

IL BOSONE DI HIGGS

1/4

IL BOSONE DI HIGGS È DIVENTATO COSÌ IMPORTANTE, NELL'AMBITO DEL MODELLO STANDARD, DA MERITARE IL SOPRANNOFME DI "PARTICELLA DI DIO". LA SUA ESISTENZA È LEGATA AL FENOMENO CHIAMATO "ROTTURA DI SIMMETRIA". LA SIMMETRIA IN OGGETTO È QUELLA CHE REGOLA LE INTERAZIONI ELETTROMAGNETICHE E NUCLEARI DEBOLI (QUESTE ULTIME SONO RESPONSABILI DELLA RADIOATTIVITÀ E DELLO SPENDERE DEL SOLE).

L'ESISTENZA IN NATURA DI SIMMETRIE SEMPLIFICA ENORMEMENTE LA SOLUZIONE DELLE EQUAZIONI CHE NE DESCRIVONO LE LEGGI. AD ESEMPIO, IN PRESENZA DI FORZE CHE RISULTANO SIMMETRICHE RISPETTO ALE ROTAZIONI, BASTERÀ RISOLVERE PER UNA DIREZIONE ARBITRARIA DELLO SPAZIO, E GENERALIZZARE IL PROBLEMA A TUTTE LE DIREZIONI.

IL "CAMPO DI HIGGS" (DAL NOME DI PETER HIGGS) DESCRIVE CIÒ CHE ACCADE QUANDO VIENE SPONTANEAMENTE ROTTA UNA SIMMETRIA CHE GOVERNA INTERAZIONI MEDIATE DA CAMPI DETTI "DI GAUGE", COME QUELLE ELETTROMAGNETICHE E NUCLEARI DEBOLI. LA PAROLA GAUGE, "CALIBRO", INDICA CHE TALI SIMMETRIE CONSENTONO DI CALIBRARE DA UN PUNTO ALL'ALTRO DELLO SPAZIO-TEMPO LA FUNZIONE CHE DESCRIVE LE PARTICELLE ELEMENTARI.

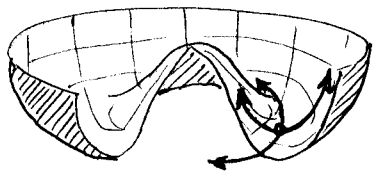
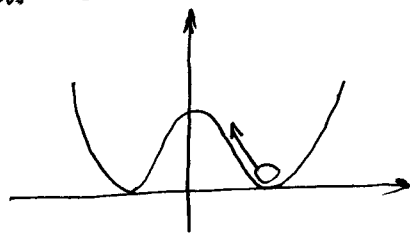
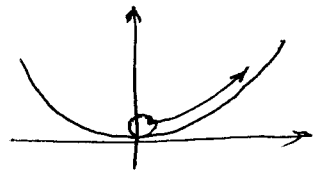
TUTTE LE INTERAZIONI ELEMENTARI DI CUI SI HA EVIDENZA IN NATURA SONO LEGATE A SIMMETRIE DI GAUGE. TALI SIMMETRIE ADOPTANO DEI MEDIATORI PER TRASMETTERE LE INTERAZIONI: I FOTONI PER LE FORZE ELETTROMAGNETICHE, I BOSONI W E Z PER LA FORZA NUCLEARE DEBOLE, I GLUONI PER LA FORZA NUCLEARE FORTE, I GRAVITONI PER LE FORZE GRAVITAZIONALI. NELLA TEORIA DI GAUGE TALI MEDIATORI SONO A MASSA NULLA, E CIÒ GARANTISCE INTERAZIONI A LUNGO RAGGIO. L'EVIDENZA SPERIMENTALE TUTTAVIA HA INTRODOTTO UN'ECCEZIONE A QUESTA REGOLA, INQUANTO LE INTERAZIONI NUCLEARI SONO MEDIATE DA PARTICELLE DOTATE DI MASSA, E QUINDI HANNO UN RAGGIO LIMITATO.

PER POTER CONCLUDERE UNA TEORIA DI GAUGE CON DEI MEDIATORI MASSICCI È NECESSARIO IPOTIZZARE UN FENOMENO DI ROTTURA SPONTANEA DELLA SIMMETRIA, ED ASSOCIARLO AD UNA TEORIA CHE DESCRIVA UNA NUOVA INTERAZIONE CON PARTICELLE NUOVE FINORA NON OSSERVATE.

