solo un elettrone; i diversi stati quantici corrispondono al moto dell'elettrone su altrettante orbite circolari.

Quindi lo stato quantico E_n corrisponde ad una determinata orbita circolare dell'elettrone che si può ricavare dalla relazione $E_n = \frac{-R_h}{n^2}$.

Nota tecnica: Verifica sperimentale di Bohr

Poniamo r_n e v_n rispettivamente raggio e velocità dell'elettrone nell' n -esimo stato; massa dell'elettrone= m_e , carica= e^- , carica del nucleo (protone)= $+e$.

Il moto circolare sussiste solo se c'è equilibrio tra forza elettrostatica e forza centrifuga (1) $(-\frac{e^2}{r^2} + \frac{mv^2}{r})$; ne consegue che la velocità $v = \sqrt{\frac{e}{m_e r}}$. In base a questo l'elettrone può percorrere qualsiasi orbita purchè possieda la velocità necessaria; noi sappiamo invece che possono esistere solo orbite con energia $E_n = \frac{-R_h}{n^2}$. Sappiamo anche che la vibrazione ad una data frequenza ν può avere solo l'energia di n quanti di luce, dalla relazione $E_n = nh\nu$ (pag.49 figura 3) da cui si vede che la quantità $\frac{E_n}{h\nu}$ può essere solo un multiplo intero della costante di Planck(h).

Quindi l'"azione" totale (dimensioni fisiche di h = massa x velocità x lunghezza) dovrà essere un multiplo intero di h , e così nel caso della traiettoria circolare dell'elettrone il prodotto della massa per la velocità per la distanza coperta in una rivoluzione (mvs) sarà anch'esso un multiplo di h .

Così (n-esima orbita): $m_e \cdot v_n \cdot 2\pi r_n = nh$

da cui $m_e \cdot \frac{e}{\sqrt{m_e r_n}} \cdot 2\pi r_n = nh = 2\pi e \sqrt{m_e} \sqrt{r_n} =$

così $r_n = \frac{h^2}{4\pi^2 e^2 m} \cdot n^2 \quad (2)$

Volendo calcolare l'energia E_n posseduta dall'elettrone sull' n -esima orbita sommiamo la sua energia cinetica E_c con la sua energia potenziale E_p (l' E_p di due cariche a distanza r - e^- e $+e^-$ è $-e^2/r$).

$$E_n = E_{c_n} + E_{p_n} = \frac{1}{2} m_e \frac{e^2}{m_e r_n} - \frac{e^2}{r_n} = \frac{1}{2} \frac{e^2}{r_n} - \frac{e^2}{r_n} = -\frac{1}{2} \frac{e^2}{r_n}$$

Sostituendo ad r_n l'espressione (2) di pag.56 abbiamo:

$$E_n = -\frac{2\pi^2 e^4 m_e}{h^2} \cdot \frac{1}{h^2}$$

che è uguale all'espressione di Balmer: $E_n = -\frac{R h}{n^2}$

ponendo

$$R = \frac{2\pi^2 e^4 m_e}{h^3}$$

Bohr, sostituendo i valori numerici in quest'espressione, ottenne esattamente $R=3,289 \cdot 10^{15}$, uguale al valore calcolato sperimentalmente.

Sommerfeld

Arnold Sommerfeld estese le idee sull'atomo di Bohr al caso di orbite ellittiche. In questo caso il moto di una particella è individuato da due coordinate: la distanza r dal punto di attrazione e l'angolo φ (azimut) rispetto all'asse maggiore. Per $\varphi = 0$ si ha r massimo, per $\varphi = 180^\circ$ si ha r minimo.

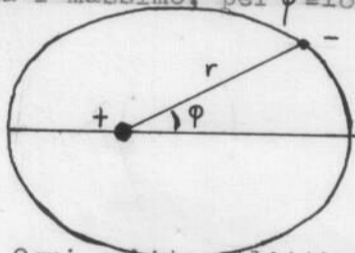


Fig.7 :
orbita ellittica; l'angolo φ e la distanza r definiscono la particella in moto.

Ogni orbita ellittica quantizzata sarà quindi caratterizzata da due numeri: l'azimutale n ed il radiale n_r . Sostituendo con la stessa tecnica di Bohr si ha perciò: $E_n = \frac{-R h}{(n + n_r)^2}$; così per $n_r = 0$ si hanno orbite circolari mentre per $n_r \neq 0$ si hanno orbite ellittiche con diverso 'grado' di ellitticità ma con la medesima energia.

A questo punto occorre notare che facendo intervenire la teoria della 'relatività' i risultati cambiano un po'; infatti la velocità nei vari punti dell'ellisse varia (IIa legge di Keplero) e questo influisce sulla massa della particella in maniera diversa a seconda della forma dell'ellisse ; quindi vari tipi di orbite ellittiche aventi la stessa energia influiranno diversamente sulla massa, e in definitiva anche sull'energia, facendola variare lievemente in dipendenza dalla forma dell'ellisse.

Secondo la meccanica relativistica la massa di una particella aumenta con l'approssimarsi della velocità a c (velocità della luce) secondo la formula:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

e tende all'infinito per velocità dell'ordine di $3 \cdot 10^8$ m/sec(c).

I calcoli da compiere tenendo conto di questa variazione sono naturalmente troppo complessi per essere descritti nell'ambito di una trattazione liceale ma il risultato è evidente: le energie di diverse orbite dovute allo stesso 'numero quantico' (n) variano lievemente le une dalle altre, e un singolo livello quantico si scinde in varie componenti ravvicinate . Una riga spettrale, dovuta al passaggio da uno stato quantico ad un altro, si scinde così in diverse componenti ravvicinatissime, visibili solo su un analizzatore di spettro sensibilissimo.

Le differenze tra i componenti di una stessa riga spettrale (la cosiddetta 'struttura fine') sono risultate dipendere dalla 'costante di struttura fine' data da $\alpha = \frac{e^2}{hc} = \frac{1}{137}$.

Il lavoro di Pauli

Le più famose intuizioni di questo grande fisico teorico furono il 'principio di esclusione' ed il suo 'neutrino'.

Il principio di esclusione fornisce alcuni chiarimenti sulla situazione esistente in atomi contenenti più di un elettrone; sappiamo infatti che in assenza di forze esterne gli elettroni sono nell'orbita più vicina al nucleo, ma vediamo cosa succede negli elementi che hanno più di un elettrone: il raggio medio dello stato di energia minimo è dato dalla formula $r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 e^2 m}$, l'energia da $E_1 = -\frac{2\pi^2 e^4 m}{h^2}$; supponiamo che un solo elettrone giri intorno al nucleo con carica Ze ($Z =$ numero atomico), la forza elettrica sarà quindi $\frac{Ze^2}{r^2}$ e sostituendo nelle formule Ze^2 ad e^2 si può notare che il raggio dello stato minimo diminuisce proporzionalmente all'aumentare di Z , ed i valori assoluti dell'energia aumenteranno proporzionalmente a Z^2 . Inserendo quindi Z elettroni nel sistema noteremo che gli atomi del sistema periodico degli elementi diventeranno (col crescere di Z) sempre più piccoli e densi, nonostante la forza di repulsione elettrostatica che, sebbene sia piuttosto forte, non sarà sufficiente ad allontanare gli elettroni gli uni dagli altri.

La previsione teorica non corrisponde però a realtà, infatti il volume degli atomi varia in maniera discontinua, ed ha picchi in cor-

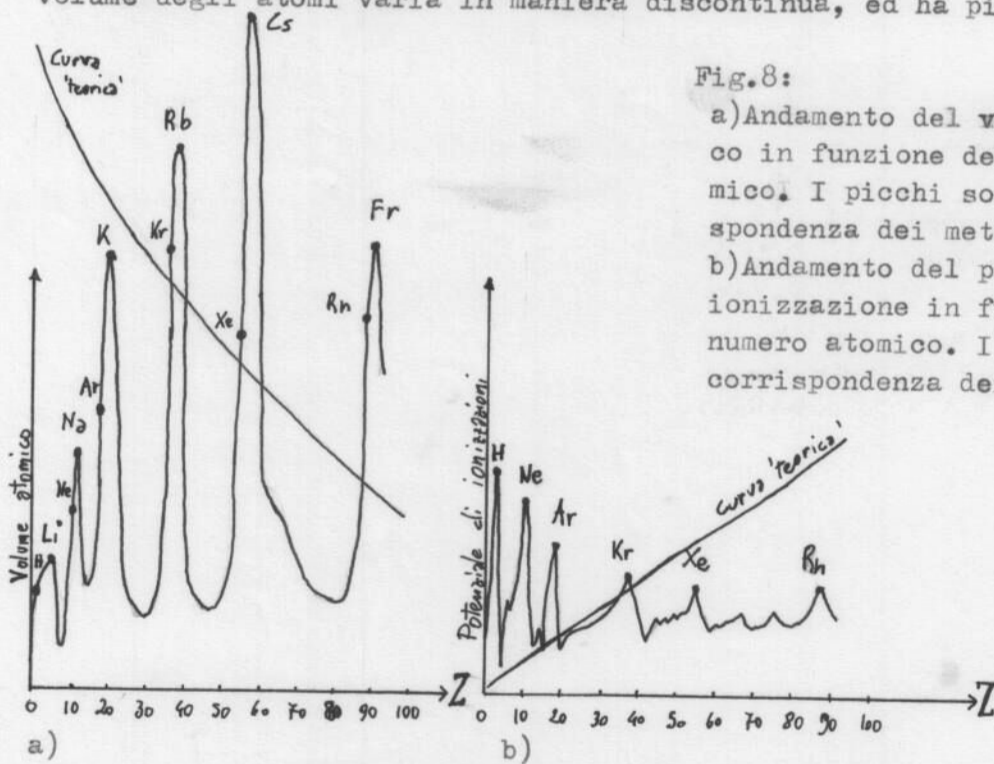


Fig.8:
 a) Andamento del volume atomico in funzione del numero atomico. I picchi sono in corrispondenza dei metalli alcalini.
 b) Andamento del potenziale di ionizzazione in funzione del numero atomico. I picchi in corrispondenza dei gas nobili.

rispondenza dei metalli alcalini (Litio, Sodio, Potassio, Rubidio, Cesio) che gli conferiscono una caratteristica forma a sega.

