

29/09/2025 (2 ore): Introduzione al corso. La crisi della fisica classica. Instabilita' degli atomi per irraggiamento. L'effetto fotoelettrico.
Testo: [Picasso] 1.1, 1.2, 1.4, 2.1.

01/10/2025 (2 ore): I fotoni. Effetto Compton. Spettri atomici e teoria di Bohr.
Testo: [Picasso] 2.1, 2.2, 2.3, 2.4.

02/10/2025 (2 ore): Interferenza. L'esperienza di Young in elettromagnetismo classico. Esperimenti a singolo fotone. Natura ondulatoria di atomi ed elettroni: ipotesi di de Broglie. Esperimento (interferenza di Bragg) di Davisson-Germer. Esperimenti alla Young con ioni ed atomi.
Testo: [Forte-Rottoli] 2.1.1., 2.1.2, 2.1.3; [Picasso] 2.8, 3.1, 3.3.

06/10/2025 (2 ore):
Ripasso di algebra lineare. Prodotti scalari, basi ortonormali. Matrici ed operatori hermitiani. Diagonalizzazione di matrici hermitiane. Matrici unitarie. Basi ortonormali. Proiettori ortogonali.

08/10/2025 (2 ore): Matrici a blocchi. Matrici hermitiane commutanti e loro diagonalizzazione simultanea.
Esercizio assegnato: determinazione di una base comune per due matrici A, B commutanti.

09/10/2025 (2 ore):
Stati di polarizzazione del fotone e legge di Malus. Esperimenti a singolo fotone con polarizzatore. I postulati della meccanica quantistica: spazio di Hilbert, osservabili, probabilita' di misura. Proprieta' delle osservabili, operatori associati alle osservabili. Valori medi.
Testo: [Picasso] 3.4, 3.5, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8; [Forte-Rottoli] 2.2, 2.3, 3.1.

10/10/2025 (2 ore):
Discussione del postulato del collasso della funzione d'onda. Assegnati e commentati:
Esercizio 1 del settembre 2017, domande 1-3;
Esercizio 1 del settembre 2022, domanda a);
Esercizio 1 del 24/11/2022, domande a,b,c;
Esercizio 1 del giugno 2023.

13/10/2025 (2 ore):
Relazione di Heisenberg in generici fenomeni ondulatori. Definizione di incertezza. Osservabili compatibili e teorema di incertezza per osservabili non compatibili. Regola di commutazione tra q e p. Proprieta' dei commutatori. Necessita' di uno spazio di Hilbert infinito-dimensionale.
Testo: [Picasso] 4.10, 4.11, 4.12; [Forte-Rottoli] 3.2.

15/10/2025 (2 ore): Teorema del viriale classico.

Risultati generali per valori di aspettazione su autostati di H per sistemi unidimensionali. Teorema del viriale quantistico. Oscillatore armonico: operatori di salita e discesa a loro proprietà'.

Testo: [Picasso] cap. 5; [Forte-Rottoli] 8.2.

16/10/2025: (2 ore):

Spettro dell'oscillatore armonico. Elementi di matrice di combinazioni degli operatori di salita e discesa.

Esercizio: calcolo di $\langle q^2 \rangle$, $\langle q^4 \rangle$, $\langle q^6 \rangle$ sullo stato fondamentale dell'oscillatore armonico.

Testo: [Picasso] cap. 5; [Forte-Rottoli] 8.2.

17/10/2025 (2 ore):

Esponenziale di una matrice ed alcune relazioni per gli esponenziali di matrici.

Calcolo di $\langle e^{(\lambda q)} \rangle$ sullo stato fondamentale dell'oscillatore armonico.

Distribuzione di probabilità di q per lo stato fondamentale dell'oscillatore armonico. Stati coerenti.

Testo: Note "Complementi matematici";

Note sugli stati coerenti (sito e-learning).

20/10/2025 (2 ore):

Esercizio sull'oscillatore armonico.

Stati coerenti. Trasformazioni canoniche.

Testi: Note sugli stati coerenti (sito e-learning);

[Picasso] 6.3; [Forte-Rottoli] 8.5.1, 8.5.2.