LE PARTICELLE ELEMENTARI COINVOLTE NELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI SONO DESCRITTE, NELLA MECCANICA QUANTISTICA, DA EQUAZIONI CHE REGOLANO LA DISTRIBUZIONE DI CAMPI NELLO SPAZIO-TEMPO. DALLE FUNDAZIONALI DI TALI CAMPI SONO DETERMINATI I MOTI DELLE PARTICELLE. COSÌ I FOTONI SONO LEGATI AI QUANTI DI W E Z E QUINDI AL CAMPO ELETTROMAGNETICO: ALLA RESISTENZA INCONTRATA DAL CAMPO A FUTURARE INTERNO AL SUO STATO DI MINIMA ENERGIA È COLLEGATA LA MASSA DELLA PARTICELLA ASSOCIATA AL CAMPO.

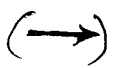
(→)

(→) LA PIÙ SEMPLICE TEORIA DI CAMPO CHE MOSTRA UNA ROTTURA SPONTANEA DI SIMMETRIA È QUELLA CHE CONSIDERA UN CAMPO DEFINITO DA UN INSIEME DI COPPIE DI NUMERI ASSOCIATO AD OGNI PUNTO DELLO SPAZIO-TEMPO, DETTO CAMPO SCALARE COMPLESSO, IN UNO SPAZIO BIDIMENSIONALE IN CUI SU ASSI RAPPRESENTANO I VALORI DELLE DUE COPPIE DI NUMERI. UNA ROTAZIONE IN QUESTO PIANO NON MODIFICA LE EQUAZIONI DI CAMPO. CI SI ASPETTA CHE ANCHE IL CAMPO CHE REALIZZA LO STATO DI MINIMA ENERGIA, DETTO IL VUOTO, SIA INVARIANTE PER ROTAZIONE. QUINTO, PERO', DIPENDE DALL' ANDAMENTO DELL' ENERGIA PER UN CAMPO COSTANTE, DETTO POTENZIALE. NORMALMENTE IL POTENZIALE, CHE RAPPRESENTA L' ENERGIA DEL CAMPO, HA UN MINIMO PER VALORI NULLI DEL CAMPO. IN ALTRE PAROLE, LO STATO DI MINIMA ENERGIA (IL VUOTO) È QUASI "SENZA PARTICELLE", OSSIA A CAMPO NULLO. È QUESTO IL CASO DI UN POTENZIALE CON "CAMPO A SCODELLA", CON IL MINIMO DI ENERGIA NEL PUNTO PIÙ BASSO E CURVATURA IDENTICA IN TUTTE LE DIREZIONI. IN QUESTO CASO, UN SEMPLICE CASO DI ROTAZIONE DELLA SIMMETRIA È OTTENUTA PASSANDO DALLA FORMA A SCODELLA A UNA FORMA DEL POTENZIALE "A FONDO DI BOTTE" O "A SOMBRERO" SE LA FORMA "A SCODELLA" GOODE DI UNA PERFETTA SIMMETRIA PER ROTAZIONI ATTORNO AL SUO ASSE, LO STESSO SI PUÒ DIRE DELLA FORMA "A SOMBRERO", QUINDI LA SIMMETRIA È CONSERVATA NEL PASSAGGIO DALL'UNA ALL'ALTRA CONFIGURAZIONE. LA SECONDA PERO' PRESENTA UNA ROTTURA SPONTANEA DI SIMMETRIA: UNA PALLINA POSTA SUL FONDO DEL "SOMBRERO" SCIVOLEREBBE DA UNA PARTE, INVECE DI RESTARE AL CENTRO COME FAREBBE "UNA SCODELLA. INOLTRE, ^{INTORNO} OSCILLA ALL' EQUILIBRIO SE SPINTA IN DIREZIONE DELLA SALITA, MA NON OSCILLA AFFATTO SE SPINTA IN DIREZIONE DELL'AVALLAMENTO, PERCHÉ ESISTONO INFINITI MINIMI EQUIVALENTI LUNGO IL FONDO CIRCOLARE, TUTTI CONEGATI DALLA SIMMETRIA PER ROTAZIONI. IN QUESTO CASO IL MINIMO DEL CAMPO SI REALIZZA SUL FONDO DEL "SOMBRERO", DOVE IL CAMPO È DIVERSO DA ZERO. IL VUOTO, IN QUESTO CASO, È RIEMPIUTO DAL "RUOTORE DI FONDO" DEL CAMPO AL SUO MINIMO. LA ROTTURA DI SIMMETRIA PORTA CON SÉ LA COMPARSA DI DUE PARTICELLE DI MASSA DIVERSA, UNA PER CASCUNA



