

### Registro delle lezioni

1. 23/06/2009, ore 15.10-16.00, aula seminari DIC  
Introduzione al corso: cosa è un laser, quali applicazioni ha, su quali fondamenti fisici si basa il suo funzionamento; necessità dell'approccio quantistico.
2. 23/06/2009, ore 16.00-16.55, aula seminari DIC  
Richiami di elettromagnetismo classico: equazioni di Maxwell, equazione dell'onda, soluzioni "semplici": onda sferica e onda piana (monocromatica, progressiva, armonica). Caratteristiche generali di coerenza della radiazione laser e loro implementazione ondulatoria.
3. 30/06/2009, ore 15.10-16.00, aula seminari DIC  
Riflessione da una parete conduttrice piana, onde stazionarie; principi generali di una semplice cavità ottica (a specchi piani e paralleli) e modi longitudinali supportati. Polarizzazione della luce: lineare, circolare. Complementarità onda/particella nell'approccio quantistico: richiami ai principali esperimenti nella transizione classico-quantistico (effetto fotoelettrico, doppia fenditura, diffrazione di Bragg, etc.).
4. 30/06/2009, ore 16.00-17.10, aula seminari DIC  
Ipotesi di de Broglie; fotoni come quanti di radiazione: quantità di moto, energia, momento angolare del fotone; esempi numerici. Sorgenti di radiazione termica: problema del corpo nero come gas di fotoni in una cavità; determinazione del numero di modi della radiazione, energia media classica (equipartizione), formula di Rayleigh-Jeans e "catastrofe ultravioletta". Interpretazione quantistica, cenni alla statistica classica (Boltzmann) e quantistica (Bose-Einstein), spettro di energia del corpo nero; legge di Wien e di Stefan-Boltzmann. Caratteristiche incoerenti della radiazione termica.
5. 03/07/09, ore 11.15-12.00, aula seminari DIC  
Impossibilità di ottenere radiazione laser da sorgente termica. Interazione radiazione-materia in termini classici; modello classico per un dielettrico: atomo di Thomson e modello di Lorenz. Soluzione dell'oscillatore armonico smorzato sotto forzante esterna: polarizzabilità atomica e polarizzazione; costante dielettrica complessa, relazioni di assorbimento e dispersione. Carattere assorbente dell'interazione.
6. 03/07/09, ore 12.00-13.05, aula seminari DIC  
Introduzione all'approccio quantistico: complementarità onda-particella; funzioni d'onda e distribuzioni di probabilità; equazione di Schroedinger per la funzione d'onda e cenni sulla sua derivazione; caso di potenziale costante, equazione degli stati stazionari: autofunzioni e autovalori.
7. 07/07/09, ore 10.20-11.00, aula seminari DIC  
Alcune semplici applicazioni della meccanica quantistica: particella libera, confronto con fotone; lunghezza d'onda di de Broglie; calcolo dei valori di aspettazione (esempio: posizione), pacchetti d'onda; potenziale a gradino: calcolo delle autofunzioni per energia minore del gradino, cenni all'effetto tunnel.
8. 07/07/09, ore 11.00-12.00, aula seminari DIC  
Quantizzazione degli stati e delle energie in potenziali confinanti: buca di potenziale infinita e cenni al caso finito, separazione tra i livelli, grandezze rilevanti in alcuni casi realistici; oscillatore armonico: quanti di energia dell'oscillatore, cenni alle autofunzioni.
9. 07/07/09, ore 12.00-12.40, aula seminari DIC  
Sistemi legati: atomo di idrogeno come paradigma della materia atomica; potenziale centrale colombiano, struttura dei livelli di energia, cenni alle autofunzioni; richiami dell'ipotesi di Bohr e calcolo dei livelli energetici. Transizioni elettroniche e conservazione dell'energia nel modello di Bohr.
10. 10/07/09, ore 11.10-12.00, aula seminari DIC  
Emissione spontanea e assorbimento nel sistema di Bohr. Momento di dipolo e irraggiamento: valore di aspettazione del momento di dipolo atomico per stati stazionari e per combinazioni di stati stazionari; integrali di sovrapposizione. Cenni sulle tecniche di sviluppo perturbativo: elementi di matrice (ampiezze di transizione), regola d'oro di Fermi; potenziale di perturbazione nell'approssimazione di dipolo elettrico.
11. 10/07/09, ore 12.00-13.05, aula seminari DIC  
Meccanismi di interazione: emissione spontanea, assorbimento, emissione stimolata. Popolazioni in un sistema a due livelli: coefficienti di Einstein, equazioni di rate. Necessità dell'emissione spontanea nel ragionamento di Einstein, relazione tra coefficienti A e B; rapporto tra emissione spontanea e stimolata in sistemi convenzionali all'equilibrio termico.
12. 14/07/09, ore 10.15-11.00, aula seminari DIC  
Caratteristiche dell'emissione spontanea e dell'emissione stimolata: natura incoerente e coerente dell'interazione nei due casi. Rilassamento dei livelli: differenza di popolazione in un sistema a due livelli in presenza di rilassamento; comportamento asintotico della differenza di popolazione, intensità di saturazione. Equazioni di bilancio per sistema a due livelli con pompaggio: possibilità di inversione di popolazione.