Oltre tutto, con il 'compattamento' che dovrebbe teoricamente avvenire negli elementi pesanti, diventerebbero estremamente difficile ionizzarli (estrarre elettroni), ed invece la curva che rappresenta Fig.8b - il potenziale di ionizzazione smentisce decisamente questo fatto.

Da queste curve notiamo come al crescere del volume atomico diminuisca la resistenza a cedere elettroni, e questo con una cadenza periodica e con variazioni relativamente piccole del volume atomico; da ciò si può capire che aumentando il numero degli elettroni il volume degli stati quantici diminuisce, ma evidentemente gli elettroni non si affollano tutti nel primo stato occupando invece altre orbite quantiche rendendo così il volume atomico pressochè costante.

Vista questa nuova discordanza tra previsione teorica e dati di fatto Wolfgang Pauli cercò di risolvere il problema ipotizzando che solo due elettroni potessero occupare la medesima orbita individuata dai tre numeri quantici fondamentali: radiale, azimutale e zenitale (che non abbiamo preso in considerazione per la difficoltà della trattazione); questi tre numeri individuavano, nella teoria di Bohr (nell'ambito della quale venne inserito il 'principio di Pauli'), i diametri medi, le eccentricità medie e le orientazioni spaziali medie delle orbite.

Tramite il 'principio di esclusione' Bohr ed i suoi collaboratori riuscirono a realizzare i modelli atomici di tutti gli elementi allora conosciuti e a dare una spiegazione di diverse proprietà chimiche degli elementi fino ad allora rimaste insolute.

Lo 'spin'

Si parlava prima dei tre numeri quantici; ebbene, dopo gli studi compiuti sull'effetto Zeeman, che era il fino ad allora in spiegabile scindersi delle righe spettrali in presenza di forti campi magnetici, essi si rivelarono insufficienti e fu necessaria

l'introduzione di un quarto numero quantico.

Nel 1925 S.Goudsmit e G. Uhlenbeck si posero in una nuova prospettiva : fino ad allora l'elettrone era stato considerato solo dal punto di vista della carica e della massa, perchè invece non considerarlo come una trottola elettricamente carica che ruota intorno al protone ? In questo modo l'elettrone avrebbe un suo 'momento della quantità di moto' e un suo 'momento magnetico'. La proposta funzionava, infatti se lo 'spin' (momento della quantità di moto) dell'elettrone era orientato diversamente dal piano orbitale si sarebbe potuto spiegare l'effetto Zeeman; effettivamente, dando valori appropriati a momento magnetico (il 'Magnetone' di Bohr, uguale alla minima quantità di magnetismo dovuta alla veloce rotazione dell'elettrone) ed al momento della quantità di moto, si spiegarono tutte le nuove componenti dello spettro; si pose però un nuovo problema: il momento della quantità di moto risultò essere la metà di quello regolarmente previsto per le orbite atomiche, cioè $h/2\pi$.

In seguito alle nuove scoperte il principio di Pauli fu parzialmente modificato: in primo luogo cambiò la condizione della sussistenza di due elettroni sulla stessa orbita, diventando possibile solo se due elettroni hanno 'spin' opposti; da questa condizione ne derivò successivamente un'altra, perchè in effetti l'interazione dei campi magnetici dei due elettroni fa sì che le due orbite siano leggermente diverse e quindi, in realtà, solo un elettrone può occupare un'orbita (anche se in un'orbita vicinissima può girare un altro elettrone con spin opposto).

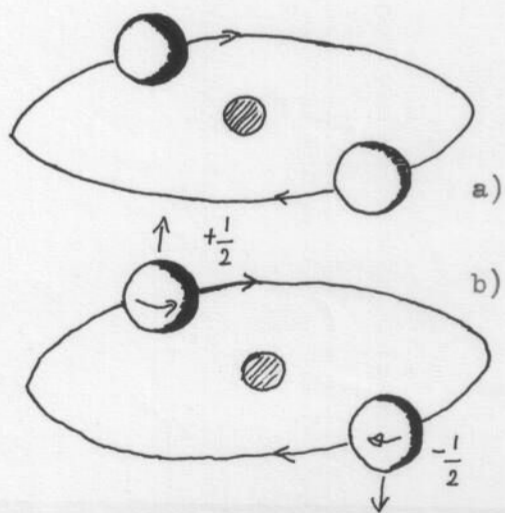
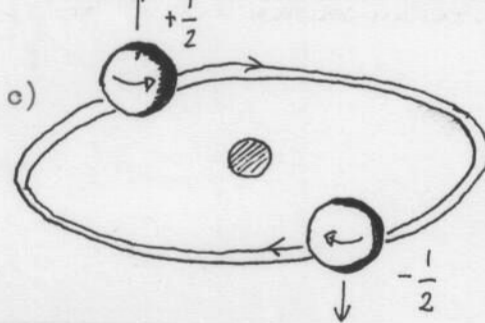


Fig. 9:

moto degli elettroni:

- a) secondo il principio originale di Pauli (non più di due su di una stessa orbita).
- b) non più di due con 'spin' opposto.
- c) orbite non identiche.

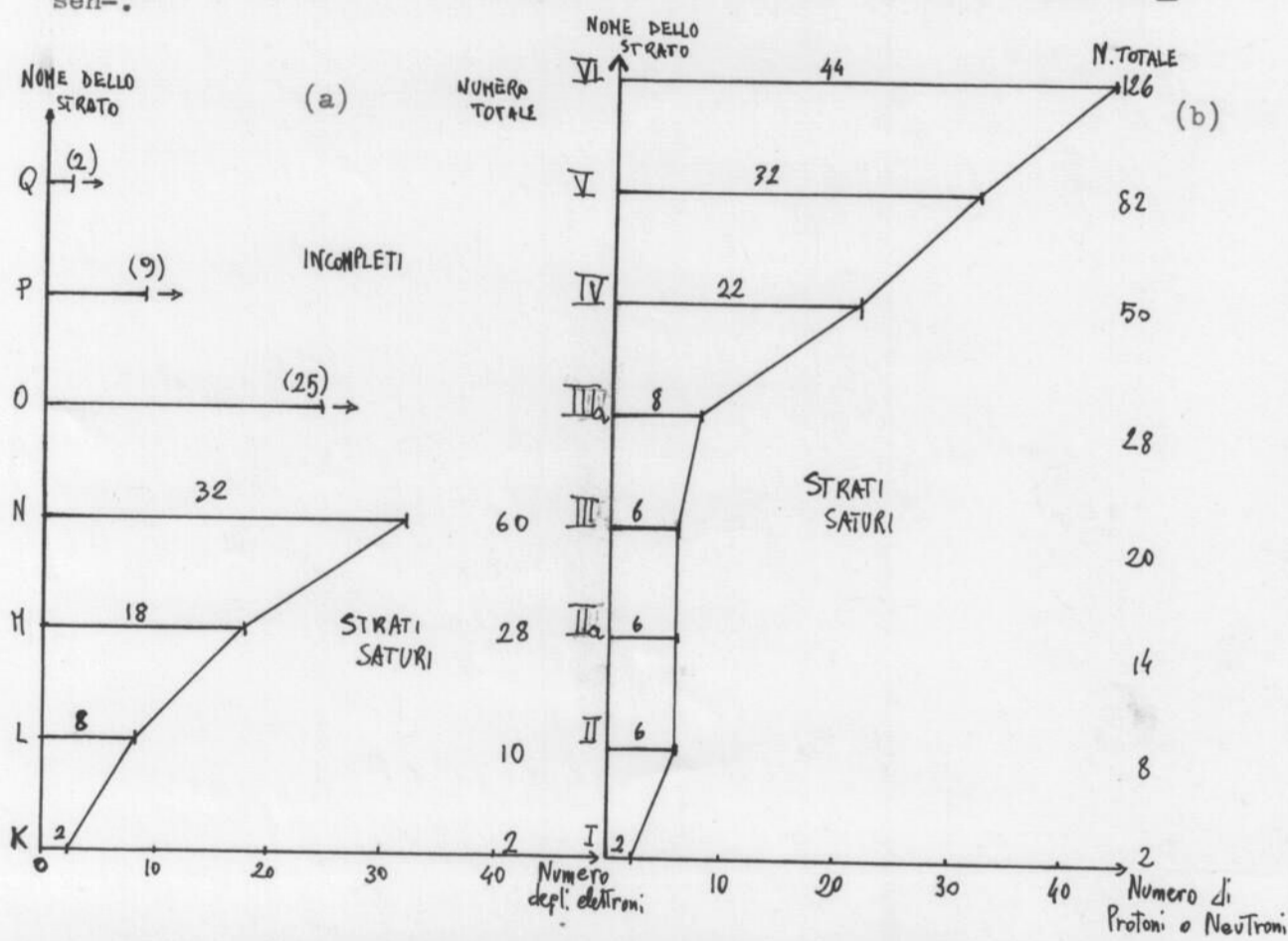


Lo 'spin' nel nucleo.

