

## Meccanica Quantistica e Meccanica Statistica

Corso di laurea in Fisica - curriculum Astrofisica

programma 2020/2021

- [1] 28/09/2020 (2 ore): Introduzione al corso. Crisi della fisica classica: modelli atomici di Thomson e Rutherford (P1.1).
- [2] 30/09/2020 (3 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). Effetto Compton (P2.1). Comportamento ondulatorio delle particelle: esperimenti di Bragg e Davisson-Germer (P2.8).
- [3] 01/10/2020 (2 ore): Spettri atomici, ipotesi di Bohr (P2.3). Livelli dell'atomo di idrogeno secondo Bohr (P2.4). Interferometro di Mach-Zehnder (P3.2).
- [4] 02/10/2020 (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).
- [5] 05/10/2020 (2 ore): Osservabili (P4.2). Probabilità di transizione (P4.3). Conseguenze e postulato di von Neumann (P4.4).
- [6] 07/10/2020 (3 ore): Operatori associati a osservabili (P4.5). Proprietà degli operatori associati a osservabili (P4.6). Notazione di Dirac (P4.7).
- [7] 08/10/2020 (2 ore): Valori medi (P4.8). Osservabili compatibili (P4.10).
- [8] 09/10/2020 (2 ore): Relazioni di indeterminazione (P4.11). Postulato di quantizzazione (P4.12).
- [9] 12/10/2020 (2 ore): Esercizi sul postulato di von Neumann e la regola di Born.
- [10] 14/10/2020 (3 ore): Oscillatore armonico, positività degli autovalori dell'energia (P5.1). I livelli energetici dell'oscillatore armonico (P5.2).
- [11] 15/10/2020 (2 ore): Teorema del viriale quantistico. Stati coerenti dell'oscillatore armonico. Esercizi sull'oscillatore armonico.
- [12] 16/10/2020 (2 ore): Rappresentazioni (P6.1). Rappresentazione di Heisenberg per l'oscillatore armonico (P6.2).
- [13] 19/10/2020 (2 ore): Trasformazioni unitarie (P6.3). Traslazioni: gli operatori  $q$  e  $p$  non hanno autovettori (P6.4).
- [14] 21/10/2020 (3 ore): Rappresentazioni di Schrödinger (o della posizione) e dell'impulso (P6.5). Interpretazione fisica delle rappresentazioni di Schrödinger e dell'impulso (P6.6). Autovettori impropri di  $q$  e  $p$  (P6.7). Relazione tra le rappresentazioni di Schrödinger e dell'impulso (P6.8).

- [15] 22/10/2020 (2 ore): Hamiltoniana della particella libera (P7.1). Teorema di degenerazione e inversione spaziale (P7.2).
- [16] 23/10/2020 (2 ore): Proprietà generali delle soluzioni dell'equazione di Schrödinger nel caso unidimensionale (P7.3). Soluzioni dell'equazione di Schrödinger: autovalori discreti (P7.4) e autovalori continui (P7.5).
- [17] 26/10/2020 (2 ore): Oscillatore armonico unidimensionale nella rappresentazione di Schrödinger (P8.1).
- [18] 28/10/2020 (3 ore): Buca di potenziale rettangolare (P8.2). Buca di potenziale rettangolare infinitamente profonda.
- [19] 29/10/2020 (2 ore): Effetto tunnel, coefficienti di riflessione e trasmissione (P8.3). Barriera di potenziale rettangolare.
- [20] 30/10/2020 (2 ore): Potenziali a delta di Dirac: condizioni di raccordo della funzione d'onda, buca, barriera, doppia barriera.
- [21] 02/11/2020 (2 ore): Evoluzione temporale nello schema di Schrödinger (P9.1).
- [22] 04/11/2020 (3 ore): Evoluzione temporale nello schema di Heisenberg (P9.2). Equazioni di Ehrenfest e limite classico della meccanica quantistica (P9.3). Allargamento di un pacchetto d'onde.
- [23] 05/11/2020 (2 ore): Esercizi sull'evoluzione temporale.
- [24] 06/11/2020 (2 ore): Esercizi sull'evoluzione temporale. **Prova B1.**
- [25] 09/11/2020 (2 ore): Momento angolare: regole di commutazione (P10.1) e autovalori (P10.2).
- [26] 11/11/2020 (3 ore): Operatori di rotazione (P10.3). Momento angolare orbitale (P10.4).
- [27] 12/11/2020 (2 ore): Equazione di Schrödinger in un campo di forze centrale (P11.1).
- [28] 13/11/2020 (2 ore): Esercizi sul momento angolare.
- [29] 16/11/2020 (2 ore): Buca di potenziale rettangolare a simmetria sferica.
- [30] 18/11/2020 (3 ore): Oscillatore armonico tridimensionale in coordinate cartesiane e sferiche. Sistemi di due particelle: separazione delle variabili (P11.2).
- [31] 19/11/2020 (2 ore): Stati legati degli atomi idrogenoidi (P11.3).
- [32] 20/11/2020 (2 ore): Calcolo delle prime autofunzioni dell'atomo di idrogeno e dei corrispondenti elementi di matrice della posizione. Regole di selezione.
- [33] 23/11/2020 (2 ore): Teoria delle perturbazioni dei livelli energetici: approccio euristico (P12.1). Effetto Stark nell'atomo d'idrogeno (P12.2 + appunti).
- [34] 25/11/2020 (3 ore): Teoria delle perturbazioni indipendenti dal tempo (P12.3, P12.4 + appunti).

