

## Meccanica Quantistica e Meccanica Statistica

Corso di laurea in Fisica - curriculum Astrofisica

programma 2022/2023

- [1] 23/09/2022 (2 ore): Introduzione al corso. Crisi della fisica classica: modelli atomici di Thomson e Rutherford (P1.1).

---

week 1

- [2] 27/09/2022 (2 ore): Problema della dimensione atomica e del collasso radiativo (P1.2). Difficoltà collegate ai calori specifici e alla radiazione di corpo nero (P1.3). Effetto fotoelettrico (P1.4). Fotoni (P2.1).

- [3] 28/09/2022 (2 ore): Effetto Compton (P2.1). Spettri atomici, ipotesi di Bohr (P2.3). Livelli dell'atomo di idrogeno secondo Bohr (P2.4). Comportamento ondulatorio delle particelle: esperimenti di Bragg e Davisson-Germer (P2.8).

- [4] 30/09/2022 (2 ore): Esperimenti di interferenza a 1 fotone (P3.3). Stati di polarizzazione di un fotone (P3.4). Esperimenti con filtri Polaroid (P3.5). Il principio di sovrapposizione (P4.1). Interferometro di Mach-Zehnder (P3.2).

---

week 2

- [5] 03/10/2022 (3 ore): Osservabili (P4.2). Probabilità di transizione (P4.3). Conseguenze e postulato di von Neumann (P4.4). Operatori associati a osservabili (P4.5).

- [6] 04/10/2022 (2 ore): Proprietà degli operatori associati a osservabili (P4.6). Notazione di Dirac (P4.7).

- [7] 05/10/2022 (2 ore): Valori medi (P4.8). Osservabili compatibili (P4.10).

- [8] 07/10/2022 (2 ore): Relazioni di indeterminazione (P4.11). Postulato di quantizzazione (P4.12).

---

week 3

- [9] 10/10/2022 (3 ore): Esercizi su postulato di von Neumann, regola di Born e commutatori.

- [10] 11/10/2022 (2 ore): Oscillatore armonico, positività degli autovalori dell'energia (P5.1). I livelli energetici dell'oscillatore armonico (P5.2).

- [11] 12/10/2022 (2 ore): Teorema del viriale quantistico. Esercizi sull'oscillatore armonico.

- [12] 14/10/2022 (2 ore): Esercizi sull'oscillatore armonico. Rappresentazioni (P6.1).

---

week 4

- [13] 17/10/2022 (3 ore): Rappresentazione di Heisenberg per l'oscillatore armonico (P6.2). Trasformazioni unitarie (P6.3). Traslazioni: gli operatori  $q$  e  $p$  non hanno autovettori (P6.4).

[14] 18/10/2022 (2 ore): Autovettori impropri di  $q$  e  $p$  (P6.7). Rappresentazioni di Schrödinger (o della posizione) e della quantità di moto (P6.5).

[15] 19/10/2022 (2 ore): Interpretazione fisica delle rappresentazioni di Schrödinger e della quantità di moto (P6.6). Relazione tra le rappresentazioni di Schrödinger e della quantità di moto (P6.8).

[16] 21/10/2022 (2 ore): Hamiltoniana della particella libera (P7.1). Teorema di degenerazione e operatore di inversione spaziale (P7.2).

---

week 5

[17] 24/10/2022 (3 ore): Proprietà generali delle soluzioni dell'equazione di Schrödinger nel caso unidimensionale: autovalori discreti e autovalori continui (P7.3-P7.5)

[18] 25/10/2022 (2 ore): Oscillatore armonico unidimensionale nella rappresentazione di Schrödinger (P8.1).

[19] 26/10/2022 (2 ore): Buca di potenziale rettangolare (P8.2). Buca di potenziale rettangolare infinitamente profonda.

[20] 28/10/2022 (2 ore): Effetto tunnel, coefficienti di riflessione e trasmissione (P8.3). Barriera di potenziale rettangolare. Potenziali a delta di Dirac: condizioni di raccordo della funzione d'onda, buca, barriera, doppia barriera.

---

week 6

[21] 02/11/2022 (2 ore): Evoluzione temporale nello schema di Schrödinger (P9.1).

[22] 04/11/2022 (2 ore): Evoluzione temporale nello schema di Heisenberg (P9.2). Equazioni di Ehrenfest e limite classico della meccanica quantistica (P9.3).

---

week 7

[23] 07/11/2022 (3 ore): Allargamento di un pacchetto d'onde. **Prova B1.**

[24] 08/11/2022 (2 ore): Esercizi sull'evoluzione temporale.

[25] 09/11/2022 (2 ore): Momento angolare: regole di commutazione (P10.1) e autovalori (P10.2).

[26] 11/11/2022 (2 ore): Operatori di rotazione (P10.3).

---

week 8

[27] 14/11/2022 (3 ore): Momento angolare orbitale (P10.4). Esercizi sul momento angolare.

[28] 15/11/2022 (2 ore): Equazione di Schrödinger in un campo di forze centrale (P11.1). Buca di potenziale rettangolare a simmetria sferica.

[29] 16/11/2022 (2 ore): Equazione di Schrödinger adimensionale. Oscillatore armonico tridimensionale in coordinate cartesiane e sferiche.

