



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI
FISICA Enrico Fermi

Largo Buonarroti, 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, 19/09/09

Scuola di Dottorato Leonardo da Vinci – a.a. 2008/09

Laser: caratteristiche, principi fisici di funzionamento, applicazioni

Durata: 24 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, coerenza spaziale e temporale della radiazione laser; brillantezza di un fascio. Trattazione classica dell'interazione radiazione/materia (dielettrica): assorbimento e dispersione.

2. 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), buca di potenziale infinita e finita. Potenziali di confinamento e sistemi materiali con livelli discreti: modelli atomici.

3. Interazione radiazione materia in termini quantistici. Transizioni ottiche in sistemi atomici e molecolari, trattazione Hamiltoniana dell'interazione radiazione/materia e cenni sull'approccio perturbativo; regola di Fermi per potenziali stazionari e dipendenti dal tempo. Probabilità e rate di transizione: processi di emissione spontanea e indotta e assorbimento; equazioni di bilancio per sistema a due livelli; ragionamento e coefficienti di Einstein. Assorbimento di radiazione, inversione di popolazione e amplificazione ottica: saturazione della popolazione in sistema a due livelli e impossibilità di amplificazione.

4. AMPLIFICAZIONE E MEZZO ATTIVO: pompaggio del mezzo attivo: equazioni di bilancio in presenza di pompaggio e soluzioni stazionarie; master equations per



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI
FISICA Enrico Fermi**

Largo Buonarroti, 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, 19/09/09

sistemi a tre o più livelli, comportamento a soglia. Metodi e tecnologie di pompaggio in vari tipi di laser: stato-solido (ioni in matrice), gas (miscele, ioni, eccimeri), soluzione (colorante). Rassegna delle principali tipologie di laser e cenni sulla loro tecnologia (escluso laser a diodo).

5. RISONATORI LASER: retroazione ottica ed oscillazioni; modi stazionari della radiazione in sistemi dotati di simmetria cilindrica. Perdite per diffrazione; cavità ottiche a specchi piani paralleli e cavità confocali: modi trasversali TEM_{ij} , stabilità dei risonatori; modi longitudinali: free spectral range; forma di riga di guadagno: allargamento omogeneo e disomogeneo, modi attivi, operazione multimodo e singolo modo. Tecnologia dei risonatori e strategie per la riduzione della larghezza di riga e per la sintonizzabilità: etalon e reticoli di diffrazione.

6. PROPRIETÀ DELLA LUCE LASER: monocromaticità, coerenza temporale, coerenza spaziale, brillantezza: interpretazione classica e quantistica. Impossibilità di realizzare emissione laser da emettitori convenzionali. Relazione tra proprietà della radiazione e principi di funzionamento del laser, limiti tecnologici e fondamentali nei vari tipi di laser. Laser impulsati: tecniche di Q-switching e mode-locking per la generazione di impulsi brevi e ultra-brevi.

7. 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; etero strutture e multiple quantum wells, cenni agli eccitoni. Laser a diodo non convenzionali: cenni su VCSEL e quantum cascade lasers.

8. ALCUNE APPLICAZIONI DEI LASER (argomento basato su presentazioni degli studenti): impiego dei laser impulsati di potenza per laser shock peening e spallation drilling. Ablazione laser e deposizione di film sottili di materiali refrattari. Impiego dei laser impulsati nel telerilevamento: LIDAR a fluorescenza. Laser per proiezione: stato dell'arte e prospettive di laser beaming.

9. 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/phd0809.html>