



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

## FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Docente	Creazione	Stato	Chiusura
STEFANO FORTE		Da approvare	26-01-2012

Data di nascita	Codice fiscale
21-06-1961	FRTSFN61H21F205Q

Facolta	Settore	Carriera	A.A.
FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI (F)	FIS/02-Fisica teorica, modelli e metodi matematici	PROFESSORE UNIVERSITARIO DI RUOLO I FASCIA	2011/12

Strutt.Proprietaria	Strutt.Responsabile	Insegnamento	Modulo
FISICA (Classe LM-17) (F95)	SCIENZE E TECNOLOGIE FISICHE (F*07)	Teoria delle Interazioni Fondamentali 1 (F95-123)	()

### Forme didattiche previste dal Piano Didattico

- Lezioni(48 ore)

### Note

Nessuna

### Riepilogo Attività

Forma didattica	Stato	Numero	Ore
Lezioni	Da approvare	24	48

Dettaglio attività

Stato	Data	Ora inizio	Ore	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento/Note
Da approvare	VEN 07-10-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Interazioni fondamentali e riduzionismo. Fallimento del meccanicismo e visione moderna delle interazioni fondamentali. Regole cinematiche: invarianza e covarianza di Lorentz-Poincare', particella elementare come rappresentazione irriducibile. Regole dinamiche: meccanica quantistica. Meccanica quantistica come teoria con infiniti gradi di liberta'. Indeterminazione quantistica e non-conservazione del numero di particelle. Interazioni efficaci. Il sistema di unit'a naturali. Analisi dimensionale per i campi. Classificazione delle interazioni. Interazioni rinormalizzabili ed interazioni efficaci. Rinormalizzabilita' come principio "riduzionistico". Naturalezza e simmetria.
Da approvare	MER 12-10-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	L'elettrodinamica quantistica come prototipo di teoria di campo classica. Equazioni di Maxwell in forma covariante: tensore intensita' di campo e quadripotenziale. Equazioni di Eulero-Lagrange per i campi classici e formulazione lagrangiana della teoria di Maxwell. Invarianza di gauge. Conteggio dei gradi di liberta': la legge di Gauss come vincolo. Costruzione delle osservabili canoniche: teorema di Noether in teoria dei campi. Correnti e cariche conservate. Invarianza di Poincare': tensore energia-impulso e tensore di Lorentz. Invarianti sotto Poincare': quadrato del quadri-impulso e quadrato del quadri-vettore di Pauli-Lubanski. Caso di massa nulla: spin parallelo all'asse del moto.
Da approvare	VEN 14-10-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Il campo di Klein-Gordon (campo scalare reale libero). Lagrangiana, equazioni del moto, tensore energia impulso. Le soluzioni delle equazioni classiche del moto come coordinate normali. Quantizzazione canonica. Espressione dell'hamiltoniana in termini di operatori di creazione e distruzione. Cenni sulla quantizzazione del campo elettromagnetico. Gradi di liberta' fisici e polarizzazioni trasverse. Quantizzazione del campo scalare carico. Invarianza U(1) e corrente conservata. Espressione del campo in termini di operatori di creazione e distruzione. Hamiltoniana e carica in termini di operatori di creazione e distruzione. Particelle e antiparticelle.
