



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Docente	Creazione	Stato	Chiusura Conferma
STEFANO FORTE		Approvato	28-05-2010 29-05-2010
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	2009/10
Strutt.Proprietaria	Strutt.Responsabile	Insegnamento	Modulo
FISICA (Classe L-30) (F63)	SCIENZE E TECNOLOGIE FISICHE (F*07)	Fisica Moderna e Meccanica Quantistica (Mod. Fisica Moderna) (F63-10)	()

Forme didattiche previste dal Piano Didattico

- Lezioni (40 ore)
- Esercitazioni(20 ore)

Note

Nessuna

Riepilogo Attività

Forma didattica	Stato	Numero	Ore
Esercitazioni	Approvata	11	11
Lezioni	Approvata	26	49

Dettaglio attività

Stato	Data	Ora inizio	Ore	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento/Note
Approvata	MAR 02-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Fisica classica e fisica moderna: la fisica quantistica come grammatica universale della fisica moderna. Origini storiche della fisica quantistica nella fisica atomica, sua recente re-interpretazione come insieme di regole universali fondate su esperimenti cruciali. Piano del corso e sua organizzazione. L'esperimento di Zeilinger-Arndt. Caso classico: composizione di probabilita'. Caso quantistico: interferenza come composizione di ampiezze.
Approvata	GIO 04-03-2010	11:30	1	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Misura e scomparsa dell'interferenza. Interpretazione di Copenhagen della meccanica quantistica: significato dello stato quantistico e probabilita' della misura. Transizione classico-quantistico.
Approvata	VEN 05-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Sistema a due livelli (qubit): stati fisici (ket). Risultati di misure e probabilita'. Principio di sovrapposizione degli stati. Definizione di prodotto scalare e sue proprieta', ket e bra. Probabilita' in termini di prodotto scalare. Misure ripetute e rigenerazione. Sovrapposizione di stati ed interferenza distruttiva.
Approvata	MAR 09-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Misura di uno stato generico ed overlap (prodotto scalare) tra due stati. Relazione di completezza e risoluzione dell'identita'. Operatori: definizione, linearita', matrice associata e sua azione sugli stati. Operatore aggiunto e sua matrice. Valor medio di una osservabile: sua espressione come valor medio dell'operatore associato. Costruzione di operatori associati ad osservabili e loro proprieta' fondamentali: autostati (autovettori) ortonormali e autovalori reali.
Approvata	GIO 11-03-2010	11:30	1	A	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Svolgimento di problemi assegnati: misura come proiezione. Esempio di risoluzione dell'identita'.
Approvata	VEN 12-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Definizione di operatore hermitiano (o autoaggiunto). Hermitianita' degli operatori associati ad osservabili. Operatori hermitiani, autovalori reali ed autostati ortogonali: condizione necessaria e sufficiente nel caso degenerare e non. Riassunto dei principi base della meccanica quantistica; formulazioni equivalenti. Cambiamento di base: matrice di cambiamento di base, azione alias/alibi. Costruzione dell'operatore associato. Definizione di operatore unitario: unitarieta' dell'operatore di cambiamento di base.
Approvata	MAR 16-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Unitarieta' come conservazione della probabilita' (prodotto scalare). Trasformazione di operatori sotto cambiamento di base: azione aggiunta della trasformazione. Operatori unitariamente equivalenti: autovalori comuni. Misura simultane di operatori distinti. Esempio per un sistema a due livelli. Operatori compatibili ed incompatibili: autovettori comuni. Commutatore: condizione necessaria e sufficiente per la compatibilita' (caso non-degenerare).
Approvata	GIO 18-03-2010	11:30	1	A	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Svolgimento di problemi assegnati: Prodotto di piu' operatori. Esponenziale (ed in generale funzione) di un operatore. Prodotto di esponenziali ed esponenziale della somma: differenza tra operatori e numeri ordinari. Esponenziale di operatore hermitiano ed operatore unitario. Espresione della funzione di un operatore nella base dei suoi autostati. Hermitianita' dell'anticommutatore ed anti-hermitianita' del commutatore.
Approvata	VEN 19-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Operatori compatibili: esistenza degli autostati comuni nel caso degenerare. Insieme completo di operatori. Indeterminazione. Indeterminazione nulla in un autostato: condizione necessaria e sufficiente. Dimostrazione del principio di indeterminazione generalizzato: disuguaglianza di Schw arz; disuguaglianza per il prodotto in termini del commutatore.
Approvata	MAR 23-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Contenuto di informazione di uno stato quantistico. Non-misurabilita' della fase: gli stati quantistici come "raggi" (classi di equivalenza) nello spazio di Hilbert. Normalizzazione. Conteggio dei parametri liberi per uno stato di un sistema bipartito. Determinazione del valor medio e caratterizzazione completa della distribuzione dei risultati della misura di una singola osservabile per un sistema bipartito. Necessita' della misura di una seconda osservabile incompatibile per la determinazione dello stato. Matrice densita' per uno stato puro. Traccia e sue proprieta'. Matrice densita' per uno stato misto. Il valor medio come traccia.
Approvata	GIO 25-03-2010	11:30	1	A	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Risoluzione di problemi assegnati: determinazione degli autostati di due operatori compatibili nel caso degenerare. Calcolo dell'indeterminazione per operatori incompatibili. Indeterminazione massima nel caso di dimensione finita.
Approvata	VEN 26-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Esempio di matrice densita' per stati puri e stati misti.

