

Foglio illustrativo del corso di  
**Istituzioni di Fisica della Materia**  
Corso di Laurea in Scienza e Ingegneria dei Materiali  
Anno acc. 2011-2012 – Prof. Lorenzo Marrucci

Benvenuti al corso di Istituzioni di Fisica della Materia! Questo foglio illustra le cose da sapere per seguire bene questo corso e su come funziona il suo esame.

Obiettivo del corso. Il principale obiettivo del corso è di fornirvi gli strumenti concettuali alla base della cosiddetta “**meccanica quantistica**”, la teoria fisica con la quale oggi comprendiamo la struttura fondamentale della materia, ad esempio come “si comportano” gli elettroni, come sono fatti gli atomi, le molecole e i solidi e come questi “oggetti” microscopici rispondono agli stimoli esterni, quali ad esempio la luce e altre radiazioni elettromagnetiche. La matematica necessaria per padroneggiare tali strumenti è però abbastanza più complessa di quella da voi utilizzata finora. Perciò è necessario andare per gradi ed iniziare da fenomeni più semplici, ma non per questo meno interessanti, come le **oscillazioni e le onde**, con i quali imparerete ad esempio ad usare i numeri complessi per risolvere le equazioni differenziali, e avrete il primo impatto con le **equazioni differenziali alle derivate parziali**, che sono le equazioni che governano la maggioranza dei fenomeni fisici, inclusi quelli della meccanica quantistica. Inoltre, studieremo elementi di **teoria della probabilità** e di **statistica dei risultati sperimentali**. Questo lavoro preparatorio riempie circa metà del corso. La meccanica quantistica occupa la seconda metà. Il programma preliminare del corso è riportato nell’altro foglio che vi è stato distribuito. Attenzione però al fatto che il programma potrà variare durante il corso (le variazioni saranno comunque segnalate volta per volta sul sito web del corso).

Requisiti. Per seguire bene questo corso è necessario avere superato (o almeno studiato bene) tutti gli esami precedenti di **matematica** e di **fisica generale**. In particolare, bisogna conoscere l’algebra lineare, il calcolo differenziale ed integrale, e saper risolvere le equazioni differenziali ordinarie. Sarebbe anche utile aver studiato i numeri complessi e il calcolo degli autovalori e autovettori di una matrice. Chi non dovesse avere tali requisiti è libero di seguire ugualmente il corso se lo vuole, ma sappia che dovrà probabilmente dedicarvi molto più tempo di quello standard (vedere paragrafo successivo).

Crediti (cioè, quanto bisogna studiare?). Questo corso “vale” **9 crediti formativi universitari** (CFU). Questo significa che lo “studente medio” che non presenti lacune dagli esami precedenti dovrebbe impiegare circa **225 ore** per superarlo (tra lezioni, esercitazioni, prove di valutazione e studio individuale). In pratica le lezioni occuperanno circa 50 ore, le esercitazioni e le prove di valutazione in aula altre 20 ore circa, e le restanti 150 ore circa saranno di studio individuale (“a casa”).

Quando studiare. Il corso è concepito in modo tale che tutte le 225 ore di lavoro dovrebbero essere svolte durante il periodo in cui si svolge il corso e nella settimana immediatamente dopo la fine delle lezioni, in cui si svolge

la prova finale (scritta). Dato che il corso durerà 14 settimane (di cui due senza lezioni per Pasqua e per una mia assenza), questo significa che **dovrete impegnare una media di 15-16 ore la settimana in questo corso, di cui 6 per seguire lezioni ed esercitazioni e 9-10 per studiare**. Se seguirete questi ritmi avrete una elevatissima probabilità di superare l’esame finale immediatamente dopo la fine del corso e quindi non dovrete poi dedicare altro tempo a questo esame. La probabilità di superare questo esame immediatamente dopo la conclusione del corso per chi ha seguito fino alla fine è infatti del 95% circa (e il 5% che non ci riesce certamente non ha dedicato il tempo necessario).