Da approvare	MER 19-10-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	(Lezione tenuta dal dott. Emanuele Nocera). Derivazione dell'algebra del gruppo di Lorentz a partire dalla rappresentazione vettoriale infinitesima (invarianza della metrica). Esempi: rotazioni e boost. Natura vettoriale degli operatori impulso e op. di Pauli-Lubanski, e natura scalare dei loro quadrati. Operatori di Casimi per il gruppo di Poincare'. Espressione dell'impulso per il campo scalare reale in termini di operatori di creazione e distruzione.
Da approvare	VEN 21-10-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Costruzione delle rappresentazioni di spin 1/2 del gruppo di Lorentz. Le matrici gamma di Dirac: relazioni di anticommutazione ed espressione dei generatori del gruppo di Lorentz in termini di esse. Esempio: matrici gamma per le rotazioni in 3 dimensioni. Espressione esplicita della matrici gamma in 4 dimensioni in rappresentazione di Weyl. Hermiticita' delle matrici gamma. Spinore "barrato" e sue proprieta' di trasformazione. Costruzione del bilineare scalare. Trasformazione delle matrici gamma sotto l'azione aggiunta delle trasformazioni di Lorentz come ponte tra la rappresentazione di spin 1/2 e quella di spin 1. Bilineari fermionici come quadrivettori. Definizione di campo spinoriale. Lagrangiana libera del campo di Dirac: analisi dimensionale, simmetrie spazio-temporali e simmetrie interne (conservazione della carica). Equazioni classiche del moto. Tensore energia impulso. Corrente elettrica conservata. Soluzioni delle equazioni classiche del moto: equazione di Dirac ed equazione di Klein-Gordon. Equazione di Dirac per spinori di definito impulso: energia positiva ed energia negativa.
Da approvare	MER 26-10-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	(Lezione tenuta dal dott. Emanuele Nocera) Cenni sulla rappresentazione spinoriale del gruppo di Lorentz: natura vettoriale delle matrici gamma di Dirac. Soluzione esplicita dell'equazione di Dirac per gli spinori u e v in rappresentazione di Weyl (chirale). Caso di massa non nulla: sistema di quiete e sistema di riferimento generico. Normalizzazione covariante degli spinori. Caso di massa nulla: equazioni di Weyl (disaccoppiate). Definizione dell'operatore chiralita', autovalori ed autostati. Operatore di elicit'a': autovalori, autostati, e relazione con gli autostati di chiralita'.
Da approvare	VEN 28-10-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Quantizzazione del campo fermionico: espressione dell'hamiltoniana in termini di operatori di creazione e distruzione. Necessita' della