Quando ci si occupò anche della struttura interna del nucleo, si scoprì che sussistevano notevoli somiglianze con le caratteristiche osservate per le orbite degli elettroni, infatti nella sequenza naturale dei nuclei atomici si notavano cambiamenti periodici (anche se blandi) nelle proprietà chimiche.

Dopo lunghe e complicate ricerche, dovute alla complessità di applicazione delle teorie quantistiche e del principio di esclusione sulle due diverse particelle (neutroni e protoni) presenti nel nucleo, si giunse alla formazione di un modello nucleare in cui protoni e neutroni erano disposti su vari strati, diversi per le due particelle, sovrapposti l'un l'altro; la 'capacità' (numero di particelle accumulabili in un solo strato) dei vari strati fu calcolata nel 1949 da alcuni fisici ed è rappresentata, insieme a quella degli strati degli elettroni, nella figura sottostante.

Fig. 10: a) saturazione degli strati di elettroni -schema Bohr-Coster - b) saturazione degli strati di Barioni (nucleoni)-schema Mayer-Jensen-.



Il neutrino.

La gestazione di questa scoperta, la cui verifica sperimentale si attuò dopo circa venticinque anni dalla sua previsione teorica, fu abbastanza lunga e comunque preceduta e seguita da molte discussioni teoriche.

Gli elementi radioattivi emettono tre tipi fondamentali di radiazione: i raggi α (particelle nucleari), β (elettroni) e γ (radiazioni elettromagnetiche a frequenza elevatissima dovute alle perturbazioni create dai raggi α e β); questi sono tutti prodotti della cosiddetta 'disintegrazione radioattiva'.

Per ogni elemento radioattivo le particelle α hanno energia uguale alla differenza tra il nucleo progenitore e quello discendente. Questa attività indica che anche i nuclei atomici sono sistemi quantizzati, ed essendo molto piccoli, sono interessati ad energie molto alte; anche i raggi γ indicano, dal loro spettro con righe nettissime, di avere energie ben definite. Nel 1914 si scoprì invece che le particelle β hanno energie che variano in modo continuo da zero a valori molto alti.

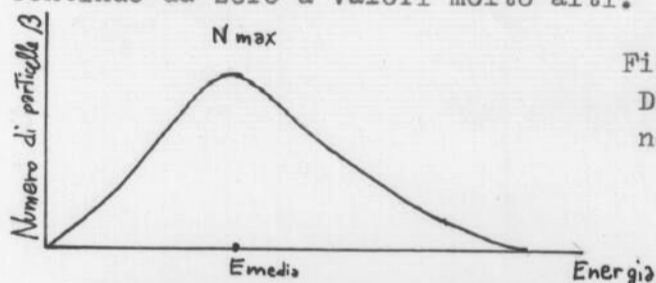


Fig. 11:
Distribuzione dell'energia
nelle particelle β .

Verificato sperimentalmente che non vi erano perdite di energia nell'emissione di queste particelle, si dovette constatare che il principio di conservazione dell'energia veniva violato.

Niels Bohr decise, radicalmente come al solito, che questo principio non poteva valere per l'emissione e l'assorbimento di particelle β e addirittura applicò questa sua teoria per cercare di spiegare l'apparente eternità di produzione di energia nelle stelle, idea che non ci dilungheremo a spiegare data l'elementarità della trattazione.

A proposito di questa faccenda Pauli pensò che tutto sommato non era necessario violare la legge di conservazione dell'energia ed inventò il neutrino (che egli chiamò originariamente 'neutrone', nome che gli fu rubato da Chadwick quando scoprì la particella oggi chiamata neutrone), particella priva di carica e di massa (o comunque di massa trascurabile) emessa sempre in coppia con le particelle β in modo che la somma delle energie di neutrini e raggi β ristabilisse l'equilibrio energetico. Bohr ed Ehrenfest (noto fisico) contrastarono a lungo il neutrino, proprio perchè essendo senza carica e senza massa sfuggiva ad una verifica sperimentale; col tempo però le prove che confermavano la sua esistenza si moltiplicavano e nel 1955 esso fu finalmente trovato, utilizzando pile atomiche e muri di cadmio immensi, constatando anche la sua interazione praticamente nulla con la materia. Essa è così piccola, infatti, che un neutrino può attraversare anni luce di materia densa come il piombo senza essere catturato.

Con esperimenti successivi si sono anche scoperti tre tipi fondamentali di neutrini, quello e , il neutrino μ e quello τ , ma le loro caratteristiche devono essere ancora analizzate.

Un altro problema dibattuto è la massa dei neutrini, infatti alcuni ricercatori hanno raccolto prove che indicano una massa di circa $9 \cdot 10^{-28}$ gr. mentre altri hanno escluso che il neutrino possa avere massa; la soluzione di questo problema, dato l'incredibile numero di neutrini che si teorizza venga prodotto ogni secondo nell'universo, potrebbe rivoluzionare completamente le idee che ci siamo fatti dell'universo stesso.

Oggi come oggi il posto che il neutrino occupa nel campo delle particelle è importantissimo, sia a livello di fisica teorica che di sperimentazione, infatti l'importante proprietà che ha il neu-

trino di non interagire con la materia fa sì che esso porti con sé informazioni preziosissime di eventi altrimenti non verificabili: per esempio, nel caso della struttura interna delle stelle, le teorie più attuali ci dicono che la semplice radiazione elettromagnetica, dato che non può conservare l'informazione originale partita dal centro della stella (infatti la radiazione che parte dal nucleo stellare arriva, attraverso un processo di emissione-assorbimento, solo dopo milioni di anni sulla superficie stellare), non può esserci utile per questo scopo; mentre il neutrino passa attraversando la stella come fosse burro e arriva direttamente, testimone prezioso di avvenimenti colossali ed insondabili. Per questo si stanno facendo grossi passi avanti nell'astrofisica 'a neutrini', certi che questa particella sia capace di rivelarci alcuni fatti che avvengono e sono avvenuti nei più lontani recessi dell'universo.

La nascita della meccanica ondulatoria.

Indagando sulla struttura atomica il fisico francese Louis De Broglie presentò una teoria sul movimento dell'elettrone nell'atomo che all'epoca fece abbastanza scalpore; nella sua tesi di dottorato - 1925 - immaginava che l'elettrone, mentre si muoveva sulla propria orbita, fosse accompagnato da vibrazioni, od onde-pilota, distribuite su tutto il percorso orbitale; inoltre, la prima orbita poteva ammettere un solo tipo di onde, la seconda due, e così via, e le lunghezze d'onda erano pari a $2\pi r_1$ per la prima, $2\pi r_2/2$ per la seconda e così di seguito; in generale quindi l'n-esima orbita poteva portare n onde ciascuna di lunghezza $2\pi r_n/n$.

Nota tecnica: Ipotesi di De Broglie

Il raggio dell'n-esima orbita sappiamo che è : $r_n = \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{h^2 \cdot n^2}{m^2 c^2}$, sappiamo anche che la forza centrifuga deve essere uguale all'attrazione elettrostatica, cioè $\frac{m v_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{r_n^2}$, da cui $e^2 = m v_n^2 r_n$.

Sostituendo avremo $r_n = \frac{1}{4\pi^2} \cdot \frac{h^2 n^2}{m^2 v_n^2 r_n}$ cioè $(2\pi r_n)^2 = \frac{h^2 n^2}{m^2 v_n^2}$, ed estraendo la radice quadrata da entrambi i membri si avrà $2\pi r_n = n \frac{h}{m v_n}$ che, ponendo la lunghezza d'onda $\lambda = \frac{h}{m v_n}$ non modifica assolutamente la teoria originale di Bohr, ma aggiunge solo l'idea di De Broglie: il moto dell'elettrone è accompagnato da onde, simili a quelle luminose.

Per provare questa teoria era necessario vedere se gli elettroni avevano questa seconda natura ondulatoria o no, e G. Thomson contemporaneamente a Davisson e Germer riuscirono a provarla, studiando le figure di diffrazione che si producevano 'sparando' su raticoli cristallini fasci di elettroni ad alta velocità. La lunghezza d'onda misurata coincideva con quella prevista dalla for-

mula di De Broglie, che restava così dimostrata.

Schrödinger

Una teoria matematica di questo fenomeno apparve nel 1926 per opera di Schrödinger, che ideò un'equazione generale del fenomeno ondulatorio; l'equazione è troppo complicata per un'elementare trattazione del problema comunque la differenza con il modello di De Broglie, a livello fisico, è questa: il modello di De Broglie dà l'idea di una vibrazione unidimensionale lungo l'orbita, mentre quello di Schrödinger è tridimensionale e la vibrazione si manifesta in ogni punto del volume atomico. Per descrivere un tipo di moto tridimensionale occorrono tre numeri (due nodali ed uno azimutale) e si può immaginare la complessità della trattazione che è comunque alla base della meccanica ondulatoria (ricordiamo comunque che la teoria non è relativistica e non tiene conto della creazione di particelle).

Con l'introduzione di queste teorie nella meccanica quantistica le 'vecchie' orbite circolari ed ellittiche vennero quindi sostituite da multiformi vibrazioni che riempiono l'atomo, che erano ~~rimaste~~ misteriose, per quanto riguarda il fatto fisico (cosa vibra?), e che avevano procurato non pochi grattacapi ai fisici dell'epoca, che avevano chiamato Ψ (nome che è poi rimasto) la funzione d'onda in mancanza di termini e spiegazioni migliori.

