



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

## SCIENZE E TECNOLOGIE

<b>Docente</b>	<b>Creazione</b>	<b>Stato</b>	
STEFANO FORTE		Aperto	
<b>Data di nascita</b>	<b>Codice fiscale</b>		
21-06-1961	FRTSFN61H21F205Q		
<b>Dipartimento di afferenza</b>	<b>Settore</b>	<b>Carriera</b>	<b>A.A.</b>
DIPARTIMENTO DI FISICA	FIS/02-Fisica teorica, modelli e metodi matematici	PROFESSORE UNIVERSITARIO DI RUOLO I FASCIA	2013/14
<b>Corso di Studio</b>	<b>Strutt.Responsabile</b>	<b>Insegnamento</b>	<b>Modulo</b>
FISICA (Classe L-30) (F63)	FISICA (Classe L-30) (F63)	Fisica Moderna e Meccanica Quantistica (Mod. Fisica Moderna) (F63-10)	()

### Forme didattiche previste dal Piano Didattico

- Lezioni(40 ore)

### Note

Nessuna

### Riepilogo Attività

Forma didattica	Stato	Numero	Ore
Lezioni	Da confermare	26	50

## Dettaglio attività

Stato	Data	Ora inizio	Ore	Aula	Sede	Forma didattica	Argomento/Note
Da confermare	MER 05-03-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Introduzione al corso: dal riduzionismo allameccanica quantistica come paradigma e grammatica universale. Struttura ed argomenti del corso. L'esperimento della doppia fenditura: il caso classico. La realizzazione di Zeilinger con molecole di fullerene. Interferenza in esperimenti a particella singola nel caso quantistico. Composizione di onde: interferenza, differenza di fase, dipendenza dalla lunghezza del percorso.
Da confermare	LUN 10-03-2014	09:30	1	C	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Differenza tra sovrapposizione di ampiezze (onde) e sovrapposizione di probabilita' (particelle classiche). Scomparsa dell'interferenza sotto rivelazione della traiettoria, e sue necessita' per localita' e causalita'. Stato del sistema: ampiezze e probabilita'. Misura. Interpretazione di Copenhagen. Dualismo onda-particella: i principi della meccanica quantistica.
Da confermare	GIO 13-03-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Formalismo di Dirac: ket di stato, coefficienti, probabilita'. Sistemi bipartiti. Sovrapposizione di ket di stato. Prodotto scalare bra-ket e sue proprieta'. Risultati di misure come ket di base: base ortonormale. Non-unicita' della base ortonormale. Misura di uno stato generico. Fase e interferenza. Rigenerazione. Interferometro di Mach-Zehnder.
Da confermare	LUN 17-03-2014	09:30	1	C	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Svolgimento di esercizi: misura e suoi risultati. Misura incompleta come proiezione sul sottospazio. Misure ripetute.
Da confermare	MER 19-03-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Risoluzione dell'identita' e sue semplici applicazioni. Operatori e operatori lineari. Operatore associato ad un'osservabile: sua definizione. Valor medio di un operatore. Stati e valori conseguenti alla misura come autovalori ed autostati.
Da confermare	MER 26-03-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Aggiunto di un operatore. Operatori autoaggiunti. Operatori associati a misure come operatori autoaggiunti: base degli autostati e base generica. Operatori autoaggiunti, autovalori reali e autostati ortogonali: condizione necessaria e sufficiente. Caso nondegenere e caso degenerare. Principi (postulati) della fisica quantistica. Cambiamenti di base. Azione della trasformazione sullo stato o sulla base. Operatori unitari. Unitarieta' e conservazione della norma (o della probabilita').
Da confermare	GIO 27-03-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Non-unitarieta' della misura e della proiezione. Trasformazione di operatori sotto cambiamenti di base: azione aggiunta delle trasformazioni unitarie. Operatori unitariamente equivalenti: autovalori ed autovettori. Operatori compatibili e incompatibili. Esempio per un sistema a due livelli. Significato fisico di misure successive di operatori compatibili ed incompatibili. Un semplice esempio per un sistema a due livelli. Commutatore (e anticommutatore) di due operatori. Commutazione come condizione necessaria e sufficiente per la compatibilita'. Spettro nondegenere e spettro degenerare.
Da confermare	MER 02-04-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Indeterminazione di un operatore: definizione operatoriale e definizione come elemento di matrice. Interpretazione dell'indeterminazione come varianza (o deviazione standard) della misura. Indeterminazione nulla come condizione necessaria e sufficiente perche' il sistema si trovi in un autostato dell'osservabile data. Indeterminazione di operatori non commutanti: il principio di indeterminazione generalizzato. Disuguaglianza di Schwartz. Parte reale e parte immaginaria dell'elemento di matrice di un operatore e loro relazione con la sua parte hermitiana e la sua parte antihemitiana. Prodotto di due operatori e sua decomposizione in termine di commutatore ed anticommutatore.
Da confermare	GIO 03-04-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	Parametri indipendenti per uno stato quantico. La matrice densita': definizione e proprieta'. Indipendenza dalla scelta di base. Miscele statistiche. Stati puri e stati misti. Loro caratterizzazione in termini della traccia della matrice densita'. (Lezione tenuta dal dr. Giancarlo Ferrera)
Da confermare	MER 09-04-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	La piu' generale misura: il piu' generale operatore e la piu' generale matrice densita'. Caso n-dimensionale e caso bipartito. Le matrici di Pauli. Rappresentazione del piu' generale operatore e della piu' generale matrice densita' su una base di matrici di Pauli nel caso bipartito. Misure ottimali e principio di indeterminazione. Teorema di no-cloning.
Da confermare	GIO 10-04-2014	10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni	La rappresentazione delle coordinate. Operatore posizione,