Da approvare	MER 02-11-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	quantizzazione mediante anticommutatori; principio di esclusione. Carica elettrica: particelle ed antiparticelle. Termini di interazione rinormalizzabili. Lagrangiana dell'elettrodinamica quantistica. Stati fisici: spazio di Fock. Rappresentazione di Heisenberg per i campi liberi. Ampiezze di transizione: evoluzione temporale e rappresentazione di interazione. Matrice S e sua rappresentazione come elemento di matrice nel vuoto di un prodotto cronologico di operatori. Normalizzazione covariante degli stati fisici. Elemento di matrice di un'insertione singola dell'hamiltoniana di interazione: defivazione del vertice di Feynman. Caso piu' generale: regole per le funzioni d'onda entranti ed uscenti. Rappresentazione grafica e diagrammi di Feynman. Elemento di matrice di un'insertione doppia: transizione tra una coppia di fermioni entranti ed una coppia di fermioni uscenti. Espressione in termini del propagatore del campo elettromagnetico.
Da approvare	VEN 04-11-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Forma covariante del propagatore del campo elettromagnetico e sua interpretazione fisica: particelle virtuali, prescrizione di Feynman. Somma sulle polarizzazioni per il campo elettromagnetico e sua rappresentazione covariante. Conservazione della corrente ed identita' di Ward. Propagatore per il campo fermionico. Formulazione generale delle regole di Feynman. Diagrammi connessi ed ampiezza vuoto-vuoto.
Da approvare	MER 09-11-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Conclusione della presentazione delle regole di Feynman: loop, fattori di simmetria, fermioni. Elettrodinamica con due specie di fermioni (elettrone e muone). Calcolo dell'ampiezza per il processo $e+e-\rightarrow\mu+\mu-$ . Somme sulle polarizzazioni: proiettori. Sviluppo su una base completa di matrici di Dirac. Riduzione del calcolo dell'ampiezza al calcolo di tracce. Tracce di matrici di Dirac.
Da approvare	VEN 11-11-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Calcolo del modulo quadro della ampiezza non polarizzata. Conteggio dei gradi di liberta' per processi $2\rightarrow 2$ . Invarianti di Mandelstam ed espressione in termini di essi dell'ampiezza. Scelta del sistema di riferimento: SR del laboratorio e del centro di massa. Sistema del centro di massa per il problema in esame: cinematica. Espressione dell'ampiezza. Ampiezza e sezione d'urto.
Da approvare	MER 16-11-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Calcolo della sezione d'urto: pacchetti d'onde. Modulo quadro dell'ampiezza e regola aurea di Fermi. Calcolo del fattore di flusso. Indeterminazione in posizione ed in impulso: stime qualitative.
Da approvare	VEN 18-11-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Fattore di flusso per $e+e-\rightarrow\mu+\mu-$ . Spazio delle fasi per questo processo nel sistema del centro di massa. Calcolo della sezione d'urto differenziale e totale. Limite di alta energia. Fermioni chirali. Struttura chirale della lagrangiana dell'elettrodinamica quantistica. Struttura di chiralita' e di elicita' della sezione d'urto per il processo $e+e-\rightarrow\mu+\mu-$ nel limite di alta energia.
Da approvare	MER 23-11-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	L'effetto Compton. Diagrammi di Feynman: diagrammi topologicamente equivalenti e non. Calcolo dell'ampiezza: termini di interferenza e non. Somma sulle polarizzazioni dei fotoni e identita' di Ward. Identita' utili nel calcolo delle tracce di matrici gamma. Risultato per l'elemento di matrice e sue proprieta'. Spazio delle fasi nel sistema di riferimento del laboratorio; formula di Compton. Sezione d'urto. Limite di bassa energia.
Da approvare	VEN 25-11-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	(lezione tenuta dal dr. Alessandro Vicini). Funzione di vertice dell'elettrone. Decomposizione piu' generale: fattori di forma elettrico e magnetico. Interpretazione fisica dei fattori di forma nel caso semiclassico: campo elettrico e campo magnetico macroscopici. Fattori di forma in avanti: carica elettrica rinormalizzata e $g-2$ dell'elettrone.
Da approvare	VEN 02-12-2011	12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Calcolo della correzione al vertice ad un loop. Espressione per l'ampiezza. Metodo dei parametri di Feynman. Integrali scalari e tensoriali. Espressione per il vertice: termine elettrico e termine magnetico. Irrelevanza dei diagrammi di self-energia per il calcolo del fattore di forma magnetico. Integrali scalari d-dimensionali. Rotazione di Wick. Angolo solido d-dimensionale. Calcolo del $g-1$ all'ordine alpha (risultato di Schwinger).
Da approvare	MER 14-12-2011	11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione alla rinormalizzazione. Rinormalizzazione nella teoria $\phi^4$ . Lagrangiana e regole di Feynman. Calcolo della sezione d'urto di scattering elastico $\phi-\phi$ ad albero. Correzioni ad un loop. Diagrammi di Feynman. Calcolo dell'ampiezza ad un loop: parametri di Feynman. Integrale divergente e necessita' della regolarizzazione. Vari metodi di regolarizzazione (cutoff, dimensionale, Pauli-Villars). Regolarizzazione dimensionale: analisi