- [30] 18/11/2022 (2 ore): Sistemi di due particelle: separazione delle variabili (P11.2).  
\_\_\_\_\_week 9
- [31] 21/11/2022 (3 ore): Stati legati degli atomi idrogenoidi (P11.3).
- [32] 22/11/2022 (2 ore): Calcolo delle prime autofunzioni dell'atomo di idrogeno e dei corrispondenti elementi di matrice della posizione. Regole di selezione.
- [33] 23/11/2022 (2 ore): Teoria delle perturbazioni dei livelli energetici: approccio euristico (P12.1). Effetto Stark nell'atomo d'idrogeno (P12.2 + appunti).
- [34] 25/11/2022 (2 ore): Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo (P12.3, P12.4 + appunti).  
\_\_\_\_\_week 10
- [35] 28/11/2022 (3 ore): Esercizi sulla teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo. Questionario OPIS.
- [36] 29/11/2022 (2 ore): Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo (P13.2 + appunti).
- [37] 30/11/2022 (2 ore): Metodi variazionali (P14.2 + appunti). Hamiltoniana di una particella carica in campo elettromagnetico (appunti).
- [38] 02/12/2022 (2 ore): Equazione di Schrödinger per una particella carica in campo magnetico costante. Momento di dipolo magnetico orbitale. Atomo idrogenoide in campo magnetico costante: effetto Zeeman normale e anomalo (P13.7).  
\_\_\_\_\_week 11
- [39] 05/12/2022 (3 ore): Prodotto tensoriale di spazi di Hilbert (P15.1). Lo spin dell'elettrone (P15.2). Matrici di Pauli e loro proprietà (appunti).
- [40] 06/12/2022 (2 ore): Esercizi sullo spin.
- [41] 07/12/2022 (2 ore): Composizione di momenti angolari (appunti), uso delle tavole di Clebsch-Gordan.
- [42] 09/12/2022 (2 ore): Esercizi sulla composizione di momenti angolari.  
\_\_\_\_\_week 12
- [43] 12/12/2022 (3 ore): Particelle non distinguibili e principio di esclusione di Pauli (P15.4). Particelle identiche non interagenti: determinante e permutante di Slater (appunti). Esercizi che coinvolgono particelle non distinguibili.
- [44] 13/12/2022 (2 ore): Introduzione alla meccanica statistica (S1.1). Densità di probabilità e funzioni caratteristiche (S1.2.1). Teorema centrale del limite (S1.2.2). Spazio delle fasi e funzione di distribuzione (S1.3.1). Equazione di Liouville (S1.3.2).
- [45] 14/12/2022 (2 ore): Operatore matrice densità per insiemi puri e miscela (S1.4.1). Equazione di von Neumann (S1.4.2). Operatore matrice densità di un sottosistema (S1.5.2).

- [46] 16/12/2022 (2 ore): Valori medi classici e quantistici: misura di integrazione per particelle identiche. Stati di equilibrio (S2.1). Funzione di distribuzione e operatore matrice densità microcanonici (S2.2.1).

---

week 13

- [47] 19/12/2022 (3 ore): **Prova B2**. Ensemble microcanonico: gas ideale classico, oscillatori armonici quantistici, sistemi quantistici a due livelli (appunti).
- [48] 20/12/2022 (2 ore): Entropia (S2.3). Entropia dell'ensemble microcanonico. Sistemi in contatto: funzione di distribuzione dell'energia, definizione di temperatura (S2.4.1).
- [49] 21/12/2022 (2 ore): Parametri esterni: pressione (S2.4.3). Proprietà termodinamiche di alcuni sistemi non interagenti all'equilibrio microcanonico: gas ideale classico, oscillatori armonici quantistici, sistemi quantistici a due livelli (S2.5).

---

week 14

- [50] 09/01/2023 (3 ore): Ensemble canonico: operatore matrice densità e funzione di distribuzione (S2.6.1). Entropia dell'ensemble canonico (S2.6.3). Quantità termodinamiche nell'ensemble canonico (S2.6.5.2). Additività dell'entropia, dell'energia e dell'energia libera (S2.6.6.1).
- [51] 10/01/2023 (2 ore): Proprietà termodinamiche di alcuni sistemi non interagenti all'equilibrio canonico: gas ideale classico, oscillatori armonici quantistici, sistemi quantistici a due livelli (appunti).
- [52] 10/01/2023 (2 ore): Distribuzione di Maxwell e formula per la pressione barometrica (S2.6.2). Esercizi sull'ensemble canonico.
- [53] 11/01/2023 (2 ore): Ensemble gran canonico: operatore matrice densità e funzione di distribuzione (S2.7.2). Quantità termodinamiche nell'ensemble gran canonico (S2.7.3). Funzioni di partizione e di gran partizione per il gas ideale classico (S2.7.4). Funzione di gran partizione per il gas ideale quantistico (S4.1). Limite classico a basse densità o alte temperature. Funzioni di distribuzione di Fermi-Dirac e di Bose-Einstein.
- [54] 13/01/2023 (2 ore): **Prova B3**. Calcolo dell'energia di Fermi.

---

week 15

testi di riferimento:

P = Picasso, "Lezioni di Meccanica Quantistica" (Edizioni ETS)

S = Schwabl, "Statistical Mechanics" (Springer)