DEVE DUE POSSIBILITÀ DI OSCILLAZIONI INTORNO AL MINIMO DEL POTENZIALE. PER LE OSCILLAZIONI IN DIREZIONE DELLA SALITA, A FREQUENZA DIVERSA DA ZERO, LA PARTICELLA MEDIATRICE DEL CAMPO HA MASSA DIVERSA DA ZERO. PER LE OSCILLAZIONI A FREQUENZA NULLA LUNGO LA "VALLE DEI MINIMI", LA PARTICELLA ASSOCIATA HA MASSA NULLA ED È CHIAMATA BOSONE DI GOLDSTONE, DAL NOME DEL FISICO INGLESE CHE PER PRIMO HA EVIDENZIATO QUESTO FENOMENO.

A FREQUENZA NULLA LUNGO LA "VALLE DEI MINIMI", LA PARTICELLA ASSOCIATA HA MASSA NULLA ED È CHIAMATA BOSONE DI GOLDSTONE, DAL NOME DEL FISICO INGLESE CHE PER PRIMO HA EVIDENZIATO QUESTO FENOMENO.



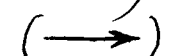
UNA ROTTURA DI SIMMETRIA COLLEGATA A UN CAMPO SCALARE ASSICURA CHE SIA CONSERVATA L'INVARIANZA CHE REGGE LE LEGGI DELLA RELATIVITA' RISTRETTA. CIO' RICHIEDE TRA L'ALTRO CHE CONTINUI A VALERE L'INVARIANZA PER ROTAZIONE: SE IL VALORE NON NULO NEL VUOTO FOSSE AD ESEMPIO QUELLO DI UN CAMPO ELETTRICO, LA SUA DIREZIONE DEFINIREBBE UN ASSE PRIVILEGIATO NELL'UNIVERSO, IL CHE VIOLEREBBE L'INVARIANZA PER ROTAZIONI.

IL FENOMENO DI HIGGS E' L'EVOLUZIONE DEL FENOMENO DI ROTTURA SPONTANEA DELLA SIMMETRIA IN PRESENZA DI UN CAMPO DI GAUGE, COME IL CAMPO ELETTROMAGNETICO, E IL BOSONE DI HIGGS NASCE PROPRIO DALL'APPLICAZIONE DELLA ROTTURA SPONTANEA DI SIMMETRIA ALL'INVARIANZA DI GAUGE CHE GOVERNA LE INTERAZIONI DEI CAMPI.

I MEDIATORI DI GAUGE, COME I FOTONI DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO, DI NORMA SONO A MASSA NULLA, A GARANZIA DELLA SIMMETRIA DELLA QUALE GODONO. NEL CASO DI ROTTURA SPONTANEA DELLA SIMMETRIA, PERO', LA PROPAGAZIONE DEL CAMPO DI GAUGE NEL VUOTO "RIEMPIUTO" DAL CAMPO SCALARE DI FONDO GENERA UNA MASSA DOVUTA ALL'INTERAZIONE CON QUELLO. IMMAGINIAMO AD ESEMPIO UNA FOIA DI PERSONE, CHE SIMULA UN PUEZO IL QUALE PERVADE LO SPAZIO, IL "VUOTO DI HIGGS". SE UN DIVO HA INGRESSO NELLA SALA, ESU ALTRE ANIMATORI, E COSI' IL SUO PASSAGGIO "CREA" NELLA STANZA UNA "PERTURBAZIONE" CHE AUMENTA PROGRESSIVAMENTE DI INTENSITA'. QUELLO AUMENTA L'INERZIA DEL DIVO CHE, CIRCONDATO DI GENTE, SEMBRA ACQUISTARE MASSA, COME UNA PARTICELLA NEL VUOTO DI HIGGS.