22/10/2025 (2 ore):

Traslazioni, operatore impulso come generatore delle traslazioni.

Rappresentazione di Schroedinger.

Operatore impulso e ambiguità della definizione:

ridefinizione $p \rightarrow p + f(q)$ come trasformazione canonica.

Hermitianità della definizione di q e p in rappresentazione di Schroedinger.

Testi: [Picasso] 6.4, 6.5, 6.6; [Forte-Rottoli] 4.1, 4.2.2.

23/10/2025 (2 ore):

Funzione d'onda, autofunzioni dell'operatore coordinata.

Normalizzazione nello spettro continuo.

Autofunzioni dell'operatore impulso.

Testi: [Picasso] 6.7, 6.8, 6.9; [Forte-Rottoli] 4.1, 4.3.1, 4.3.2.

24/10/2025 (2 ore):

Funzioni d'onda discontinue e loro distribuzione dell'impulso.

La buca infinita.

Testi: [Picasso] 8.1, 8.2 (sezione finale); [Forte-Rottoli] 7.1.

Esercizi assegnati:

Compito 10/07/2018 es.2 dom. a,b;

Compito 26/04/2023 es.2 dom 1,2;

Compito 10/02/2023 es.1 dom 1,2.

27/10/2025 (2 ore):

L'oscillatore armonico in rappresentazione di Schroedinger.

Autofunzioni dell'Hamiltoniana dell'oscillatore armonico.

Stati di minima indeterminazione.

Stati coerenti in rappresentazione di Schroedinger.

Risultati generali per i moti unidimensionali: teorema di non degenerazione, teorema dei nodi, carattere reale delle autofunzioni di H e teorema degli zeri semplici.

Testi: [Picasso] 8.1, 7.4; [Forte-Rottoli] 7.1.3, 8.1, 8.2, 8.3, 8.5.1, 8.5.2; note sugli stati coerenti (sito e-learning).

29/10/2025 (2 ore):

Esercizio: Oscillatore armonico soggetto a forza costante.

Esercizio: Distribuzione dell'impulso per gli autostati della buca infinita.

Traslazioni ed impulso in rappresentazione di Schroedinger.

Operatore di inversione spaziale (parita').

Testi: [Picasso] 7.2; [Forte-Rottoli] 4.2.2,

Complemento 11 in 4.1.4.

30/10/2025 (2 ore):

Potenziali invarianti sotto inversione spaziale: spettro.

Parita' delle autofunzioni dell'oscillatore armonico.

Discusso il problema 04/2022 es. 2, domanda a).

Teorema di degenerazione. Particella libera.

Esercizio: stati legati per il potenziale a delta.

Testi: [Picasso] 7.1, 7.2, 8.1, 8.2; [Forte-Rottoli] 6.1;

Per l'esercizio si veda [Testa-Patri' (I edizione)] es. 20.

31/10/2025 (2 ore):

Buca finita. Commentato es. 2 del 06/2024, domanda 1 [buca finita]

Testi: [Picasso] 8.2; [Forte-Rottoli] 6.1.

Esercizi assegnati:

Compito 04/2022 es. 2, domande a) e b) ignorando il tempo;

Compito 07/2024 es. 1, domande 1,2,3,4;

Compito 07/2025 es. 1, tutto l'esercizio ignorando il tempo.

Compito 06/2024, es. 2, dom 1,2.

03/11/2025 (2 ore)

Potenziali con barriera in $x = 0$. Buca periodica. Comportamenti asintotici. Interpretazione della quantizzazione dell'energia.

Testi: [Picasso] 7.4, 7.5; [Forte-Rottoli] 7.4.

05/11/2025 (2 ore):

Evoluzione temporale. Equazione di Schroedinger. Costanti del moto. Esercizio sull'evoluzione temporale.

Testi: [Picasso] 9.1; [Forte-Rottoli] 5.2. [evoluzione temp]

06/11/2025 (2 ore): Schema di Heisenberg.

Moto armonico in schema di Heisenberg.

Evoluzione pacchetti d'onda Gaussiani e stati coerenti in presenza di forza armonica.

Testi: [Picasso] sez. 9.2, 9.3. Appunti sugli stati coerenti.