L'importanza che ha avuto e che ha la famosa 'funzione d'onda' Ψ di Schrödinger nel campo della meccanica quantistica è stata fondamentale e la trattazione meriterebbe di essere ampliata molto, ma la complessità della trattazione matematica e concettuale dell'argomento rende impossibile il parlarne nell'ambito di una preparazione liceale.

Importanza della meccanica ondulatoria

La meccanica ondulatoria ha allargato molto le prospettive

della teoria dei Quanti, specie per quanto riguarda le cosiddette 'reazioni nucleari'. Uno dei problemi del tempo era infatti capire come le particelle α potessero sfuggire alle forze di coesione presenti nel nucleo: esse infatti, come calcolò Rutherford, avevano energia cinetica molto inferiore a quella che sarebbe stata necessaria per riuscire a sfuggire, eppure in natura raggi α vengono emessi spontaneamente da elementi come il Radio, l'Uranio e così via; inoltre spesso le particelle α 'sparate' contro il nucleo riuscivano a superare troppo facilmente la repulsione coulombiana e formavano nuovi atomi "artificiali". Tutto questo, secondo la meccanica classica sarebbe stato impossibile, eppure era stato verificato.

Per capire come la meccanica ondulatoria possa spiegare il problema è necessaria un'analogia con l'ottica: un raggio luminoso che cade su una superficie di vetro con un angolo m viene rifratto con un angolo minore t soddisfacendo la condizione $\frac{\sin m}{\sin t} = n$ (indice di rifrazione); capovolgendo la situazione e facendo passare il raggio luminoso dal vetro all'aria avremo $\frac{\sin m}{\sin t} = \frac{1}{n}$, con un angolo di rifrazione più grande di quello d'incidenza; se l'angolo d'incidenza supererà un certo valore il raggio verrà completamente riflesso indietro (nel vetro). Secondo l'ottica ondulatoria questo non è del tutto vero: infatti la luce non viene riflessa sul confine esatto tra vetro ed aria, ma penetra nell'aria ad una profondità di alcune lunghezze d'onda λ e viene poi rispedita nel vetro.

Questo corrisponde a realtà perchè si è dimostrato che ponendo un'altra lastra di vetro a qualche micron dal vetro originario (qualche λ) si nota un debole raggio che prosegue nel vetro aggiunto nella direzione originaria.

Analogamente le onde di De Broglie possono attraversare zone di spazio 'proibite' nella meccanica classica e le particelle α in

questo modo superano zone con energia di repulsione o di attrazione notevolmente più forti dell'energia da loro posseduta. I materiali radioattivi sono sorgenti di particelle perchè queste, sebbene abbiano poche possibilità di sfuggire, tramite gli innumerevoli urti che sostengono ogni secondo riescono a fuoriuscire con una certa continuità; in ogni caso bisogna aggiungere che le probabilità di questi eventi diventano non trascurabili solo per particelle di massa atomica e 'barriere' energetiche non più larghe di 10^{-12} cm.

Proseguendo nella ricerca già nel 1929 si riuscì a dimostrare che le collisioni nucleari causate da grande moto termico sono responsabili della produzione energetica termonucleare nelle stelle. Le odierne centrali atomiche utilizzano reazioni termonucleari controllate per produrre energia elettrica, il tutto, naturalmente, contro le leggi della meccanica classica.

Il principio d'indeterminazione di Heisenberg

Quasi contemporaneamente all'uscita dello scritto di Schrödinger sulla meccanica ondulatoria apparve un lavoro di Werner Heisenberg che trattava lo stesso argomento in una maniera completamente diversa, giungendo comunque agli stessi risultati.

Secondo Schrödinger il moto degli elettroni era governato da un sistema di onde di De Broglie tridimensionale che circondava il nucleo, le cui forme e frequenze erano determinate dal campo di forze elettromagnetiche; Heisenberg, guardando più astrattamente la questione, considerò l'atomo come forse composto da un insieme infinito di 'oscillatori' virtuali, le cui frequenze erano tutte quelle possibili che l'atomo può emettere. Quindi mentre una certa frequenza, nell'equazione di Schrödinger, era il risultato di due funzioni d'onda ψ_m e ψ_n , in Heisenberg la singola frequenza corrispondeva al singolo oscillatore.

Utilizzando l'algebra delle matrici (non commutativa $ab \neq ba$) per descrivere questi fenomeni così complessi, Heisenberg risolse il suo problema. Con questo metodo infatti ad ogni grandezza fisica, come la frequenza, come la velocità, la quantità di moto, corrisponde non un numero od una funzione ma una matrice, cioè una tabella costituita da un numero finito od infinito di righe e colonne.

I singoli elementi della matrice sono numeri collegati a quantità direttamente osservabili della grandezza fisica considerata (per esempio intensità e frequenza luminosa emesse dall'atomo).

Sostituendo i valori della quantità di moto (p) e della posizione di equilibrio (q) trovati nelle equazioni della meccanica classica, Heisenberg prevedeva di trovare le singole frequenze e ampiezze d'onda degli 'oscillatori'. Ma anche in questo caso bisognava introdurre un'altra condizione che determinasse la differenza tra pq e qp , ugua-

li nella meccanica classica; Heisenberg suppose che questa differenza (messa in forma di matrice anch'essa) fosse uguale alla matrice I , avente un coefficiente numerico ordinario di valore $\frac{h}{2\pi i}$.

$$\text{Quindi } p \cdot q - q \cdot p = \frac{h}{2\pi i} \cdot I.$$

Aggiungendo questa condizione alle equazioni della meccanica classica, scritte in forma matriciale, Heisenberg ottenne gli stessi risultati di Schrödinger, che in seguito riuscì a dimostrare l'identità matematica delle due teorie, che in realtà potevano essere addirittura dedotte l'una dall'altra.

La nuova teoria dei quanti (nella forma ondulatoria o matriciale) dava indubbiamente ottimi risultati dal punto di vista sperimentale della previsione matematica dei fenomeni atomici, ma non diceva niente sull'aspetto fisico di quest'atomo così sconcertante. La risposta in questo senso fu data dallo stesso Heisenberg nel 1927 e rivoluzionò la concezione comune di traiettoria di un corpo fisico, rendendola più incerta per la comprensione ma più precisa dal punto di vista fisico.

Certamente, disponendo di apparecchi di misura appropriati, è sempre possibile determinare la posizione e la velocità di un oggetto in moto simultaneamente, o meglio questo corrisponde al 'senso comune' e alla meccanica classica. Il 'senso comune' era già stato messo a dura prova da Albert Einstein, che aveva rivoluzionato la concezione di tempo e di 'simultaneità' e che aveva provato che per avvenimenti al di fuori della comune esperienza umana le cose non corrispondevano più alle normali concezioni che l'uomo aveva concepito in millenni di storia; ora, la traiettoria era sempre stata descritta con una linea priva di spessore lungo la quale si muoveva l'oggetto, cioè un punto adimensionale. Nessuno aveva mai dubitato sull'efficacia di una simile rappresentazione del moto che ef-

fettivamente aveva sempre avuto successo nella previsione di avvenimenti fisici di natura macroscopica.

L'esistenza dei fenomeni quantici, non spiegati dalla fisica classica, fece sorgere ad Heisenberg dubbi circa l'efficacia di una simile concezione del moto. Esaminando la situazione nel caso del moto dell'elettrone egli concluse che necessariamente non si potesse osservare la situazione senza disturbare il moto stesso; infatti gli apparecchi di misura producono sempre perturbazioni che variano le condizioni d'osservazione.

Per riuscire ad esaminare il moto di una particella bisogna infatti investirla di 'quanti di luce' che trasferiranno la loro quantità di moto ($\frac{h\nu}{c}$) alla particella stessa, comunicandogli una variazione della quantità di moto $\Delta p \approx \frac{h\nu}{c}$. Continuando ad osservare aumentiamo progressivamente il disturbo. L'unico modo per diminuire il disturbo consiste nel diminuire la frequenza, il che, per la relazione $\nu = \frac{c}{\lambda}$ significherebbe un aumento di lunghezza d'onda che renderebbe però impossibile l'identificazione delle particelle, divenute troppo piccole rispetto all'ampiezza dell'onda.

Quindi per poter 'vedere' con una certa approssimazione le particelle atomiche e subatomiche occorre usare fotoni con una frequenza e lunghezza d'onda appropriate.

L'indeterminazione della posizione diventa quindi $\Delta q \approx \lambda \approx \frac{c}{\nu}$, e inserendo questa relazione in quella della quantità di moto ($\Delta p \approx \frac{h\nu}{c}$) abbiamo che:

$$\Delta p \Delta q \approx h$$

che è la famosa relazione d'indeterminazione di Heisenberg. Facendo poi comparire la velocità nella suddetta relazione si ha: $\Delta v \Delta q \approx \frac{h}{m}$ e si capisce come le deviazioni dalla meccanica classica diventino consistenti solo per masse di ordine atomico (ricordiamo che $h = 6,77 \times 10^{-27}$).

Quindi se il fenomeno è di ordine macroscopico l'indeterminazione di Heisenberg non è apprezzabile, se invece il fenomeno è di ordine microscopico, cioè atomico o subatomico, non sarà possibile assegnare alla particella una velocità ed una posizione definiti nello stesso istante, questo perchè l'influenza dell'osservazione sul fenomeno produce necessariamente variazioni nel moto della particella osservata.

