UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI FISICA Enrico Fermi

Largo Bruno Pontecorvo, 3
I-56127 Pisa, Italy

Francesco Fuso

Tel. +39 0502214305, 293
Fax +39 0502214333
fuso@df.unipi.it
http://www.df.unipi.it/~fuso/dida

Pisa, 17/12/2011

Scuola di Dottorato Leonardo da Vinci – a.a. 2010/11

Laser: caratteristiche, principi fisici di funzionamento, applicazioni

Durata: 20 ore

PROGRAMMA DEL CORSO

1. RICHIAMI DI OTTICA ONDULATORIA E CORPUSCOLARE: descrizione del campo elettromagnetico attraverso onde piane; fronti d'onda e carattere progressivo; vettore di Poynting ed intensità della radiazione. Descrizione del campo elettromagnetico attraverso fotoni: energia, quantità di moto e momento angolare dei fotoni. Funzioni d'onda e particelle. Introduzione alle caratteristiche specifiche della radiazione laser in termini classici: proprietà di monocromaticità e coerenza.

2.TRATTAZIONE CLASSICA DELL'INTERAZIONE RADIAZIONE/MATERIA: aspetti generali dell'interazione fra campi elettromagnetici e elettroni. Comportamento dei materiali conduttori (metalli): frequenza di plasma, riflessione, assorbimento. Comportamento dei dielettrici: modello dielettrico dell'atomo (Thomson) e modello di Lorenz per l'elettrone legato, condizioni di risonanza, costante dielettrica e indice di rifrazione complessi, assorbimento e dispersione.

3. ELEMENTI DI MECCANICA QUANTISTICA*:* fondamenti di meccanica quantistica: dualismo onda/corpuscolo e quantizzazione delle grandezze; richiami sugli aspetti storici del passaggio tra meccanica classica e quantistica. Cenni alle statistiche classiche e quantistiche; materia e radiazione in equilibrio termodinamico; radiazione incoerente di corpo nero: energia e proprietà spettrali. Funzioni d'onda, onde di materia e loro interpretazione fisica. Equazione di Schroedinger, evoluzione temporale e stati stazionari, autofunzioni e autovalori dell'energia. Alcuni esempi di problemi quantistici: particella libera e lunghezza d'onda di de Broglie, oscillatore armonico (cenni), potenziale a gradino, buca di potenziale infinita e finita. Potenziali di confinamento e sistemi materiali con livelli discreti: modelli atomici e necessità dei livelli discreti di energia.

4. INTERAZIONE RADIAZIONE/MATERIA IN TERMINI SEMICLASSICI. Transizioni ottiche e principi di conservazione (energia, quantità di moto e momento angolare); cenni sulla trattazione Hamiltoniana dell'interazione radiazione/materia e sull'approccio perturbativo; regola di Fermi per potenziali stazionari e dipendenti dal tempo (transizioni di dipolo elettrico). Esistenza di processi distinti: assorbimento ed emissione stimolata, emissione spontanea; coefficienti di Einstein ed equazioni di bilancio per sistema a due livelli. Assorbimento di radiazione, inversione di popolazione e amplificazione ottica: saturazione della popolazione in sistema a due livelli e impossibilità di amplificazione.

6. AMPLIFICAZIONE E MEZZI ATTIVI LASER*:* pompaggio del mezzo attivo: equazioni di bilancio in presenza di pompaggio e soluzioni stazionarie; sistemi a tre o più livelli e cenni sulle master equations; comportamento a soglia. Metodi e tecnologie di pompaggio in vari

UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI FISICA Enrico Fermi

Largo Bruno Pontecorvo, 3
I-56127 Pisa, Italy

Francesco Fuso

Tel. +39 0502214305, 293
Fax +39 0502214333
fuso@df.unipi.it
http://www.df.unipi.it/~fuso/dida

Pisa, 17/12/2011

tipi di laser: stato-solido (ioni in matrice), gas (miscele, ioni, eccimeri), soluzione (colorante). Rassegna delle principali tipologie di laser, principali caratteristiche tecnologiche e operative (escluso laser a diodo): laser rubino, Nd:YAG e derivati, HeNe, Ar^+ e derivati, laser eccimeri, laser a colorante, laser Ti:Sa; alcuni aspetti tecnologici dell'operazione in continua e in impulsata.

7. RISUONATORI LASER*:* retroazione ottica nel mezzo attivo (pompato) e oscillazioni laser. Perdite per diffrazione; cavità ottiche a specchi piani paralleli e cavità confocali: cenni sulla distribuzione dei modi trasversali TEM_{ij}, stabilità dei risonatori. Modi longitudinali e confinamento della radiazione: free spectral range. Forma di riga di guadagno: allargamento omogeneo e disomogeneo, modi attivi, operazione multimodo e singolo modo. Tecnologia dei risonatori e alcune strategie per la riduzione della larghezza di riga e per la sintonizzabilità dei laser: etalon e reticoli di diffrazione.

8. PROPRIETÀ DELLA LUCE LASER*:* definizioni di coerenza temporale e spaziale, superficie e area di coerenza e loro conseguenze nella focalizzazione di un fascio laser. Brillanza e esempi di intensità di radiazione ottenibile con sorgenti laser. Introduzione all'interferometria: interferenza e ruolo della lunghezza di coerenza, relazione con monocromaticità, pacchetti d'onda.

9. APPLICAZIONI METROLOGICHE E DIAGNOSTICHE DEI LASER: interferometria e principali interferometri (Michelson e cenni a Fizeau, Moreau, Nomarski). Interferometria di spostamento: configurazioni, applicazioni, rivelazione omodina e eterodina. Interferometria di superficie e profilometria ottica: configurazioni, applicazioni, limiti: interferometria a più lunghezze d'onda e a luce bianca. Cenni all'interferometria di speckles, sull'olografia e sull'interferometria olografica. Diagnostica di processi mediante laser: esempio della diagnostica dei plasmi: shadow-imaging (Schlieren) e interferometria di plasmi, esempi. Diagnostica "analitica": concetti generali e esempi di laser-induced fluorescence e laser absorption.

10. ARGOMENTI OPZIONALI (non trattati nel corso ma disponibili in trasparenze): laser impulsati: tecniche di Q-switching e mode-locking per la generazione di impulsi brevi e ultra-brevi e applicazioni di laser di alta potenza. Laser a diodo: storia e sviluppo della tecnologia dei laser a diodo; alcune applicazioni (presenti e future): TLC e data storage ottico. Realizzazione di laser a diodo convenzionali: omogiunzione, ricombinazione ed emissione. Eterogiunzioni e vantaggi connessi; eterostrutture e multiple quantum wells, cenni agli eccitoni. Laser a diodo non convenzionali: cenni su VCSEL e quantum cascade lasers. Norme di sicurezza nell'uso dei laser: rischio e pericolo, richiami sulla fisiologia della visione e meccanismi di danneggiamento; rischi collaterali e connessi. Classificazione dei laser secondo le norme vigenti, limite EMP, dispositivi di protezione individuale. Cenni sulle norme di sicurezza e protezione in uso e sulle procedure di corretto utilizzo.

Il registro delle lezioni e copia delle trasparenze delle lezioni sono disponibili sul sito http://www.df.unipi.it/~fuso/dida/phd1011.html