confermare					di Fisica	autostati ed autovalori. Caso discreto e limite continuo. La funzione d'onda. Relazione di completezza nello spazio delle coordinate: la delta di Dirac. Proprieta' della delta di Dirac. Autofunzioni della coordinata nella base delle coordinate: la delta come funzione d'onda. Basi ortonormali nel continuo: normalizzazione impropria.
Da confermare	MER 16-04-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Elemento di matrice della relazione di completezza. Prodotto scalare fra stati e normalizzazione degli stati fisici nella rappresentazione delle coordinate. Elementi di matrice dell'operatore posizione e di operatori funzione dell'operatore posizione. Osservabili e quantita' conservate in meccanica classica. Teorema di Noether e sua dimostrazione. Esempio delle traslazioni. L'impulso come quantita' conservata sotto invarianza per traslazioni. Le traslazioni in meccanica quantistica. Operatore traslazione e sua azione sugli autostati della posizione. Elementi di matrice dell'operatore posizione. Unitarieta' dell'operatore. Traslazioni finite e sviluppi in serie di Taylor: il generatore della trasformazione. Trasformazioni unitarie e generatori hermitiani, il generatore delle traslazioni ed i suoi elementi di matrice.
Da confermare	MER 23-04-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Invarianza in meccanica quantistica: definizione dell'operatore di evoluzione temporale e sua unitarieta', sua relazione con la proprieta' di invarianza. Dimostrazione che condizione necessaria e sufficiente per l'invarianza e' la commutazione del generatore della trasformazione con l'operatore di evoluzione temporale. Invarianza e conservazione in meccanica quantistica: conservazione dell'autovalore della trasformazione quando vi e' invarianza sotto di essa. L'operatore impulso come generatore delle traslazioni. Necessita' di una costante dimensionale: costante di Planck e sua universalita'. Effetto delle traslazioni sull'operatore posizione. Commutatore (canonico) tra posizione ed impulso. Relazione di indeterminazione posizione-impulso (di Heisenberg).
Da confermare	GIO 24-04-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Elementi di matrice degli operatori posizione ed impulso nella base delle posizioni e loro hermiticita'. Restrizioni sui vettori di stato dovute alla richiesta di hermiticita' dell'impulso. Gli autostati dell'impulso: le onde piane. Normalizzazione degli autostati dell'impulso e rappresentazione della delta di Dirac. Vettori di stato nella base delle posizioni e nella base degli impulsi: trasformata di Fourier.
Da confermare	MER 30-04-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Base degli impulsi, base delle posizioni e loro equivalenza in termini di informazione. Elementi di matrice dell'operatore posizione nella base degli impulsi. Evoluzione temporale e traslazioni temporali. Il tempo come parametro. Operatore di evoluzione temporale nel caso infinitesimo e generatore dell'evoluzione temporale. Invarianza per evoluzione temporale. Indipendenza dal tempo del generatore nel caso di invarianza. Commutazione tra generatore e operatore di evoluzione temporale nel caso di invarianza. Conservazione degli autovalori del generatore dell'evoluzione temporale ed invarianza per traslazioni temporali. Il teorema di Noether in meccanica classica in presenza di trasformazione dei tempi. Invarianza per traslazioni temporali e conservazione dell'hamiltoniana (dell'energia) in meccanica classica. Il generatore dell'evoluzione temporale e l'operatore hamiltoniana. Necessita' di una costante dimensionale ed universalita' di h tagliato.
Da confermare	MER 07-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Evoluzione temporale infinitesima in forma differenziale: l'equazione di Schroedinger. Equazione di Schroedinger per il ket di stato. L'equazione di Schroedinger per la funzione d'onda: hamiltoniane con potenziale dipendente solo dalla coordinata. L'equazione di Schroedinger per l'operatore di evoluzione temporale. Soluzione dell'equazione di Schroedinger: hamiltoniane indipendenti dal tempo. Soluzione per hamiltoniane dipendenti dal tempo ma commutanti a tempi diversi. Hamiltoniane dipendenti dal tempo e non commutanti a tempi diversi: prodotto cronologico ed Ansatz per la soluzione.
Da confermare	GIO 08-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Calcolo esplicito della serie di Dyson e dimostrazione che essa soddisfa l'equazione di Schroedinger per hamiltoniane dipendenti dal tempo nel caso generale. Sistemi invarianti per traslazioni temporali: elementi di matrice dell'operatore di evoluzione temporale tra autostati dell'energia. Conservazione dell'energia. Elementi di matrice di operatori qualunque tra autostati dell'energia: stati stazionari. Introduzione alla rappresentazione di Heisenberg. Elementi di matrice di operatori in rappresentazione di Schroedinger