E gli altri corsi? Notate che se anche tutti gli altri corsi richiedessero come questo di concentrare tutto l’impegno nel periodo in cui vi sono le lezioni, il tempo da dedicarvi complessivamente sarebbe di 50-55 ore settimanali, probabilmente insostenibile per la maggior parte di voi. La soluzione a questo problema consiste quindi nel **suddividere i corsi del semestre in due gruppi**: un primo gruppo di corsi (il più grande possibile, suggerirei almeno 20-25 CFU) da studiare in parallelo durante le lezioni mirando a fare l’esame immediatamente dopo la fine delle lezioni o quasi; un secondo gruppo con i restanti corsi da seguire, se lo ritenete utile, ma da studiare solo in un secondo momento, cioè dopo la conclusione delle lezioni (ma prima dell’inizio del successivo semestre). Questa soluzione non è l’ideale, ma al momento è l’unica possibile. La scelta su quali esami collocare nel primo gruppo e quali nel secondo sta solo a voi.

Esame. Per chi frequenta, questo corso prevede un “esame distribuito” basato su: (i) una **prova scritta a metà corso** (peso sul voto finale: 40%), (ii) circa 10 **test in classe** settimanali (peso complessivo: 15%; i due peggiori voti o assenze sono scartati nel calcolo del voto complessivo), (iii) circa 10 **compiti a casa** settimanali (peso complessivo: 15%; i due peggiori voti o compiti non consegnati sono scartati nel calcolo del voto complessivo) e (iv) una **prova scritta finale** (peso: 60%). Il totale dei pesi è 130%, ma il peggior 30% dei vostri voti verrà scartato prima di eseguire la media (pesata) che fornirà il vostro voto finale. Inoltre, per evitare di affossare la media per un singolo compito sbagliato, la prova scritta di metà corso avrà un punteggio minimo di 12/30 (purché sia svolta). Per superare l’esame sarà comunque necessario che il voto finale degli scritti ottenuto dalla media pesata sia maggiore o uguale a 18/30. Il voto finale degli scritti può essere registrato direttamente. L’esame orale è infatti facoltativo e consente di modificare il voto finale al massimo di 2 punti (sia a salire che a scendere). Gli studenti non frequentanti dovranno svolgere una unica prova scritta su tutto il programma e, facoltativamente, un esame orale.

Come studiare. Dovete sapere che nel processo di apprendimento è **più importante il vostro studio individuale che non le lezioni**. In altre parole si impara molto di più “facendo” e “pensando” che ascoltando e osservando. Inoltre uno studio individuale continuo e svolto in parallelo al corso permette di sfruttare al meglio le lezioni e le esercitazioni in classe. Per questi motivi, **questo corso è organizzato in modo da stimolare e**

### **monitorare costantemente il vostro studio individuale.**

A questo scopo in particolare ci sono: (i) i test in classe e (ii) i compiti a casa, entrambi aventi cadenza settimanale. I test sono brevi (di solito 10 minuti) e abbastanza facili per chi ha avuto cura di rivedere il materiale introdotto a lezione la settimana precedente. I compiti a casa sono più impegnativi, e richiedono la soluzione di problemi e la composizione di brevi saggi (“temini”). Ciascun compito andrà consegnato la settimana successiva a quella in cui vi viene assegnato. Test e compiti a casa, oltre a stimolarvi a studiare, vi serviranno per **verificare costantemente la vostra preparazione** e per **prepararvi alle prove scritte di metà corso e finale**. Non esagerate l'importanza del voto ottenuto in questi test e compiti a casa: il vostro voto finale dipenderà infatti molto più dalle due prove scritte in classe. Al limite è possibile (sebbene più difficile) ottenere un voto finale di 30 anche sbagliando completamente (o non facendo) tutti i test e compiti a casa. Lo svolgimento dei test è sempre individuale. I compiti a casa invece possono, a vostra scelta, essere individuali oppure svolti in gruppo, con un massimo di tre persone per gruppo (i gruppi dovranno essere stabiliti all'inizio del corso e non potranno più cambiare; inoltre la persona del gruppo che scrive la soluzione dovrà ruotare ogni settimana). E' infatti utile all'apprendimento il discutere dei problemi con i vostri colleghi. Il mio consiglio è però di **provare sempre prima a risolvere gli esercizi da soli** e di confrontarvi con gli altri (o con me) solo in un secondo momento: solo così imparerete davvero. **Absolutamente da evitare è invece la semplice copia delle soluzioni svolte da altri**. Così facendo infatti non vi eserciterete veramente e avrete un'alta probabilità di sbagliare le prove in aula. Inoltre, se i vostri compiti mostreranno segni evidenti di tale comportamento, verrete sanzionati severamente (vedere il paragrafo sulla correttezza ed onestà intellettuale).