					di Fisica	Caratterizzazione della matrice densita' per stati puri e misti: traccia e determinante. Parametrizzazione generale della matrice densita' in termini di matrici di Pauli. Traccia di prodotti di matrici di Pauli. Determinazione della matrice densita' attraverso misure di operatori associati a matrici di Pauli. Teorema di no-cloning. Introduzione ai sistemi quantistici meccanici in una dimensione. Autostati della posizione. Funzione d'onda.
Approvata	MAR 30-03-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Dimensionalita' dello spazio di autostati della posizione: passaggio al continuo. Relazione di completezza nel continuo. Delta di Dirac e sue proprieta' (invarianza di scala, simmetria, riscaldamenti). Ortonormalita' nel continuo: normalizzazione propria (stati fisici) e normalizzazione impropria (autostati della posizione). Elementi di matrice della relazione di completezza: "matrici" generalizzate al caso del continuo. Prodotto scalare tra funzioni d'onda. Operatori funzioni dell'operatore posizione nella base delle posizioni: elementi di matrice e valori medi in uno stato fisico.
Approvata	GIO 08-04-2010	11:30	1	A	Dipartimento Esercitazioni di Fisica	Risoluzione di problemi assegnati: calcolo di valori media con la matrice densita'. Uso della base delle matrici di Pauli. Comportamento della matrice densita' all'atto della misura.
Approvata	VEN 09-04-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Simmetrie e leggi di conservazione in meccanica classica e quantistica: legame tra simmetrie ed osservabili. Teorema di Noether e sua dimostrazione nel caso classico. Caso delle traslazioni: l'impulso come quantita' conservata. Le traslazioni in meccanica quantistica: azione sugli autostati della posizione e sugli stati fisici. Generatore delle traslazioni. Trasformazioni infinitesime ed elemento di matrice del generatore. Legge di conservazione nel caso quantistico: commutazione dell'operatore di evoluzione temporale e del generatore. L'impulso come generatore delle traslazioni. Costante h-tagliato. Traslazione dell'operatore posizione e commutatore posizione-impulso. Principio di indeterminazione di Heisenberg.
Approvata	MAR 13-04-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Elementi di matrice dell'operatore posizione e dell'operatore impulso nella base degli autostati della posizione. Hermitianita' degli operatori. Integrazione per parti. Autostati dell'operatore impulso: onde piane. Normalizzazione e rappresentazione della delta di Dirac. Passaggio dalla base degli autostati dell'impulso a quella degli autostati della posizione: trasformata di Fourier.
Approvata	GIO 15-04-2010	11:30	1	A	Dipartimento Esercitazioni di Fisica	Risoluzione di problemi assegnati: matrice densita' per uno stato su cui non si ha informazione. Delta di Dirac di una funzione.
Approvata	VEN 16-04-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Elementi di matrice degli operatori canonici nella base degli impulsi. Equivalenza della base delle posizioni e della base degli impulsi. Interpretazione in termini di indeterminazione: contenuto di informazione degli stati quantistici in termini di variabili canoniche. L'evoluzione temporale: il tempo come parametro. Distinzione tra le traslazioni temporali e le traslazioni spaziali: esistenza dell'operatore di traslazione temporale come condizione dinamica. L'operatore di evoluzione temporale in forma finita ed in forma infinitesima. Generatore dell'evoluzione temporale. Invarianza per traslazioni temporali in meccanica quantistica: indipendenza dal tempo del generatore, sua commutazione con l'operatore di evoluzione temporale, conservazione dei suoi autvalori. L'hamiltoniana come quantita' classicamente conservata sotto invarianza per traslazione temporale: il teorema di Noether generalizzato nel caso di trasformazioni che coinvolgono il tempo.
Approvata	MAR 20-04-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Il generatore dell'evoluzione temporale e l'operatore hamiltoniana: ruolo della costante \hbar e significato della sua universalita'. L'equazione di Schroedinger per gli stati in forma astratta e nella base delle coordinate per hamiltoniane di particella unidimensionale soggetta a potenziale dipendente dalle posizioni. L'equazione di Schroedinger per l'operatore di evoluzione temporale. Soluzione formale dell'equazione di Schroedinger. Caso di hamiltoniane indipendenti dal tempo; caso di hamiltoniane dipendenti dal tempo ma commutanti a tempi diversi. Il problema di hamiltoniane che a tempi diversi non commutano: prodotto cronologico. Derivata del prodotto cronologico.
Approvata	GIO 22-04-2010	11:30	1	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Forma esplicita dell'operatore di evoluzione temporale per hamiltoniane dipendenti dal tempo. Azione dell'operatore di evoluzione temporale sui vettori di stato: caso indipendente dal tempo, autostati dell'energia e stati qualunque. Dipendenza dal tempo di elementi di matrice di operatori qualunque tra autostati dell'energia (stati stazionari) e tra stati qualunque.
Approvata	VEN 23-04-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Evoluzione temporale di elementi di matrice di operatori e dipendenza temporale dei risultati delle misure: rappresentazione di Schroedinger e rappresentazione di Heisenberg. Relazione tra le due rappresentazioni per gli operatori e per gli stati. Leggi del moto in