ed in rappresentazione di Heisenberg. Misura dell'evoluto temporale di uno stato in rappresentazione di heisenberg.

Da confermare	MER 14-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Equivalenza della misura in rappresentazione di Schroedinger e di Heisenberg. L'equazione di Heisenberg per la dipendenza temporale degli operatori. Legge del moto per gli operatori posizione ed impulso per un'hamiltoniana con potenziale indipendente dal tempo. Legge del moto per i valori medi e teorema di Ehrenfest. Leggi del moto classiche e quantistiche, parentesi di Poisson e commutatori.
Da confermare	GIO 15-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Forma generale delle leggi di conservazione ed equazioni del moto alla Heisenberg: generatori delle simmetrie ed invarianze. La particella libera. Spettro dell'hamiltoniana di particella libera e sua degenerazione. Scelte di base per gli autostati dell'energia: autostati della parita' ed autostati dell'impulso. Evoluzione temporale della particella libera: rappresentazione di Schroedinger ed evoluzione temporale della funzione d'onda. Rappresentazione di Heisenberg: evoluzione del valor medio dell'impulso. Relazioni di commutazione dell'operatore posizione a tempi diversi: "allargamento" di un autostato della posizione. Definizione di pacchetto d'onde e sua dipendenza dal tempo.
Da confermare	MER 21-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Il pacchetto d'onde di minima indeterminazione. Costruzione del pacchetto gaussiano. Calcolo dei valori medi di posizione ed impulso e delle loro indeterminazioni. Pacchetto d'onde nello spazio delle posizioni e nello spazio degli impulsi: interpretazione fisica della localizzazione in trasformata di Fourier. Evoluzione temporale del pacchetto: calcolo alla Heisenberg. Caso generale e caso del pacchetto gaussiano. Allargamento del pacchetto d'onde.
Da confermare	GIO 22-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Stime qualitative dell'indeterminazione in impulso ed in posizione: unita' di misura "naturali". Stima dell'allargamento del pacchetto. La buca di potenziale infinita. Condizioni al contorno e determinazione dello spettro di autovalori ed autofunzioni di energia.
Da confermare	MER 28-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Proprieta' dello spettro della buca di potenziale infinita. Proprieta' generali: spettro discreto e stati legati; energia di punto zero ed indeterminazione. Parita' delle soluzioni. Nondegenerazione dello spettro discreto per sistemi unidimensionali generali. Il gradino dipotenziale ed i problemi di scattering. La theta di Heaviside come distribuzione e la sua relazione con la delta di Dirac. Condizioni di raccordo sulla funzione e sulla derivata prima. Conteggio dei parametri e delle autofunzioni indipendenti per il gradino di potenziale. Forma esplicita delle condizioni di raccordo per la soluzione incidente da sinistra.