Attenti a dosare il tempo! A volte, a causa della “pressione psicologica” dei test e dei compiti a casa di questo corso e in assenza di analoghi stimoli continui da parte degli altri corsi, gli studenti tendono a studiare “troppo” per questo corso, trascurando gli altri. Ovviamente una qualsiasi materia può essere studiata un tempo arbitrariamente ampio, approfondendo gli argomenti, facendo più esercizi, ripetendo molte volte “per essere più sicuri” e così via. Così la vostra preparazione e il voto magari salgono, ma a scapito di quelli degli altri corsi. Attenti quindi a dosare bene il vostro tempo! **Dovrete trovare voi la misura giusta e la capacità di suddividere correttamente il tempo dello studio a casa tra i vari corsi** (quelli del “primo gruppo” di cui ho parlato prima), accettando eventualmente anche di prendere voti più bassi in questo corso pur di migliorare quello degli altri. Un possibile riferimento, anche se solo indicativo, è quello del tempo da dedicare ogni settimana a questo corso in base ai suoi 9 crediti (e un calcolo analogo può essere fatto per gli altri corsi). Come ho scritto prima, dovete aspettarvi di studiare mediamente 10 ore alla settimana (oltre alle lezioni) per questo corso (sia per ripetere la teoria che per svolgere i compiti a casa). Anche se vi sembra che ve ne servirebbero di più, cercate di limitarvi comunque a queste ore (sia pure con flessibilità e buon senso: a volte potrete studiare di più

questo corso, altre volte di più un altro), in modo da lasciare il tempo giusto agli altri corsi.

Che voto aspettarsi? Il voto medio riportato in questo corso negli ultimi anni è pari a circa 24-25. Il 30 è un voto difficile da ottenere, e in media viene ottenuto dal 5-10% degli studenti (il “30 e lode” è rarissimo e richiede una bravura eccezionale). Un altro 10% circa degli studenti riporta un voto inferiore a 20. Il grosso degli studenti si colloca nella fascia intermedia dei voti 22-27. La difficoltà a conseguire voti alti in questo corso è legata ad una mia ben precisa scelta di non “appiattare” i voti: è giusto e importante secondo me distinguere, infatti, il rendimento di uno studente molto bravo da quello di uno studente un po' meno bravo, e così via.

Correttezza e onestà intellettuale. Questi sono due valori fondamentali su cui si deve basare il rapporto fra voi e me e, soprattutto, fra voi studenti. E' inammissibile che con l'imbroglio uno studente riesca ad acquisire un voto superiore ad un altro studente che si comporta correttamente. Perciò, comportamenti disonesti come copiare o far copiare non saranno minimamente tollerati. **Un qualsiasi scritto, test o compito a casa con segni evidenti di copiatura verrà annullato interamente**, con tutte le conseguenze che questo comporta sul voto finale. Stessa sorte toccherà a chi fa copiare (consapevolmente) dal proprio scritto. **Al secondo caso di copia da parte di uno stesso studente, tutte le sue prove precedenti e successive verranno annullate**, e lo studente dovrà sostenere l'esame fuori dal corso, come se non avesse seguito. E non aspettatevi “condoni”!