Poichè in fisica atomica^e nucleare la nozione di traiettoria lineare perde inevitabilmente valore, l'unico modo per descrivere il moto di queste particelle diventa la funzione ψ di De Broglie-Schrödinger; essa non rappresenta una realtà fisica, una massa (neanche le 'vecchie' traiettorie del resto) ma si può chiamare una 'linea matematica allargata', che definisce la 'probabilità' (cfr. cap.1 parte II°) che una particella abbia una certa velocità e stia in una certa posizione nello spazio.

Dirac: le antiparticelle

Fino al 1928 nello sviluppare la teoria dei Quanti non si era tenuto conto degli effetti che doveva avere la teoria della relatività di Einstein nei fenomeni fisici presi in considerazione; per quasi trent'anni queste due grandi teorie restarono indipendenti l'una dall'altra.

Sia la teoria di Bohr che l'equazione d'onda di Schrödinger erano teorie non relativistiche, ma il problema non si era mai posto perchè le velocità in gioco erano frazioni minori dell'1 per cento della velocità della luce ed i valori trovati erano un'approssimazione più che sufficiente dei valori reali.

Nel 1925 i fisici Goudsmith e Uhlenbeck avevano dimostrato che per spiegare alcune caratteristiche degli spettri atomici era necessario che l'elettrone avesse un certo 'spin' ed un certo momento magnetico; per spiegare la produzione del campo magnetico osservato si dovevano assegnare valori di velocità superiori a quelli della luce per i punti situati sull'equatore dell'elettrone rotante (che immaginavano essere una sferetta carica di diametro $3 \cdot 10^{-13}$ cm). Sembrava quindi evidente a questo punto la necessità di una teoria che eliminasse le discordanze tra idee quantistiche e relativistiche.

Nella meccanica classica il tempo non era trattato omogeneamente, dal punto di vista matematico, alle altre coordinate (spaziali) che definiscono il moto di una particella, e questa situazione si rifletteva sulla meccanica ondulatoria di Schrödinger, in cui spazio e tempo erano due entità radicalmente diverse..

Per riformulare la teoria quantistica su basi relativistiche occorre necessariamente parificare il ruolo dello spazio e del tempo: H. Minkowski, seguendo principi relativistici, giunse a formulare l'ipotesi di un continuo spazio-temporale a quattro dimensio

ni dove il tempo, moltiplicato per l'unità immaginaria $i = \sqrt{-1}$ era considerato equivalente alle tre coordinate spaziali.

Finalmente nel 1928 P.A.M. Dirac, inglese, ideò la sua "equazione lineare", simmetrica nello spazio e nel tempo, modificando parzialmente l'equazione d'onda di Schrödinger e introducendovi le unità immaginarie necessarie per l'operazione. L'equazione dette subito ottimi risultati, riuscendo a spiegare tutte le particolarità spettroscopiche ed annullando il paradosso dell'elettrone rotante con velocità periferica superiore a quella della luce. In realtà l'elettrone diventava una carica puntiforme, senza diametro apprezzabile, che si comportava come se fosse un magnete.

A questo punto sorgeva un'altra difficoltà: secondo le teorie relativistiche una massa m_0 a riposo è equivalente all'energia (in erg) $m_0 c^2$ (c =velocità della luce, $E=mc^2$ famosa relazione di Einstein). Quindi se una massa si muove con una velocità v , e v è di ordine immensamente inferiore a c (se v è dell'ordine di c si ha $E_{cin} = \left[m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \right]$), l'energia cinetica sarà data dalla relazione classica $E_{cin} = \frac{1}{2} m v^2$ con sufficiente approssimazione e l'energia complessiva sarà $E = m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2 \left(\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right)$; per le proprietà matematiche della meccanica relativistica sarà ora doveroso aspettarsi un tipo di moto corrispondente ad $E = -m_0 c^2 - \frac{1}{2} m_0 v^2$ e come si può immaginare quest'equazione è identica alla prima solo sostituendo ad m_0 una massa uguale $-m_0$, cioè una massa negativa.

Un tipo di massa negativo è infatti possibile nell'ambito della teoria della relatività, solo che realmente non si era mai riscontrata l'esistenza di antimateria e quindi si era parlato di semplice 'possibilità' matematica indesiderata; equazioni del genere $E = -m_0 c^2$ ($E < 0$) avevano senso solo nella teoria ma non avevano alcuna rispondenza nella realtà. Invero, le proprietà di materia avente massa negativa sembravano essere così stravaganti da eccitare si

la fantasia degli studiosi, ma anche suscitare la diffidenza. Immaginiamo infatti due particelle - elettroni - con masse di valore assoluto uguale ma di segno opposto, caricate ambedue negativamente: per la legge di Coulomb ci sarà una forza che tende a separarle, ma mentre se avessero tutte e due massa positiva la forza elettrostatica le allontanerebbe facendole accelerare all'infinito, il fatto che posseggono masse di segno opposto conduce le particelle ad accelerare nella stessa direzione, mantenendosi sempre a distanza costante.

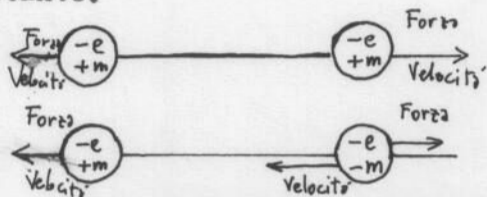


Fig. 12 :
L'interazione con particelle di massa negativa è diversa.

In questo modo la somma delle due energie cinetiche delle particelle sarà uguale a zero ($\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}(-m)v^2 = 0$), cioè la stessa che si aveva all'inizio, prima che il moto cominciasse, rispettando così il principio di conservazione dell'energia.

Comunque nella meccanica relativistica classica la possibilità dell'esistenza delle antiparticelle risultava facilmente eliminabile; infatti il salto energetico minimo, cioè quello dell'elettrone, risultava essere di circa 1MeV (l'energia a riposo dell'elettrone è circa 0,5MeV - dalla formula $E=mc^2$), e siccome cambiamenti di energia discontinui non erano ammessi la faccenda sembrava così risolta.

La meccanica quantistica, ponendo le sue basi sulla discontinuità dell'energia, o meglio sul suo ragionamento in pacchetti discreti, poteva invece tranquillamente ammettere questa situazione ma l'effetto che ne poteva risultare sembrava sconvolgente: gli elettroni potevano 'saltare' a loro piacimento dagli stati di massa positiva a quelli di massa negativa creando scompensi non indifferenti nella nostra concezione della materia.

Per evitare questa situazione paradossale, Dirac pressuppose che tutti gli strati corrispondenti alla massa negativa nell'atomo fossero occupati, non permettendo così agli elettroni con massa positiva di 'saltarci' dentro; questa cosa già avveniva per quanto riguarda gli strati ad energia più bassa già occupati (K,L, etc.), che non potevano accogliere nuovi elettroni dagli strati più alti.

Questo tipo di spiegazione non convinse neanche lo stesso Dirac, dato l'incredibile numero di elettroni con massa negativa che sarebbero dovuti esistere e visto che comunque nessun tipo di apparecchiatura sarebbe stata in grado di rilevarli; per questo Dirac si pose in una nuova prospettiva: se un elettrone negativo (di carica), colpito per esempio da un raggio X, viene a mancare nello strato K, questo 'buco' equivale ad una carica positiva, e la discesa di altri elettroni dallo strato L al K e poi dallo strato M a quello L equivale all'ascesa della carica positiva sempre più in alto fino allo spazio interatomico, il tutto in pieno accordo con la legge di Coulomb che vuole che il nucleo positivo respinga l'elettrone fittizio positivo ('positone').

Tornando agli elettroni con massa negativa distribuiti dappertutto come voleva Dirac, la mancanza di un elettrone negativo di massa negativa sarebbe stata osservata come presenza di una carica positiva $+e$, quindi di un normale elettrone carico positivamente, un positone.

La proposta di Dirac fu oggetto di molte critiche da parte di Bohr e Pauli ma ad appena un'anno dalla sua pubblicazione, nel 1932, un fisico americano, Carl Anderson, mentre studiava gli elettroni dei raggi cosmici che attraversavano un intenso campo magnetico scoprì che alcuni di questi elettroni deviavano dalla parte opposta di quella verso la quale deviavano gli elettroni normali: erano gli elettroni positivi previsti dalla teoria di Dirac.

Studi sperimentali eseguiti in laboratorio hanno confermato le caratteristiche previste da Dirac, infatti si è scoperto che queste nuove particelle era possibile produrle in condizioni sperimentali preordinate 'sparando' un fascio di raggi γ contro piastre metalliche; entrando in collisione con i nuclei degli atomi i raggi γ scomparivano cedendo la loro energia per formare due elettroni, uno negativo ed uno positivo; naturalmente questo processo ha luogo solo se l'energia $h\nu$ dei quanti di raggi γ è superiore ad 1MeV ($2mc^2$), necessaria per formare i due elettroni (l'energia in eccesso viene comunicata agli elettroni sotto forma di energia cinetica). Una volta formati i due elettroni hanno sorti diverse: il normale elettrone negativo viene lentamente catturato dalla materia che lo circonda, invece il positone dura solo finchè non incontra un altro elettrone (-) annichilandosi nell'urto ed emettendo almeno due quanti di raggi γ (di energia e frequenza uguali ma di quantità di moto uguale ed opposta).