					<p>rappresentazione di Heisenberg. Leggi del moto per gli operatori posizione ed impulso in rappresentazione di Heisenberg; commutatore tra p ed una funzione di q (e viceversa. (Lezione tenuta dal Dr. Alessandro Vicini).</p>	
Approvata	MAR 27-04-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	<p>Leggi del moto per le osservabili: Relazione tra meccanica classica e meccanica quantistica. Parentesi di Poisson e commutatori. Quantizzazione canonica alla Dirac attraverso la sostituzione Poisson \rightarrow commutatori. La particella libera in una dimensione. Autostati dell'energia ed autostati dell'impulso. Evoluzione temporale degli stati: onde piane. Evoluzione temporale degli operatori posizione ed impulso (in rappresentazione di Heisenberg) e dei loro elementi di matrice (usando la rappresentazione di Schroedinger). Commutatore di operatori posizione a tempi diversi: sparpagliamento di pacchetti d'onde.</p>
Approvata	GIO 29-04-2010	11:30	1	A	Dipartimento Esercitazioni di Fisica	<p>Risoluzione di problemi assegnati: l'operatore parita', sue proprieta', autofunzioni ed autovalori. Operatore traslazione nella base degli impulsi.</p>
Approvata	VEN 30-04-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	<p>Pacchetti d'onde: forma generale e dipendenza temporale. Interpretazione fisica di stati con posizione ed impulso determinati solo in media. Stati di minima indeterminazione: il pacchetto gaussiano. Costruzione, determinazione di valori medi ed indeterminazioni di posizione ed impulso. Spazio delle posizioni e spazio degli impulsi: proprieta' qualitative della trasformata di Fourier di uno stato localizzato.</p>
Approvata	MAR 04-05-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	<p>Pacchetto d'onde gaussiano nello spazio degli impulsi. Moto di un pacchetto d'onde. Velocita' di fase e velocita' di gruppo. Moto di un pacchetto gaussiano: rappresentazione di Schroedinger e rappresentazione di Heisenberg. Dipendenza dal tempo di valori medi ed indeterminazione di posizione ed impulso: equazione differenziale per entrambi nel caso generale. Caso gaussiano: dipendenza dal tempo dell'indeterminazione in posizione. Connessione con la relazione di indeterminazione per operatori posizione a tempi diversi.</p>
Approvata	GIO 06-05-2010	11:30	1	A	Dipartimento Esercitazioni di Fisica	<p>Risoluzione di esercizi assegnati: operatore traslazione e sua azione sull'operatore coordinata nella base degli impulsi. Considerazioni generali sull'uso della base degli impulsi o delle coordinate per il calcolo di commutatori. Commutatore dell'operatore impulso con l'operatore parita' e suoi elementi di matrice.</p>
Approvata	VEN 07-05-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	<p>Interpretazione fisica dell'allargamento del pacchetto gaussiano come conseguenza dell'indeterminazione in impulso. Stime numeriche: indeterminazione posizione-impulso e allargamento del pacchetto. Problemi unidimensionali: stati legati e problemi d'urto. La buca di potenziale infinita. Condizioni al contorno. Determinazione dello spettro. Carattere ondulatorio delle autofunzioni. Parita' e nondegenerazione dello spettro. Esistenza di uno stato fondamentale come conseguenza del principio di indeterminazione.</p>
Approvata	MAR 11-05-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	<p>Il gradino di potenziale. Matching delle soluzioni. Densita', corrente ed equazione di continuita'. Coefficienti di trasmissione e riflessione e loro determinazione. Riflessione totale e penetrazione sotto la barriera (lezione tenuta dal Dr. A. Vicini.)</p>
Approvata	GIO 13-05-2010	11:30	1	A	Dipartimento Esercitazioni di Fisica	<p>Risoluzione di esercizi assegnati. Costanti del moto. Evoluzione temporale per un sistema di spin 1/2 che precede in campo magnetico. Dipendenza dal tempo degli operatori posizione ed impulso per un potenziale lineare.</p>
Approvata	VEN 14-05-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	<p>La barriera di potenziale. Matching delle soluzioni. Simmetria del problema e calcolo dei coefficienti di trasmissione e riflessione. Effetto tunnel quantistico. Classificazione degli stati per potenziali generici. Stati del continuo e stati legati. Andamento delle soluzioni in varie regioni. Esistenza di stati legati.</p>
Approvata	MAR 18-05-2010	10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	<p>Riassunto delle proprieta' generali dello spettro di stati legati: discretezza, esistenza di almeno uno stato, energia nonnulla dello stato fondamentale e principio di indeterminazione. Dimostrazione della nondegenerazione dello spettro di stati legati nel caso unidimensionale. L'oscillatore armonico unidimensionale: sua importanza nel caso quantistico. Riassunto del caso classico: leggi del moto e leggi di conservazione. Caso quantistico. Dimostrazione delle proprieta' generali: positivita' degli autovalori di energia e discretezza dello spettro, struttura delle matrici di x e p nello spettro discreto. Operatori di creazione e distruzione: definizione, commutatore, hamiltoniana in termini di essi.</p>
Approvata	GIO 20-05-2010	11:30	1	A	Dipartimento Esercitazioni di Fisica	<p>Risoluzione di esercizi assegnati: dipendenza dell'indeterminazione in posizione dal tempo per il potenziale lineare. Pacchetto gaussiano col larghezza complessa.</p>