Appunti e sito web. Non c'è un testo ufficiale del corso e quasi tutto il materiale da studiare vi sarà distribuito sotto forma di appunti, fogli di esercizi e prove scritte passate. Oltre che distribuito in forma cartacea a lezione, questo materiale sarà **scaricabile dal sito web del corso** (gli appunti sono protetti da una password che vi sarà fornita a lezione). Il sito web del corso è molto utile anche per tenersi aggiornati su quello che succede nel corso quando si è impossibilitati a seguire una o due lezioni. Oltre al materiale per studiare, il sito contiene una bacheca di avvisi, **il programma del corso aggiornato settimana per settimana secondo lo svolgimento effettivo delle lezioni**, e alcuni link interessanti. Dopo lo svolgimento delle prove scritte e alla conclusione del corso, il sito riporterà le soluzioni degli esercizi assegnati (in classe discuterò solo gli errori più comuni o le vostre domande esplicite) e i vostri voti elencati con il numero di matricola (senza indicazione del nome e visibili solo con password). Chi preferisce che i propri voti non appaiano sul sito neanche in questa forma è pregato di avvisarmi quando consegna il primo scritto. L'indirizzo del sito è il seguente: <http://people.na.infn.it/~marrucci/ifm>

Informazioni per contattare il docente:

Tel. 081-676124 – E-mail: [marrucci@na.infn.it](mailto:marrucci@na.infn.it)

Ufficio: stanza 2H10 presso Dip. Scienze Fisiche,

Complesso di Monte S. Angelo, via Cintia

Orario di ricevimento: qualsiasi giorno/ora su appuntamento

## Istituzioni di fisica della materia

### Programma preliminare del corso, anno accademico 2011-12

#### I parte: elementi di teoria della probabilità e analisi statistica dei dati

*Probabilità.* Definizione di probabilità di eventi casuali. Probabilità di eventi combinati (unione o intersezione). Probabilità congiunte e probabilità condizionate. Variabili casuali discrete e continue, distribuzioni di probabilità. Alcuni casi particolari importanti.

*Analisi statistica dei dati.* Errori di misura, inevitabilità, tipologie, definizioni, stime. Rappresentazione e uso degli errori. Propagazione degli errori. Analisi statistica degli errori casuali. La distribuzione normale come distribuzione degli errori casuali.

#### II parte: oscillazioni e onde

*Oscillazioni* ([capitolo 1 degli appunti](#)): Oscillatori armonici: il sistema massa-molla, equazione differenziale e sue soluzioni, energia, condizioni iniziali. Oscillatori non lineari, il pendolo, piccole oscillazioni attorno a un punto di equilibrio (escluse le grandi oscillazioni). Numeri complessi. Rappresentazione complessa delle oscillazioni armoniche. Oscillazioni smorzate: il circuito RLC. Oscillazioni forzate e risonanza (il paragrafo 1.5 degli appunti fino all'equazione 5.16 esclusa, più le considerazioni sulla soluzione generale incluse alla fine). Oscillatori accoppiati: i modi normali.

*Onde: concetti fondamentali* ([capitolo 2 degli appunti](#)): La catena di pendoli accoppiati: equazione delle onde. Equazioni differenziali alle derivate parziali. Modi normali: le onde armoniche. Proprietà delle onde armoniche. Velocità delle onde armoniche (velocità di fase). Soluzione generale: onde dalla forma qualsiasi. Condizioni iniziali. Integrale e trasformata di Fourier: onde finite, impulsi e pacchetti d'onde. Relazione tra durata (spaziale o temporale) dell'onda e larghezza di banda. Energia trasportata da un'onda, densità spaziale, potenza di un'onda, caso dell'onda armonica e densità spettrale (quest'ultima senza dimostrazioni). Generazione di un'onda da un estremo del sistema. Riflessione e onde stazionarie. Risonatore: onde confinate e frequenze proprie. (NOTA: i paragrafi 2.10 e 2.11 degli appunti non sono inclusi nel programma, ma si raccomanda la lettura del 2.10).