13. 14/07/09, ore 11.00-12.00, aula seminari DIC  
Sistemi a più di due livelli e inversione di popolazione: equazioni di bilancio per popolazioni e numero di fotoni in sistema modello a tre livelli (livello laser metastabile); guadagno e diversi regimi di operazione. Panoramica generale dei meccanismi di pompaggio in sistemi a più livelli: pompaggio puramente ottico e “mediato”. Carrellata su alcune tipologie di laser (stato solido, gas, liquido) in funzione del metodo di pompaggio. Laser a rubino e a elio-neon: cenni storici, costruzione, caratteristiche e applicazioni principali.
14. 14/07/09, ore 12.00-12.40, aula seminari DIC  
Laser a gas ionizzati (es.: Ar+, Kr+), laser a centri di colore e vibronici (Nd3+, Er3+, e altre terre rare); laser ad anidride carbonica e simili (molecolari): cenni agli impieghi tecnologici e alle caratteristiche principali. Laser ad eccimeri: cenni agli impieghi tecnologici e alle caratteristiche principali. Laser a colorante: tunabilità.
15. 21/07/09, ore 10.15-11.00, aula seminari DIC  
Laser come generatore di radiazione e non solo come amplificatore: necessità di aggiungere altri ingredienti per passare da amplificatore a oscillatore: reazione ottica e cavità (risonatore). Generalità sulle cavità ottiche: modi longitudinali, free-spectral range, perdite e fattore di qualità. Bilancio guadagno-perdite: soglia nel pompaggio, calcolo nel caso di sistema a tre livelli.
16. 21/07/09, ore 11.00-12.20, aula seminari DIC  
Richiami sulla diffrazione: perdite per diffrazione e numero di Fresnel. Confinamento in direzione trasversale: modi trasversali, risonatori confocali e generici con simmetria cilindrica. Stabilità del risonatore, uso di risonatori instabili, conseguenze nelle proprietà ottiche del fascio laser. Allargamento delle righe: meccanismi omogenei e disomogenei, forma di riga di guadagno ed esempi per alcuni sistemi laser.
17. 27/07/09, ore 15.10-16.00, aula seminari DIC  
“Interazione” tra forma di riga di guadagno e modi della cavità: emissione laser multimodo e singolo modo (di cavità), larghezza di riga di emissione e fattore di qualità, competizione tra modi. Strategie di miglioramento della monocromaticità: impiego di etalon intracavità e loro funzionamento. Sintonizzabilità: cavità terminate da reticolo. Rivisitazione delle proprietà di coerenza della luce laser: coerenza temporale e spaziale.
18. 27/07/09, ore 16.00-17.15, aula seminari DIC  
Coerenza temporale e lunghezza di coerenza, definizione di area e volume di coerenza: ruolo della monocromaticità e comportamento ottico della luce laser (es., focalizzazione); brillantezza di un fascio e intensità di picco. Generalità sui laser impulsati, potenza media e di picco. Tecniche di Q-switching e mode-locking; laser al femtosecondo (Ti:Sa, a reticoli in fibra).
19. 15/09/09, ore 10.20-11.00, aula seminari DIC  
Cenni sulle principali norme che regolano l'uso in sicurezza delle sorgenti laser: definizione di rischio, pericolo, esposizione; danni oculari: meccanismi di danneggiamento della fovea/retina e dell'umor vitreo/cristallino. Norme di classificazione laser (EN207/208); rischi collaterali; dispositivi di protezione individuale. Cenni sull'implementazione della prevenzione e protezione nei laboratori dell'Università di Pisa.
20. 15/09/09, ore 11.00-12.00, aula seminari DIC  
Introduzione ai laser a diodo: cenni storici, prospettive future, motivazioni per lo sviluppo: cenni sulle problematiche di immagazzinamento ottico dei dati. Funzionamento dei laser a diodo (argomento in tavola rotonda condotta da Ing. Vincenzo Russino con la partecipazione di tutti gli studenti): materiali semiconduttori, bande di valenza e conduzione, drogaggio, omogiunzioni.
21. 15/09/09, ore 12.00-12.50; aula seminari DIC  
(prosecuzione tavola rotonda): Meccanismi di ricombinazione e emissione di fotoni; eterogiunzioni. Realizzazione pratica di laser a diodo a eterogiunzione: richiami sulla legge di Fresnel, cavità ottica, diodi index-guided. Proprietà spettrali e ottiche dei laser a diodo ed esempi di costruzioni. Tecnologie di fabbricazione (cenni) e fondamenti dei laser a cascata quantica.
22. 16/09/09, ore 15.00-16.00, aula seminari DIC  
Discussione condotta da Ing. Goran Ivetic sull'applicazione dei laser per Laser Shock Peening: effetti meccanici dell'interazione laser materia nel caso di laser impulsati, formazione di plasma e shock-waves. Discussione condotta da Ing. Umberto Fragomeni: Laser Spallation per lo scavo di rocce porose e applicazioni in petrologia.
23. 16/09/09, ore 16-17.00; aula seminari DIC  
Applicazioni tecnologiche dei laser: ablazione laser impulsata, deposizione di film sottili per usi elettronici. Discussione condotta da Ing. Tiziana Veracini sull'impiego dei laser in telerilevamento: LIDAR e LIDAR a fluorescenza e applicazioni per analisi ambientali (forestali e marine) e per la diagnostica non distruttiva di beni culturali.
24. 16/09/09, ore 17.00-17.45; aula seminari DIC  
Discussione condotta da Ing. Tommaso Baldetti: impiego dei laser in beaming e proiezione su larga scala, componenti integrati basati su laser a diodo. Considerazioni finali sul corso e note conclusive.

Nota: il materiale didattico del corso può essere scaricato dalla pagina web <http://www.df.unipi.it/~fuso/dida/phd0809.html>