[Forte-Rottoli] 5.3.1, 5.3.2, 5.3.4, 6.2.1, 6.2.2, 8.5.3.

07/11/2025 (2 ore):

Evoluzione sotto l'azione di una forza costante nello schema di Heisenberg. Periodicità del moto nell'evoluzione temporale. Corrente di probabilità e conservazione della probabilità sotto evoluzione temporale.

Testi: [Picasso] 9.1; [Forte-Rottoli] 7.2.3

Esercizi assegnati:

Compito 14/05/2025, es.1, domande 1,2;

Compito 01/07/2025, es.1 domande 1 e 2;

Compito 10/07/2018, es. 2;

Compito 20/05/2019, es. 2.

10/11/2025 (2 ore):

Potenziale a gradino: trasmissione e riflessione.

Effetto tunnel. Trasmissione per un potenziale a delta. Gradino.

Testi: [Picasso] 8.3; [Forte-Rottoli] 7.2, 7.3.

12/11/2025 (2 ore): Teoria delle perturbazioni per i livelli energetici. Esercizio sulla teoria delle perturbazioni:

$V = q^4$ per l'oscillatore armonico 1D.

Testi: [Forte-Rottoli] 13.1.

13/11/2025 (2 ore):

Quantizzazione di p, q in 3 dimensioni.

Autofunzioni di p e q in 3 dimensioni.

Trasformazioni canoniche in 3 dimensioni.

Spettro per Hamiltoniane separabili. Particella libera in 3d.

Testi: [Picasso] 8.1; [Forte-Rottoli] 9.1, 9.2.

14/11/2025 (2 ore): Esercizio su oscillatori armonici accoppiati: calcolo esatto e perturbativo dei modi normali.

Esercizi assegnati:

Es. 1 del 14/02/2025;

es. 4 del 06/1965;

es. 1 del 06/1973;

es. 1 del 16/06/1976;

es. 1 del 26/01/1977 [Maiani];

es. 1 06/07/1977 [Ferrari].

17/11/2025 (2 ore):

Coordinate sferiche: vettori di base, gradiente, divergenza, Laplaciano. Momento angolare in coordinate sferiche.

Testi: [Picasso] 10.4; [Forte-Rottoli] 10.2;

Note "Complementi matematici".

19/11/2025 (2 ore):

Regole di commutazione del momento angolare.

Quantizzazione del momento angolare (metodo algebrico).

Testi: [Picasso] 10.2; [Forte-Rottoli] 10.3.1.

20/11/2025 (2 ore):

Momento angolare orbitale e armoniche sferiche.

Testi: [Picasso] 10.4; [Forte-Rottoli] 10.3.2;

Note sul momento angolare.

21/11/2025 (2 ore):

Parita' e riflessioni spaziali per le armoniche sferiche.

Misura del momento angolare su stati generici.

Testi: Note sul momento angolare.

Esercizi assegnati:

Es.2 del 20/02/17;

2 del 05/07/17;

2 del 16/02/18;

2 del 17/07/19;

2 del 27/04/22.

24/11/2025 (2 ore):

Esercizi sul momento angolare.

26/11/2025 (2 ore):

Regole di commutazione per scalari e vettori.

Rotazioni e momento angolare come generatore rotazioni.

Discusso es. 2 del 13/07/22.

Testi: [Picasso] 10.1, 10.3; [Forte-Rottoli] 10.1.2;

Note sul momento angolare.

27/11/2025 (2 ore):

Equazione di Schroedinger in presenza di simmetria cilindrica. Oscillatore armonico bidimensionale.

Particella sul cerchio.

28/11/2025 (2 ore):

Discussione del problema 1, esame Luglio 2021.

Esercizi assegnati:

Es. 2 del 21/05/20;

Es. 1 del 15/07/20;

Es. 1 del 14/07/21;

Es. 2 del 13/07/22.

01/12/2025 (2 ore):

Spettro in presenza di potenziale centrale: risultati generali.

Principio variazionale.

Oscillatore armonico isotropo tridimensionale.

Testi: [Picasso] 11.1; [Forte-Rottoli] 11.1, 11.2.1.

03/12/2025 (2 ore):

Soluzione del problema coulombiano: spettro discreto.