Questo processo di creazione di materia partendo dall'energia dei raggi γ e di annichilazione della stessa irradiazione è uno degli esempi più spettacolari della realtà fisica della famosa formula di Einstein $E=mc^2$, che sanziona come materia ed energia siano due aspetti della stessa 'sostanza' che compone il nostro universo.

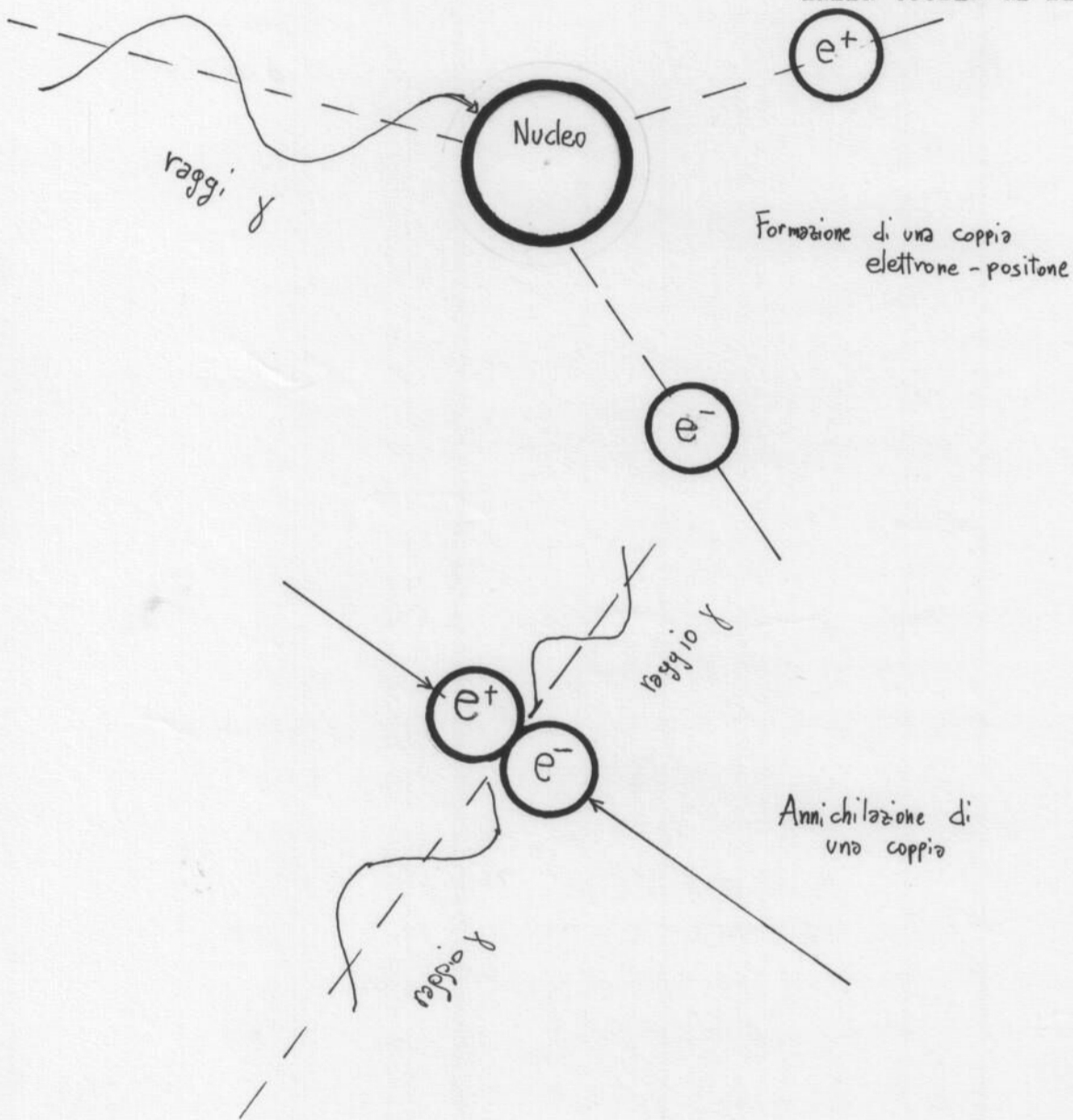
Aperta la strada con la scoperta dell'anti-elettrone, dal 1932 ad oggi si è trovato per via sperimentale - nonostante le enormi energie da mettere in gioco - che esistono anti-protoni, anti-neutroni, anti-neutrini ed in genere che per ogni particella conosciuta esiste una rispettiva anti-particella (a parte il fotone).

Nelle teorie attuali materia ed anti-materia hanno un ruolo simmetrico per quanto riguarda gli scambi di materia e di energia; proprietà fondamentale dell'incontro tra particelle ed anti-particelle è la loro annichilazione in fotoni (per protone ed anti-protone è più

probabile l'annichilazione in mesoni). Ciò nonostante l'universo non sembra simmetrico, cioè il mondo sembra costituito solo di materia, di normali protoni, neutroni ed elettroni; questo è anche normale, perchè se così non fosse avverrebbe l'annichilazione immediata di tutto quanto, però rimane un mistero il perchè la simmetria riscontrata nei laboratori non corrisponda a realtà fattuale: il discorso rimane aperto.

Fig.13 :

Le trasformazioni previste dalla teoria di Dirac.



- CAPITOLO III -

Sviluppi significativi della meccanica quantistica sino ad oggi, problemi aperti.

Dopo i grandiosi sviluppi dei primi trent'anni di questo secolo la teoria dei Quanti ha stentato a svilupparsi ancora, a migliorarsi; l'ultima vera teorizzazione riuscita rimane quella di Dirac, che unificò elegantemente la teoria della relatività con la meccanica quantistica tramite la teoria delle anti-particelle.

Le stesse teorie di Fermi e Jukawa sulle interazioni nucleari zoppicano un po' quando si tenta di generalizzarle troppo e le costanti che vi compaiono sono da rilevarsi sperimentalmente senza alcuna spiegazione circa il significato del loro valore numerico in relazione con le altre costanti fondamentali.

Nonostante questa mancanza a livello teorico la ricerca sperimentale ha continuato a fornire un numero enorme di nuovi dati, collegati con regole empiriche sufficienti per la comprensione di problemi specifici; tra l'altro vengono anche introdotte nuove idee, il cui significato per i non addetti ai lavori resta oscuro, come "parità", "stranezza", "fascino" (incanto), "bellezza" (1981).

Comunque, come si è accennato, dopo il 1932 Fermi e Jukawa riuscirono a dare ancora qualcosa nel campo teorico; un 'qualcosa' che introdusse il mondo intero nella cosiddetta 'era nucleare'.

II

Il lavoro di Fermi.

Il fisico italiano Enrico Fermi, grande teorico e grande sperimentatore, si dedicò principalmente a sviluppare una teoria matematica del decadimento β in cui un elettrone - od un positone - e un anti-neutrino - od un neutrino - sono emessi simultaneamente da nuclei atomici instabili. Nella sua teoria Fermi seguì la falsariga del-

l'emissione del quanto di luce da parte di un elettrone; certo la situazione era più complessa: un neutrone che possedeva una certa energia si trasformava in un protone, cambiando così la sua carica elettrica (il neutrone è neutro elettricamente), e venivano emesse contemporaneamente due particelle con caratteristiche tutt'affatto diverse .

Il problema maggiore era scoprire quali forze fossero responsabili delle trasformazioni β , dato che non erano né forze elettromagnetiche, né forze nucleari (interazione forte), né tanto meno forze gravitazionali; era sicuramente un quarto tipo di forza e Fermi suppose che la probabilità che un neutrone si trasformi in un protone dando luogo alla formazione di una coppia elettrone-antineutrino fosse proporzionale al prodotto delle intensità di quattro corrispondenti funzioni d'onda in qualunque punto dato all'interno del nucleo.

Servendosi di procedimenti matematici molto complessi Fermi calcolò le forme di spettro che doveva assumere la radiazione β in relazione all'energia in gioco; i risultati sperimentali confermarono la sua teoria. Rimaneva un solo problema insoluto: il coefficiente di proporzionalità (g) doveva essere calcolato per confronto con i dati sperimentali e non poteva essere dedotto matematicamente; l'estrema piccolezza del valore assoluto di questa costante $g(10^{-49} \text{ erg.} \cdot \text{cm.}^3)$ determina il fatto che l'emissione di una coppia di elettrone-antineutrino (positone-neutrino) può richiedere moltissimo tempo. Possedendo queste caratteristiche queste interazioni vennero chiamate 'deboli' e la forza che le causava 'forza debole'.

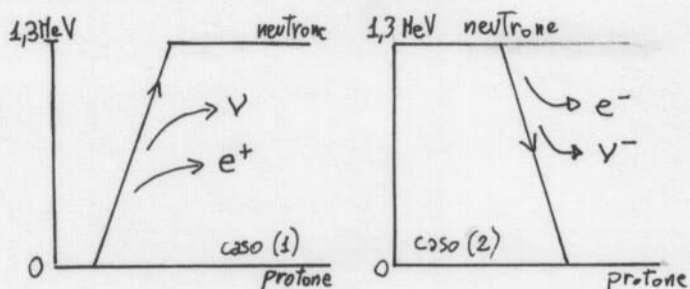
Quindi il processo di decadimento β risponde alle leggi di interazione di Fermi che possono prevedere quantitativamente la radiazione prodotta.

In realtà la differenza di massa fra neutrone e protone è di 1,3 MeV, e quest'energia - o massa - serve in parte per formare gli elettroni (0,5 MeV) ed in parte per dare energia cinetica ad elettrone, protone (in minima parte) e all'antineutrino.