- [35] 26/11/2020 (2 ore): Teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo (P13.2 + appunti).
- [36] 27/11/2020 (2 ore): Esempio sulla teoria delle perturbazioni. Metodi variazionali (P14.2 + appunti).
- [37] 30/11/2020 (2 ore): Spazio di Hilbert di un sistema di molte particelle: prodotto tensoriale di spazi di Hilbert (P15.1). Hamiltoniana di una particella carica in campo elettromagnetico (appunti).
- [38] 02/12/2020 (3 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). Lo spin dell'elettrone (P15.2).
- [39] 03/12/2020 (2 ore): Matrici di Pauli e loro proprietà.
- [40] 04/12/2020 (2 ore): Esercizi sullo spin.
- [41] 07/12/2020 (2 ore): Composizione di momenti angolari (P15.3 + appunti).
- [42] 09/12/2020 (3 ore): Esercizi sulla composizione di momenti angolari, uso delle tavole di Clebsch-Gordan.
- [43] 10/12/2020 (2 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] 11/12/2020 (2 ore): Introduzione alla meccanica statistica (S1.1). Densità di probabilità e funzioni caratteristiche (S1.2.1). Teorema centrale del limite (S1.2.2).
- [45] 14/12/2020 (2 ore): **Prova B2.**
- [46] 16/12/2020 (2 ore): Spazio delle fasi e funzione di distribuzione (S1.3.1). Equazione di Liouville (S1.3.2).
- [47] 17/12/2020 (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).
- [48] 18/12/2020 (3 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).
- [49] 21/12/2020 (2 ore): Ensemble microcanonico: gas ideale classico (S2.2.2), oscillatori armonici quantistici (P.2.2.3.1), sistemi quantistici a due livelli (P.2.2.3.2).
- [50] 07/01/2021 (2 ore): Entropia (S2.3). Sistemi in contatto: funzione di distribuzione dell'energia, definizione di temperatura (S2.4.1). Parametri esterni: pressione (S2.4.3).
- [51] 08/01/2021 (2 ore): Proprietà termodinamiche di alcuni sistemi non interagenti (S2.5).

- [52] 11/01/2021 (2 ore): Ensemble canonico: operatore matrice densità e funzione di distribuzione (S2.6.1). Distribuzione di Maxwell e formula per la pressione barometrica (S2.6.2). Entropia dell'ensemble canonico e suo valore estremale (S2.6.3). Teorema classico del viriale e teorema di equipartizione (S2.6.4.1). Teorema del viriale quantistico.
- [53] 13/01/2021 (3 ore): Quantità termodinamiche nell'ensemble canonico (S2.6.5.2). Additività dell'entropia, dell'energia e dell'energia libera (S2.6.6.1). Sistemi con scambio di particelle (S2.7.2). Ensemble gran canonico: operatore matrice densità e funzione di distribuzione (S2.7.2).
- [54] 14/01/2021 (2 ore): Quantità termodinamiche nell'ensemble gran canonico (S2.7.3). Funzioni di partizione e di gran partizione per il gas ideale classico (S2.7.4).
- [55] 15/01/2021 (2 ore): Funzione di gran partizione per il gas ideale quantistico (S4.1). Limite classico a basse densità o alte temperature.
- [56] 18/01/2021 (3 ore): Funzioni di distribuzione di Fermi-Dirac e di Bose-Einstein. Limite di completa degenerazione e energia di Fermi. Esercizi.
- [57] 20/01/2021 (3 ore): Esercizi.
- [58] 21/01/2021 (2 ore): Esercizi.
- [59] 22/01/2021 (2 ore): **Prova B3.**

testi di riferimento:

P = Picasso, "Lezioni di Meccanica Quantistica" (Edizioni ETS)  
S = Schwabl, "Statistical Mechanics" (Springer)