Da confermare	GIO 29-05-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Soluzione delle condizioni di raccordo e costruzione dell'autofunzione. Onda proveniente da sinistra ed onda proveniente da destra e loro interpretazione. Onda trasmessa ed onda riflessa. Corrente di probabilita' ed equazione di continuita'. Calcolo della corrente di probabilita' per un'onda piane, per una sovrapposizione di onde piane progressiva e regressiva, e per le autofunzioni di energia per il gradino di potenziale. Coefficienti di trasmissione e riflessione: definizione e calcolo. Caso di energia inferiore all'altezza della barriera. Correnti e coefficienti di trasmissione e riflessione. Cenno sul gradino di potenziale e sull'effetto tunnel. Limite di gradino di altezza infinita: continuita' della funzione d'onda e discontinuita' della derivata prima.
Da confermare	MER 04-06-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Discussione qualitativa dello spettro per un generico potenziale legante simmetrico. Andamento qualitativo delle soluzioni a seconda del valore dell'energia. Punti di inversione. Costruzione delle soluzioni e spettro discreto. Esistenza di almeno uno stato legato. Spettro discreto e spettro continuo. L'oscillatore armonico e la sua importanza: piccole oscillazioni. Breve richiamo sul caso classico. Caso quantistico: spettro positivo e spettro discreto. Costruzione degli autovalori di energia con il metodo di Heisenberg. Operatori di creazione e distruzione (o di innalzamento ed abbassamento): definizione ed espressione in termini di essi dell'hamiltoniana. Operatore hamiltoniano ed operatore numero. Relazioni di commutazione degli operatori di creazione e distruzione tra di loro e con l'operatore numero. Spettro dell'operatore numero.
Da confermare	GIO 05-06-2014 10:30	2	A	Dipartimento di Fisica	Lezioni di Fisica	Autovalori di energia per l'oscillatore armonico. Autostati e loro normalizzazione. Valori medi di posizione ed impulso e loro matrici in un autostato dell'energia. Indeterminazione di posizione ed impulso in un autostato di energia dell'oscillatore armonico. Lo stato fondamentale come stato di minima indeterminazione. Autofunzioni dell'oscillatore armonico nella base delle coordinate. Lo stato

					fondamentale come stato gaussiano. Stati eccitati e polinomi di Hermite. CDenno sulle relazioni di completezza per i polinomi di Hermite.
Da confermare	MER 11-06-2014 10:30	2	A	Dipartimento Lezioni di Fisica	Evoluzione temporale per l'oscillatore armonico. Evoluzione temporale degli operatori in rappresentazione di Heisenberg: formule di Baker-Campbell-Hausdorff. Evoluzione temporale per gli operatori di creazione e distruzione: relazione tra la rappresentazione di Schroedinger e quella di Heisenberg. Stati coerenti: definizione, valore medio dell'operatore numero, normalizzazione, quasi-ortogonalità. Valori medi di posizione ed impulso in uno stato coerente e loro dipendenza temporale. Gli stati coerenti come stati di minima indeterminazione. Indeterminazione relativa per gli stati coerenti. Costruzione di un "gatto di Schroedinger" attraverso l'accoppiamento di uno stato coerente con un potenziale quadratico nell'operatore numero (effetto Kerr). Misure quantistiche sullo stato di Kerr: interferenza sotto misure di posizione. Accoppiamento del "gatto" con un misuratore. Scomparsa dell'interferenza sotto misure di impulso.