Un processo analogo è quello dell'emissione del positone che avviene quando fornendo energia al sistema un protone si trasforma in un neutrone emettendo anche un neutrino.

Fig. 14:

Interazioni nucleari di Fermi.



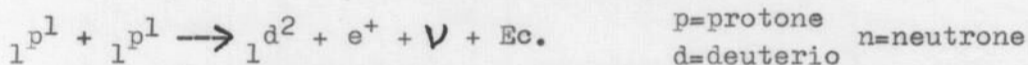
Il decadimento β risponde quindi a questa tabella:

(1) da protone a neutrone ${}_z X^A + \text{energia} \rightarrow {}_{z-1} X^A + e^+ + \bar{\nu} + E_c$

(2) da neutrone a protone ${}_z X^A \rightarrow {}_{z+1} X^A + e^- + \nu + E_c$

X=elemento chim./ Z=numero di protoni
 ν=neutrino / A=numero di nucleoni

Il caso (1) può avvenire anche con l'annichilazione di un elettrone dello strato K: ${}_z X^A + e^- \rightarrow {}_{z-1} X^A + \bar{\nu} + E_c$. Nella stessa categoria del decadimento β avviene anche il processo di formazione del deuterio (scontro tra due protoni in cui uno diventa un neutrone mettendo un positone e un neutrino):



Sempre utilizzando le relazioni d'interazione di Fermi i fisici Reines e Cowan dimostrarono l'esistenza del neutrino:

$${}_z X^A + \bar{\nu} + E_c \rightarrow {}_{z-1} X^A + e^+ + E_{cin} \quad ({}_1 p^1 + \bar{\nu} + E_c \rightarrow {}_0 n^1 + e^+ + E_c)$$

la quantità di neutroni e positoni osservata confermò pienamente la legge d'interazione di Fermi.

Enrico Fermi oltre ad essere un valente fisico teorico fu un eccellente sperimentatore e le sue ricerche nel campo della nascente fisica nucleare sono da considerarsi fondamentali (bombardamento con neutroni lenti, pila atomica, etc. etc.), anche se la sua attiva collaborazione al progetto di costruzione della bomba atomica rimane una nota stridente in una vita dedicata allo sviluppo della scienza, crediamo per la pace. La

Lavorando alla sua pila a uranio (Chicago 1942) Fermi escogitò anche un modo per calcolare la vita media del neutrone: piazzando un recipiente sferico in cui era stato fatto il vuoto all'interno della pila, i neutroni generati nel processo di fissione dovevano attraversare continuamente la bottiglia; quando uno di essi decadeva dentro (secondo il solito processo di decadimento β) il protone e l'elettrone così formati non potevano più uscire e piano piano la bottiglia si riempiva di idrogeno la cui quantità dipendeva dalla probabilità di decadimento del neutrone in quello spazio.

La vita media stimata del neutrone risultò essere di circa 15 minuti ed al termine di questo tempo il neutrone decadeva nella maniera descritta.

Jukawa e i 'mesoni'

Risultò presto evidente che l'interazione 'debole' di Fermi non poteva essere utilizzata per spiegare le forze di coesione nucleare: essa era infatti troppo debole, più debole di un fattore 10^{14} di quella necessaria per spiegare il forte legame che unisce i nucleoni (oppure Barioni o anche Adroni).

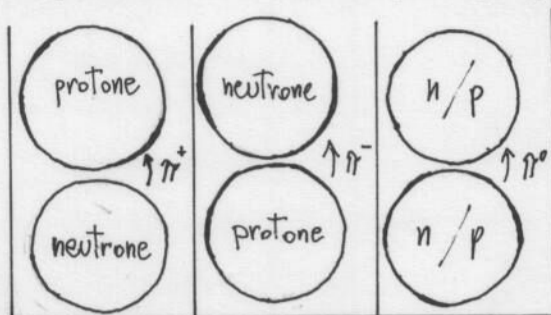
Le forze di attrazione tra nucleoni, siano essi due neutroni, o un protone e un neutrone, o due protoni, era risaputo che dovevano essere identiche, aggiungendo nell'ultimo caso la normale repulsione coulombiana; la loro caratteristica più evidente è che queste forze si manifestano d'improvviso solo ad una distanza di 10^{-13} cm, unendo così strettamente le particelle che in seguito dovranno essere necessari 10^6 eV per separarle di nuovo. L'opinione comune per spiegare questa forza era che i nucleoni si 'scambiavano' particelle di massa sufficiente per spiegare la forte attrazione; scartata l'ipotesi di uno scambio ~~di uno scambio~~ di ^{una} coppia elettrone-neutrino perché troppo debole -appena 10^{-8} eV- Jukawa, nel 1935, propose una idea completamente nuova: doveva esistere un tipo diverso di particella che veniva scambiato dai nucleoni e doveva avere una massa più di duecento volte più pesante di quella dell'elettrone. La costante dell'interazione di Jukawa doveva quindi essere 10^{14} volte più grande della costante g di Fermi e rendeva la nuova forza 'forte' paragonabile alla forza elettromagnetica.

Nel 1937 si credette di aver scoperto questa nuova particella (il mesone) nei raggi cosmici ma essa risultò essere ancora troppo leggera (solo 207 volte più pesante dell'elettrone); fu solo nel 1947 che, esaminando i raggi cosmici nell'alta atmosfera, si scoprì il mesone giusto, con massa 273 volte più grande di quella dell'elettrone che è il responsabile delle forze nucleari; il mesone (muone) osser

vato al livello del mare era solo un prodotto del decadimento del mesone π , o pione, particella ipotizzata da Jukawa per spiegare la coesione nucleare

fig. 15 :

Lo scambio di mesoni π previsto da Jukawa.



Proseguendo nella ricerca si sono scoperti sempre nuove particelle che interagiscono nella materia, alcune stabili, altre con vita media addirittura trascurabile, ma tutte importanti per approfondire le nostre conoscenze sulla struttura fondamentale del mondo.

Le particelle si suddividono ora in quattro grandi gruppi:

- 1) il fotone (anti-particella di se stesso)
- 2) Leptoni: neutrini, elettroni, muoni (e corrispettive anti-particelle)
- 3) Barioni (Nucleoni) : protoni, neutroni (iperoni, part.cascata, omega meno) - rispettive anti-particelle.
- 4) Mesoni: pioni carichi e neutri (kaoni e mesoni eta).

Prospettive e problemi aperti.

Il problema teorico.

Dagli anni trenta ad oggi, si è detto, non sono stati fatti rilevanti passi avanti nel campo della generalizzazione teorica e certamente occorrerà colmare questa lacuna con la nascita di nuove idee e modi di pensare che cambieranno le prospettive della scienza proprio come le due grandi teorie, della Relatività e dei Quanti, hanno fatto all'inizio del secolo.

Intanto sappiamo che la natura è governata da quattro forze fondamentali, di cui solo due hanno effetti osservabili direttamente nell'esperienza umana: la forza gravitazionale e quella elettromagnetica; il loro effetto diminuisce con il quadrato della distanza ed è osservabile - teoricamente - all'infinito.

Le altre due forze non sono percepibile direttamente perchè la loro influenza viene esercitata su un raggio di azione non più grande di un nucleo atomico. La forza forte tiene legati assieme protoni e neutroni e sembra anche le stesse particelle che costituiscono i nucleoni (quark); la forza debole è responsabile del decadimento di certe particelle.

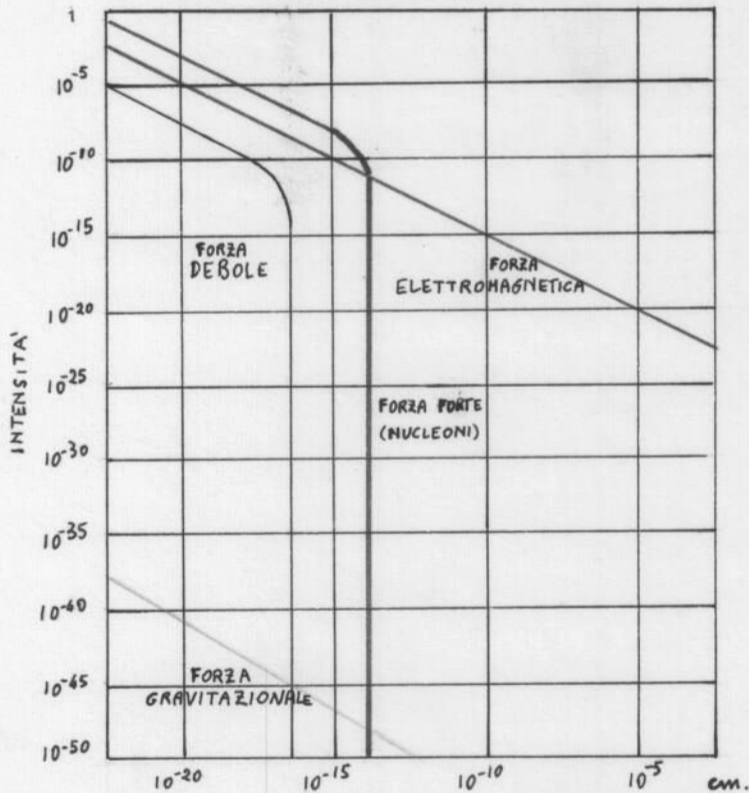


Fig. 16:

Le quattro forze fondamentali della natura: intensità e raggio d'azione. Notiamo come forza elettromagnetica e gravitazionale estendono il loro campo d'azione all'infinito, mentre forza debole e forte hanno un campo d'azione limitato.