Testi: [Picasso] 11.3; [Forte-Rottoli] 11.3.1, 11.3.2, 11.3.6, 11.3.7.

04/12/2025 (2 ore):

Viriale, $\langle 1/r \rangle$, $\langle 1/r^2 \rangle$ e $\langle 1/r^3 \rangle$ per il problema Coulombiano.

05/12/2025 (2 ore):

Operatore di spin. Particelle di spin $1/2$. Matrici di Pauli.

Es. 1 del compito 11/02/2022.

Testi: [Picasso] 15.2; [Forte-Rottoli] 10.4.

Esercizi assegnati:

Es. 1 del 30/04/2021;

Es. 1 del 27/04/2022;

Es. 1 del 11/02/2022.

10/12/2025 (2 ore): Momento angolare totale. $J = L+S$ come generatore delle rotazioni. Composizione dei momenti angolari: autostati del momento angolare totale e coefficienti di Clebsch-Gordan.

Testi: [Picasso] sez. 15.3; [Forte-Rottoli] 10.5.

11/12/2025 (1 ora):

Proprietà delle matrici di Pauli.

Evoluzione di autostati dello spin lungo direzioni generiche sotto l'azione di un campo magnetico.

Precessione dello spin in rappresentazioni di Heisenberg.

Testi: [Forte-Rottoli] 10.4.2.

12/12/2025 (2 ore):

Esercizi sulla composizione momenti angolari (discusso es. 1 esame 25/01/22).

Esercizi assegnati:

Es. 1 del 25/06/18;

Es. 1 del 25/01/22;

Es. 2 del 28/06/22;

Es. 2 del 14/02/25;

Entrambi gli esercizi del 25/05/18.

15/12/2025 (2 ore):

Proprietà di scambio degli autostati di spin totale per due particelle. Principio di Pauli.

Operatore di scambio per due particelle. Classificazioni degli stati per due particelle identiche noninteragenti.

Testi: [Picasso] 15.1, 15.4. [Testa-Patri'], cap. 7;

[Forte-Rottoli] 14.1.

17/12/2025 (2 ore):

Discussi i problemi d'esame: es. 1 del 23/01/2024 e es. 2 del 27/06/2023.

18/12/2025 (1 ora): Problema dei due corpi e principio di Pauli.

Testi: [Picasso] 11.2, [Forte-Rottoli] 9.3.1, 14.1

19/12/2025 (2 ore): esercizi sulle particelle identiche [23/01/2024, es. 1 e 28/01/2025, es. 2]

Esercizi assegnati:

es. 1 17/07/2019
es. 2 30/06/2020
es. 2 02/02/2021
es. 1 28/06/2022
es. 1 26/04/2023
es. 2 27/06/2025
es. 2 12/07/2025

22/12/2025 (2 ore): esercizi [es. 1 del 28/01/2025 ed es. 2 del 25/01/2022].

07/01/2025 (2 ore):
Discussione di un sistema di tre fermioni.
Stati a N fermioni, funzione d'onda come determinante.
Svolgimento dell'Es. 2 del 14/02/2025.

08/01/2025 (1 ora):
Lagrangiana ed Hamiltoniana per una particella in campo elettromagnetico. Hamiltoniana in presenza di un campo magnetico costante. g dell'elettrone.
Testi: [Testa-Patri'] 5.1.1.

09/01/2026 (2 ore): Trasformazioni di gauge. Sistema di Gauss e SI.
Testi: Note su trasformazioni di gauge e sistemi elettromagnetici.

12/01/2026 (2 ore):
Regole di selezione. Esercizi: effetto Stark nell'idrogeno (es. 2 del 29/01/19).
Testi: [Picasso] cap. 12.2

14/01/2026 (2 ore): Es. 1 del 15/02/19.

15/01/2026 (1 ora): Esperimento di Stern-Gerlach.

16/01/2026 (2 ore): Esercizio 2 del 10/02/23.

TESTI:
L.E. Picasso, Lezioni di Meccanica quantistica, ETS PISA.
S. Forte e L. Rottoli, Fisica quantistica, Zanichelli.
M. Testa and S. Patri', Fondamenti di Meccanica Quantistica.