						dimensionale modificata e scala di regolarizzazione. Calcolo della correzione ad un loop alla sezione d'urto in regolarizzazione dimensionale.
Da approvare	VEN 16-12-2011 12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Risultato regolarizzato per la sezione d'urto e sua divergenza nel limite $d=4$ . Significato di costante di accoppiamento. Costante di accoppiamento fisica: condizioni di rinormalizzazione. Rinormalizzazione: scomparsa della divergenza quando la sezione d'urto viene espressa in termini della costante di accoppiamento fisica. Diverse scelte per la condizione di rinormalizzazione: scala di rinormalizzazione. Indipendenza dei risultati dallo schema di rinormalizzazione. Schema fisico, schema simmetrico e schema minimale. Significato della rinormalizzazione: origine della divergenza dall'integrazione sui modi di oscillazione ultravioletti dei campi. Rinormalizzazione come inclusione dei modi ultravioletti nelle costanti di accoppiamento. Teorie rinormalizzabili e non.
Da approvare	MER 21-12-2011 11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Effetti sull'analisi dimensionale della necessità di introdurre una scala di rinormalizzazione. Indipendenza delle osservabili fisiche dalla scala di rinormalizzazione. Funzione beta. Equazione del gruppo di rinormalizzazione per osservabili fisiche che dipendono da una sola scala (limite di alta energia). Soluzione dell'equazione del gruppo di rinormalizzazione: costante di accoppiamento running. Calcolo della funzione beta per la teoria $\phi^4$ : schema simmetrico e schema minimale. Determinazione della costante di accoppiamento running attraverso la soluzione dell'equazione del gruppo di rinormalizzazione. Approssimazione leading log e limite di alta energia. Sezione d'urto "renormalization-group improved" e confronto con il calcolo esatto all'ordine $g^2$ . Funzione beta e costante di accoppiamento running in QED. Crescita della costante di accoppiamento ad alta energia e polo di Landau. Interpretazione fisica: polarizzazione del vuoto.
Da approvare	MER 11-01-2012 11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione alla teoria delle interazioni forti. Simmetrie della teoria: l'isospin. Stranezza e ipercarica. Scoperta delle risonanze. Classificazione SU(3) dei mesoni e dei barioni. Rottura di SU(3) e formula di Gell-Mann-Okubo. Ricerca di quark liberi e suo fallimento.
Da approvare	VEN 13-01-2012 12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Evidenza per la natura non puntiforme del protone: fattore di forma elettromagnetico del protone, esperimenti di Hofstadter. Sezione d'urto di sistemi composti, componente elastica e componente anelastica: esempio dell'urto di elettroni su nuclei. Urto profondamente inelastico e componenti quasiliberi nel nucleone. Evidenza per il colore. Teorie di gauge non-abeliane. Invarianza di gauge non abeliana per i campi di materia. Legge di trasformazione dei campi di gauge in forma finita ed infinitesima. Tensore intensità di campo e lagrangiana di pura gauge.
Da approvare	MER 18-01-2012 11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Cenni sulla quantizzazione delle teorie di gauge nonabeliane. Corrente covariantemente conservata ed equazioni classiche del moto. Corrente di Noether e stati asintotici. Identità di Ward on shell. Lagrangiana della QCD e sue simmetrie. Funzione beta per la QCD. Libertà asintotica. La "trasmutazione dimensionale" e la scala $\lambda_{QCD}$ . Il rapporto R: evidenza per la correttezza della descrizione perturbativa. Teoria di Fermi del decadimento beta. Costante di accoppiamento dimensionale, correnti chirali, correnti cariche. Correnti di quark, elementi di matrice e fattori di forma.
Da approvare	VEN 20-01-2012 12:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	La teoria di Fermi come teoria efficace: violazione dell'unitarietà ad alta energia. Problema delle masse. Correnti cariche della teoria di Fermi come correnti di Noether: gruppo SU(2) di correnti. Correnti neutre ed impossibilità di loro identificazione con quelle elettromagnetiche. Estensione del gruppo ad SU(2)xU(1). Lagrangiana di corrente neutra: rotazione della base dei campi. Identificazione del termine elettromagnetico. Corrente neutra della Z. Estensione ai quark. Multipletti. Matrici di massa e simmetrie globali della teoria.
Da approvare	MER 25-01-2012 11:30	2	L	dipartimento di Fisica	Lezioni	Il decadimento del muone. Propagatore per un campo vettoriale massivo: somma sulle polarizzazioni. Dal modello standard alla teoria di Fermi: espressione della costante di Fermi in termini della costante di accoppiamento elettrodebole. Somme sulle polarizzazioni in presenza di particelle di chiralità definita. Tracce con matrice $\gamma_5$ . Espressione per la larghezza: fattore di flusso. Integrazione di spazio delle fasi e decomposizione di Passarino-Veltman. Calcolo dello spettro e della larghezza totale: accuratezza del risultato e correzioni dominanti