ALLO STESSO MODO, IL VALORE DI VUOTO NON NULO DEL CAMPO SCALARE RENDENDO MASSICCIO IL CAMPO ELETTROMAGNETICO SENZA ROMPERE LE PROPRIETA' DI SIMMETRIA. QUELLO FENOMENO RICONCILIA INVARIANZA DI GAUGE E MEDIATORI DI GAUGE DOTATI DI MASSA, AL PREZZO DI UNA NUOVA INTERAZIONE NASCOSTA CON IL CAMPO SCALARE. COSI' IL BOSONE DI GOLDSTONE VIENE RIVESTITA IN UNA NUOVA COMPONENTE FISICA DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO, SOTTO FORMA DI POLARIZZAZIONE DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO LUNGO LA DIREZIONE DEL MOTO. LA PARTICELLA A MASSA NON NULLA, CORRISPONDENTE A FLUTTUAZIONI DEL CAMPO FUORI DALLA VALLE DEI MINIMI, E TESTIMONE DELL'ESISTENZA DI UN NUOVO TIPO DI INTERAZIONI FONDAMENTALI, QUELLA DELLE PARTICELLE SCALARI.

UN MATERIALE SUPERCONDUTTORE TENDE AD "ESTERMINARE" LE LINEE DI FORZA DEL CAMPO MAGNETICO: CIO' CONTRADDICE IL COMPORTAMENTO USUALE DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO, CHE SI PROPAGA NELLO SPAZIO SENZA ATTENUARSI, E CHE HA UN'INFLUENZA A LUNGO RASSIO, DATO CHE I SUOI MEDIATORI (I FOTONI), HANNO MASSA NULLA. E' COME SE NEL MIEZO "SPECIALE" COSTITUITO DAL SUPERCONDUTTORE IL CAMPO ACQUISTASSE UNA MASSA NON NULLA, ED ESU DEFINISSE UNA DISTANZA FINITA ENTRO CUI IL CAMPO PUO' FAR SENTIRE IL SUO EFFETTO. QUESTA MASSA E' FORNITA DALL'INTERAZIONE CON UN CAMPO SCALARE DI VUOTO. IN REALTA' NEL SUPERCONDUTTORE NON CI SONO CAMPI SCALARI, MA SOLO ELETTRONI E NUCLIDI. COME HANNO SCOPERTO PAPA' BARDEEN, COOPER E SCHRIFFER, CHE SVELARONO I MISTERI DELLA SUPERCONDUTTIVITA', IL CAMPO SCALARE NASCE DALL'ACCOPPIAMENTO A DUE A DUE GLI ELETTRONI PER FORMARE STATI LEGATI A SPIN INTERO, OSSIA BOSONI (GLI ELETTRONI INVECE SONO FERMIONI)



(→)

SE NE DEDUCE CHE IL CAMPO DI HIGGS NON È UN ESCARTOZZE MATEMATICO MA UNA REALTÀ FISICA, ALL'OPERA AD ESEMPIO NEL CASO DELLA SUPERCONDUTTIVITÀ, E CHE NON RAPPRESENTA UNA QUINTA FORZA FONDAMENTALE, MA SOLO UN MODO PER DESCRIVERE IL COMPORTAMENTO DELLE COPPIE DI FERMIONI CHE LO COMPARSONO.