Approvata VEN 21-05-2010	10:30	2	403	Settore didattico	Lezioni	Determinazione dello spettro dell'operatore N. Esistenza dello stato fondamentale. Spettro di energia. Normalizzazione degli autostati e loro ortogonalita'. Elementi di matrice degli operatori di creazione, distruzione, posizione, impulso, energia cinetica e potenziale negli autostati di energia. Indeterminazione di posizione ed impulso: lo stato fondamentale come stato di minima indeterminazione. Determinazione degli stati nella base delle coordinate. Stato fondamentale gaussiano. Stati eccitati: polinomi di Hermite. Ortonormalita' e completezza per i polinomi di Hermite.
Approvata MAR 25-05-2010	10:30	1	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Evoluzione temporale per l'oscillatore armonico. Rappresentazione di Schroedinger ed evoluzione temporale degli stati. Evoluzione temporale per gli operatori posizione ed impulso in rappresentazione di Heisenberg. Calcolo mediante la formula di Baker-Campbell-Hausdorff. Evoluzione temporale degli operatori di creazione e distruzione: indipendenza dalla rappresentazione dell'evoluzione temporale dei loro elementi di matrice.
Approvata MAR 25-05-2010	11:30	1	A	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Risoluzione di esercizi assegnati. Trasformata di Fourier della gaussiana per il pacchetto di larghezza complessa, dipendenza dell'indeterminazione in posizione dal tempo. Calcolo della velocita' di gruppo per un pacchetto con relazione di dispersione generica: inizio.
Approvata GIO 27-05-2010	11:30	1	A	Dipartimento di Fisica	Esercitazioni	Risoluzione di esercizi assegnati: calcolo della velocita' di gruppo per un pacchetto con relazione di dispersione generica: conclusione. Sovrapposizione di stati di buca infinita: calcolo di valori medi. Stato legato in una buca di potenziale deltiforme. Operatore parita' nella base degli autostati di oscillatore armonico. Osservabili che commutano con l'hamiltoniana di oscillatore armonico. Stato fondamentale di oscillatore armonico traslato.
Approvata VEN 28-05-2010	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Stati coerenti di oscillatore armonico: costruzione e principali proprieta' (valori medi, indeterminazioni, prodotti scalari). Stati di "gatto di Schrodinger" e loro significato: relazione con l'esperimento di Zeilinger. Costruzione di un "gatto di Schroedinger" mediante interazione di uno stato coerente con un potenziale quadratico nell'operatore numero (effetto Kerr). Interferenza. Scomparsa dell'interferenza e misura: decoerenza. La decoerenza come origine della transizione classico-quantistico.