*Onde nella materia e nello spazio* ([capitolo 3 degli appunti](#)): Onde elastiche longitudinali, onde sulla corda tesa (senza derivazioni e senza espressione esplicita dell'energia), suono in aria (senza derivazioni e senza espressione esplicita dell'energia), intensità delle onde (NOTA: in fase di esame, non si richiederà neanche la memorizzazione delle formule che forniscono la velocità delle onde in tutti i sistemi precedenti). Onde elettromagnetiche. Energia e intensità delle onde elettromagnetiche. Spettro delle onde elettromagnetiche. Equazione delle onde in 3 dimensioni. Onde armoniche piane. Onde sferiche. Interferenza di due onde armoniche "quasi" piane e di due onde sferiche, cenni sulla coerenza di due onde.

#### III parte: meccanica quantistica e atomi

*Un po' di storia: crisi della fisica classica e nascita dei quanti* ([capitolo 4 degli appunti](#)): Radiazione di corpo nero: la "catastrofe ultravioletta" e la strana soluzione di Planck. Einstein e l'effetto fotoelettrico. L'effetto Compton (cenni). Atomi ed elettroni. Righe spettrali e l'atomo di Rutherford-Bohr. L'idea di de Broglie: onde di elettroni. Esperimento di Davisson e Germer e esperimento di G. P. Thomson. Dualismo onda-corpuscolo.

*La meccanica quantistica ondulatoria* ([capitolo 5 degli appunti](#)): Funzione d'onda di una particella. Legge di dispersione per la particella materiale libera. Dinamica del pacchetto d'onde della particella libera. Velocità di gruppo. Il pacchetto gaussiano (relativamente a questo, non è obbligatorio fare i calcoli e memorizzare le formule finali, ma solo capire e ricordare i principali risultati qualitativi). L'equazione di Schroedinger dipendente dal tempo e le sue proprietà. Stato quantistico. Operatore hamiltoniano. Interpretazione statistica della funzione d'onda. Condizione di normalizzazione. Posizione media e indeterminazione sulla posizione di una particella. Distribuzione di probabilità per la misura della quantità di moto. Principio di indeterminazione. Funzioni come vettori (spazi funzionali) e prodotto scalare tra funzioni. Metodo degli operatori per calcolare il valore medio di una grandezza qualsiasi. Modi normali dell'equazione di Schroedinger: stati stazionari (stati di energia determinata). Equazione di Schroedinger indipendente dal tempo. Condizione di validità fisica delle soluzioni. Condizioni di continuità della funzione d'onda. Soluzione per energia potenziale nulla o costante (particella libera). Particella nella buca di potenziale rettangolare infinita. Stato fondamentale ed energia di punto zero. Distribuzione di probabilità delle autofunzioni. Misura di energia in stati non stazionari: valori possibili e probabilità. Dinamica quantistica: soluzione generale dell'equazione di Schroedinger come combinazione lineare di stati stazionari. Relazione di indeterminazione energia-tempo. Gradino di potenziale: autofunzioni, onda evanescente, probabilità di trasmissione e riflessione di particella incidente sul gradino. Buca di potenziale finita. Barriera di potenziale ed effetto tunnel. Oscillatore armonico.

*Meccanica quantistica con più gradi di libertà: L'atomo* ([capitolo 6 degli appunti, ancora un po' "grezzo"](#)): Particella libera in 3D. Metodo della separazione delle variabili. Buca di potenziale rettangolare tridimensionale (punto quantico). Funzione d'onda di più particelle e sua interpretazione probabilistica. Particelle indipendenti e particelle non interagenti. Stati stazionari di un sistema di particelle non interagenti ottenuti con il metodo della separazione delle variabili. Particelle identiche: postulato di simmetrizzazione, fermioni e bosoni, principio di esclusione di Pauli. Sistemi contenenti più elettroni non interagenti: configurazione elettronica ed energia totale. Momento angolare orbitale. L'atomo di idrogeno: energie e stati stazionari (orbitali). Spin (solo cenni). Cenni ai metodi del campo medio autoconsistente per tenere conto delle interazioni tra elettroni negli atomi. Analisi qualitativa della struttura degli atomi a più elettroni: configurazione elettronica dello stato fondamentale e tavola periodica degli elementi.