IL CAMPO DI HIGGS FORNISCE IL MECCANISMO ATTRAVERSO CUI UNA PARTICELLA ACQUISISCE UNA MASSA. TUTTAVIA IL BOSONE DI HIGGS NON È STATO TROVATO ALLE ENERGIE FINORA ESPLORATE: LA SUA MASSA DIPENDE DALLE FORZE "SCALARI" CON CUI INTERAGISCONO LE PARTICELLE SCALARI, CHE RAPPRESENTANO UNA VERA E PROPRIA NUOVA INTERAZIONE OLTRE ALLE QUATTRO FONDAMENTALI ADIACENTEMENTE ESISTENTE A STUDI E VERIFICHE SPERIMENTALI. TRATTANDOSI DI UNA PARTICELLA DI MASSA TROPPO DEBOLTA PER ESSERE STATA PRODOTTA NEGLI ESPERIMENTI CONFINATI O IN FASE DI CONCLUSIONE SINO AD OGGI, ESSA HA POTUTO INFLUENZARE LE PROPRIETÀ DI INTERAZIONE DELLE PARTICELLE ATTRAVERSO LE CORREZIONI, RADIATIVE, O FLUTTUAZIONI QUANTISTICHE, DELLA SUA MASSA. LO STUDIO DI QUESTE CORREZIONI È AVVENUTA CON ESTREMA PRECISIONE NEGLI ANNI '90 PRESSO IL LEP (L'ACCELERATORE AD ELETTRONI E POSITRONI) DI GINEVRA, ED HA PORTATO INDICAZIONI SULL'ESISTENZA DEL BOSONE DI HIGGS, RESTRINGENDO IL CAMPO DEI VALORI POSSIBILI PER LA SUA MASSA IN UNA FUTURA ESPLORAZIONE. SI SPERA CHE L'LHC (LARGE HADRON COLLIDER) DI GINEVRA POSSA PRODURRE IL BOSONE DI HIGGS, PERMETTENDO COSÌ DI CHIARIRNE LE PROPRIETÀ E, SOPRATTUTTO, L'ELEMENTARITÀ. IN OGNI CASO, SENZA L'OSSERVAZIONE DEL BOSONE DI HIGGS, IL MODELLO STANDARD DELLE PARTICELLE ELEMENTARI RIMANE INCOMPLETO E PRIVO DI UNO DEI SUOI TASSEMI CRUCIALI, IL SOLO A DIPENDERE DALLE FORZE SCALARI.

DAL PUNTO DI VISTA TEORICO, UN ULTERIORE ELEMENTO CHE RENDE IL BOSONE DI HIGGS IMPORTANTISSIMO DA TROVARE È L'INFLUENZA DELLE CORREZIONI DOVUTE ALLE FLUTTUAZIONI QUANTISTICHE DELLA SUA MASSA. A DIFFERENZA DI QUANTO AVVIENE PER LE PARTICELLE ORDINARIE DI MATERIA, INFATTI, COME GLI ELETTRONI O I QUARK, TALI CORREZIONI RISCHIANO DI ESSERE PER LA PARTICELLA DI HIGGS ASSAI PIÙ GRANDI DEI VALORI CHE ESSE STESSA DOVREBBANO CORREGGERE. IL PROBLEMA DELLE CORREZIONI FUORI CONTROLLO VIENE DETTO DELLA "NATURALITÀ" O DELLA "GERARCHIA", E RAPPRESENTA UNO SCENARIO ASSAI INNATURALE. PER "ADDOMESTICARE" LE CORREZIONI È NECESSARIO INDIVIDUARE DEI POTENTI MECCANISMI DI CANCELLAZIONE CHE "PROTEGGANO" IL BOSONE DI HIGGS DALLE SUE FLUTTUAZIONI QUANTISTICHE. L'UNICO MECCANISMO EFFICACE SI BASTA SU UNA SIMMETRIA NON ANCORA RISCOPERTA IN NATURA, CHIAMATA SUPERSIMMETRIA. QUESTA PREVEDE L'ESISTENZA DI UN "COMPAGNO" PER OGNI PARTICELLA NOTA, ASSICURANDO COSÌ LA CANCELLAZIONE DELLE CORREZIONI QUANTISTICHE PIÙ PERICOLOSE. IN NATURA LA SUPERSIMMETRIA È ROTTA, POCHÉ I "PARTNER" SUPERSIMMETRICI NON HANNO LA STESSA MASSA DEI LORO CORRISPETTIVI. AI FERMIONI COME ELETTRONE E PROTONI CORRISPONDEREBBERO UN "SELETTONE" E UNO "SPRITONE", AI BOSONI COME IL FOTONE UN "FOTINO". LA ROTTURAZIONE DI SIMMETRIA LEGATA AL CAMPO DI HIGGS DOVREBBE NASCERE PROPRIO CON LE CONSEGUENZE DELLA ROTTURAZIONE DELLA SUPERSIMMETRIA, QUINDI ALLA STESSA SCALA DI ENERGIA. I PARTNER SUPERSIMMETRICI POTREBBERO INOLTRE ESSERE I CANDIDATI IDEALI PER RAPPRESENTARE LA MATERIA OSCURA, IN GRAN PARTE NON COMPOSTA DALLE PARTICELLE CONOSCIUTE.