La massima aspirazione dei fisici è sempre stata quella di costruire una sola teoria che riesca a comprendere tutte le forze note, che riesca cioè a rendere conto di tutto il reale.

Oggi la forza debole e l'elettromagnetismo possono essere interpretate nel contesto di un'unica teoria, lasciando però le forze nella singolarità della loro azione e dei loro aspetti; ciò che è veramente importante è che ormai le quattro forze sono descritte da teorie che hanno la stessa 'forma' matematica generale (teoria di gauge) e che quindi l'unione in una singola teoria che renda conto di tutte e quattro le forze contemporaneamente non è impossibile, specie a lungo termine.

Asimmetria dell'antimateria.

Un altro problema affascinante del quale a lungo si è parlato è quello dell'antimateria, specialmente riguardo alla simmetria che sembra avere nei laboratori, dove le leggi naturali non sembrano esprimere preferenze tra materia e antimateria. Infatti la totale simmetria che invece si riscontra nella realtà è quanto meno strana, se si pensa che particelle ed anti-particelle vengono scoperte spesso insieme; così per un po' di tempo tra i fisici ha regnato la convinzione che materia ed anti-materia fossero confinate in regioni dello spazio così lontane tra loro da non poter interagire.

Oggi come oggi si tende invece a credere che l'asimmetria presente sulla terra sia la stessa in tutto l'universo, cioè che la materia predomini invariabilmente sull'antimateria; a supporto di questa tesi c'è una teoria e qualche prova.

Prima che l'universo raggiungesse l'età di 10^{-35} secondi c'era la più totale simmetria di materia ed antimateria, in seguito però (la descrizione dettagliata risulta dalla nostra trat-

tazione) collisioni violente di particelle hanno prodotto una asimmetria lieve - una parte in più di materia su circa due miliardi - e la successiva annichilazione di tutta l'antimateria con la materia ha così dato luogo al nostro universo, formato da quella piccola percentuale della materia primaria.

Le prove consistono nell'assenza di antimateria nei raggi cosmici, che provengono da ogni parte dell'universo e nel fatto che le sorgenti astronomiche di raggi γ (forse prodotti dall'annichilazione reciproca di materia e antimateria) non presentano le caratteristiche giuste per accertare la presenza del processo di annichilazione.

Certamente queste prove non possono escludere la possibilità che esistano regioni di spazio dove c'è antimateria, ma il fatto che non sussistano prove a favore di una tale ipotesi convince sempre più i fisici sulla realtà dell'asimmetria cosmica tra materia ed antimateria. Una prova finale potrebbe essere fornita dai telescopi per neutrini in costruzione (situati preferenzialmente sotto le montagne per schermare le altre radiazioni) dato che c'è una grossa differenza tra l'ipotetica radiazione di neutrini di una stella di anti-materia e quella di una stella normale; oltretutto l'interazione quasi nulla che il neutrino ha in generale con la materia ci potrebbe garantire l'autenticità delle informazioni che porta.

I telescopi per neutrini presentano comunque immani difficoltà costruttive (proprio per la loro caratteristica di non interagire) che ritardano il momento in cui si potrà confermare o abbattere questa teoria sull'asimmetria cosmica di materia ed antimateria.

Conclusione

Altri problemi, migliaia di problemi, sussistono per quanto riguarda lo studio delle particelle vecchie e nuove, per esempio ultimamente è stato affrontato il discorso riguardo alla struttura interna del protone, supposto come formato da particelle (ben difficilmente rilevabili) chiamate 'quark'; altri problemi ci sono ancora in cosmologia ma in definitiva l'unica mancanza grave che si è avvertita negli ultimi decenni non è tanto quella della ricerca e della sperimentazione, ma proprio quella teorica, in quanto all'enorme afflusso di nuove conoscenze empiriche non è corrisposta la necessaria spiegazione e generalizzazione teorica.

La teoria dei quanti e quella della relatività, migliorate tecnicamente ma invariate negli assunti iniziali sono ancora la guida della ricerca che talvolta però non riescono più a controllare .

La teoria della gravitazione di Newton ha durato più di duecento anni dettando legge prima di mostrare le sue inevitabili pecche (senza nulla togliere alla grandezza di Newton e dei suoi trattati), aspettiamo quindi senza troppa fretta una nuova teoria che riesca a sostituire - magari non totalmente - questi grandi pilastri della fisica creati da una mente geniale come quella di Albert Einstein e da una serie di grandissimi scienziati come Planck , Bohr, Pauli, Schrödinger, Heisenberg, Dirac; chissà che i primi trent'anni del duemila non ci riservino le stesse sorprese che l'inizio del novecento ha riservato alla meccanica classica.

BIBLIOGRAFIA

Per la PARTE I:

- MYRIAM CRISTALLO - IL NOVECENTO sintesi interdisciplinare
Torino, ed. PARAVIA
Pagine 31-36/42-44/50-51/124/228-229/330-334/336-337/339-340.
- R. VILLARI - STORIA CONTEMPORANEA ed. LATERZA
Cap.XII/XIII/Cenni sulla rivoluzione russa/
Dopoguerra e fascismo.
- F. PAPI - FILOSOFIE E SOCIETA' Bologna, ed. ZANICHELLI
Pagine 322/403-407.
- C. SALINARI -SOMMARIO DI STORIA DELLA LETTERATURA ITALIANA
ED. RIUNITI
(passim-riguardante gli argomenti svolti)
- S. GUGLIELMINO - GUIDA AL NOVECENTO ed. PRINCIPATO
(passim-riguardante gli argomenti svolti)

Per la PARTE II:

- M.CRISTALLO - IL NOVECENTO sintesi interdisciplinare (Vol.1°)
Pagine 58/66/249-257.
IL NOVECENTO documenti
Pagine 63-64 ed. PARAVIA
- G. GAMOW - TRENT'ANNI CHE SCONVOLSERO LA FISICA ed. ZANICHELLI
- E.W.H. Wichmann - FISICA QUANTISTICA (Vol.4-La fisica di Berkeley)
ed. ZANICHELLI
(passim)
- THE PROJECT PHYSICS COURSE
(unità 4/5) Pagine sez.5/122-123 ed. ZANICHELLI

- G. CORTINI + LA RELATIVITA' RISTRETTA ed.LOESCHER
Pagina 72
- M. GLIOZZI - STORIA DELLE SCIENZE vol.II U.T.E.T.
Di (passim- riguardo Fermi)
- ////////// - RIVISTA: 'LE SCIENZE' numeri 141,144,150.
articoli riguardanti gli argomenti svolti

APPUNTI da conferenze tenute nel 1981 alla Protomoteca di Roma
(in particolare la conferenza del Prof. Castagnoli sul 'neutri-
no' 8/4/1981).

= =

Nota sulle figure :

Figura 1: tratta da NOVECENTO vol. 1/ Fig. 2: grafici tratti
dal GAMOW e da FISICA QUANTISTICA 4/ Fig. 3: dal GAMOW/ Fig.
4, 5 tratte dal GAMOW / Fig. 6: deduzione dell'autore/ Fig. 7
ed 8 liberamente dal GAMOW/ Fig. 9,10,11 tratte dal GAMOW/
Fig. 12 e 13 tratte liberamente dal GAMOW/ Fig. 14 da FISICA QUAN-
TISTICA 4/ Fig. 15 liberamente dal GAMOW/ Fig. 16 da LE SCIENZE
n° 144.

INDICE

- Pag. 1 - PREMESSA METODOLOGICA
- Pag. 4 -PARTE I: INTRODUZIONE STORICO-CULTURALE GENERALE
- Periodo storico 1900-1914: gli avvenimenti principali (pag.5)/L'affermazione dei sindacati e le riforme (pag.5)/La situazione italiana (pag.9)/La grande guerra-periodo 1914-'18 (pag.13)/Cenni sulla rivoluzione russa (pag.16)/Il dopoguerra ed il fascismo in Italia: periodo 1918-'30 (pag.18)/Panoramica culturale: cenni sulla filosofia (pag.24)/Cenni di cultura letteraria (pag.29).
- Pag. 34 -PARTE II: NASCITA E SVILUPPO DELLA MECCANICA QUANTISTICA.
- Pag. 35 - CAPITOLO I - Antecedenti, crisi della fisica classica, nascita della meccanica quantistica.
- La crisi del meccanicismo (pag.35)/Valenza socio-ideologica della crisi del meccanicismo e nascita delle nuove teorie (pag.40)/La nascita della meccanica quantistica come risposta a precise mancanze teoriche: un nuovo modo di concepire il reale (pag.42).
- Pag. 47 - CAPITOLO II -LO sviluppo della meccanica quantistica (1900-1930).
- Max Planck (pag.47)/L'atomo di Bohr (pag.52)/Sommerfeld (pag.57)/Il lavoro di Pauli (pag.59)/La nascita della meccanica ondulatoria (pag.66)/Schrödinger (pag.67)/Il principio d'indeterminazione di Heisenberg (pag.70)/Dirac: le antiparticelle (pag.74).
- Pag. 80 - CAPITOLO III - Sviluppi significativi della m.q. sino ad oggi, problemi aperti.
- Il lavoro di Fermi (pag.80)/Jukawa e i mesoni (pag.84)/Prospettive e problemi aperti (pag.86)/Conclusione (pag.89).
- Pag.90 - BIBLIOGRAFIA