

**Laurea Specialistica in Scienze Fisiche**  
**a.a. 2004 – 2005**  
**Fisica Atomica**  
**Titolare: Franco Strumia**

**Programma.**

1 Introduzione:	3
1.1 Caratteristiche delle sorgenti radiative rispetto allo spettro elettromagnetico	3
1.2 Principio di funzionamento di un laser	3
1.3 Caratteristiche principali della luce laser	5
1.4 Usi di un laser	9
2 Radiazione ed interazione Radiazione -Materia	11
2.1 Onde elettromagnetiche	11
2.2 Emissione di dipolo elettrico	12
2.3 Modi della cavità	15
2.4 Radiazione termica e legge di Planck	16
2.5 Assorbimento ed emissione	17
2.6 Quantità fotometriche	20
2.7 Richiami di ottica geometrica	21
3- Struttura di Atomi e Molecole: spettri, forme di riga, saturazione	24
3.1 L'atomo di idrogeno	24
3.2 Atomi a molti elettroni	29
3.3 Effetto Zeeman normale e anomalo, effetto Paschen-Back	36
3.4 Larghezza e forma delle righe	39
3.4.1 Introduzione	39
3.4.2 Costanza dell'assorbimento integrato nei sistemi lineari. Principio di stabilità spettroscopica	40
3.4.3 Larghezza Naturale	41
3.4.4 Allargamento per effetto Doppler	43
3.4.5 Profilo di Voigt	44
3.4.6 Righe omogenee e righe disomogenee	44
3.4.7 Riduzione dell'effetto Doppler: effetto Dicke	45
3.4.8 Perturbazioni esterne o per pressione	46
3.4.9 Forze interatomiche	48
3.4.10 Allargamento per collisioni tra atomi neutri	48
3.4.11 Allargamento per collisioni con particelle cariche	54
3.4.12 Allargamento delle righe dello spettro dell'idrogeno in un plasma	56
3.4.13 Teoria di Holtsmark per l'allargamento dovuto agli ioni	56
3.4.14 Determinazione della densità elettronica Ne da misure di allargamento e Stark shift	58
3.4.15 Allargamento per campi esterni lentamente variabili	61
3.4.16 Tempo di interrogazione finito	61
3.4.17 Effetti non lineari: mezzi otticamente opachi	62
3.4.18 Effetti non lineari: saturazione di righe omogenee	64
3.4.19 Saturazione di righe disomogenee	66
3.4.20 Transizioni a due fotoni in assorbimento	68
3.4.21 Conclusioni	69
4 - Laser	71
4.1 principi generali di funzionamento	71
4.2 tipi di laser	76
4.2.1 laser ad azoto	76
4.2.2 laser a rubino	77
4.2.3 Laser Nd-YAG	78
4.3 inversione della popolazione nei laser a gas	83
4.3.1 Caratteristiche della saturazione.	84
4.4 laser a gas	90
4.4.1 Laser He-Ne	90
4.4.2 Laser a CO <sub>2</sub>	93
4.4.3 Laser CO <sub>2</sub> a guida d'onda	96
4.4.4 Laser a ionizzazione Penning	105

4.4.5 Laser a gas nobili	106
4.6 Estensione delle frequenze laser	108
4.7 Laser a colorante o dye laser	113
4.8 Far Infrared Laser pompato otticamente	117
4.8.1 Modello con le equazioni di rate	120
4.8.2 Criteri di selezione per le righe FIR	123
4.8.3 Aumento delle righe FIR a disposizione	127
4.8.4 Miglioramento dell'efficienza dei laser FIR	129
4.8.5 Trasmissività e assorbimenti nel FIR	134
4.8.6 Accordabilità in frequenza	135
4.8.7 Caratteristiche tipiche dei FIRL (FIR laser)	137
4.8.8 Risuonatori per laser FIR a guida d'onda	137
4.8.9 FIR per misure in astrofisica e FIR di alta purezza spettrale	149
4.9 Selezione e controllo della frequenza di un laser	152
5 Cavità ottiche	155
5.1 Stabilità di una cavità ottica	159
5.2 Interferenza tra fasci multipli	160
5.3 Fasci gaussiani	163
5.4 Cavità stabili	171
5.5 Specchi dielettrici	173
5.6 Filtri interferenziali e trattamenti antiriflesso	175
5.7 Cavità passive	180
5.8 Cavità attive	190
5.9 Pulling dei modi	202
5.10 Potenza di un laser nel caso di piccolo guadagno	205
5.11 Hole burning	209
5.12 Dipendenza della potenza dal tuning della cavità	212
5.13 Equazione di Rigrod (alto guadagno)	213
5.14 Riga disomogenea - singolo modo - guadagno piccolo	215
5.15 Metodo per misurare i parametri di un laser	217
6 spettrometria	219
6.1 Spettri	219
6.2 Spettroscopi	221
6.3 Teoria della diffrazione e reticoli	222
6.4 Spettroscopia a trasformata di Fourier	227
6.5 Fabry Perot e prisma	234
6.6 Tecniche spettroscopiche non convenzionali	238
6.6.1 Spettroscopia optogalvanica	238
6.6.2 Spettroscopia optoacustica	240
6.7 Spettroscopia ad alta risoluzione	243
6.7.1 Tecniche di spettroscopia di saturazione, spettroscopia di intermodulazione	243
6.7.2 Spettroscopia di intermodulazione della polarizzazione	248
6.7.3 Spettroscopia a sovrapposizione di fasci	250
6.7.4 Spettroscopia a doppia risonanza	250
6.7.5 Pompaggio ottico	250
6.7.6 Spettroscopia a due fotoni	251
6.7.7 Battimenti quantici	251
6.7.8 Effetto Hanle non lineare e spettroscopia a incrocio dei livelli (level crossing)	252
6.7.9 Spettroscopia a particelle intrappolate	253
7 Metrologia	254
7.1 Definizioni del metro	254
7.2 Qualità di uno standard in frequenza	255
7.2.1 Stabilità	255
7.2.2 Accuratezza	259
7.2.3 Riproducibilità	260
7.3 Applicazioni di uno standard in frequenza	262
7.4 Stabilizzazione di un laser	269
7.5 Catene di sintesi di frequenza	274
7.6 Misura di $c$ e misure con una catena di frequenza	280
7.7 Sviluppi negli standard di frequenza ottici	282
7.8 Pettini di frequenza	283

A- Scariche nei gas	286
A.1 Scarica e bagliore	292
A.2 Scarica ad arco	296
B Spettri molecolari rotovibrazionali	299
B.1 caratteristiche generali	299
B.2 Effetto Stark	302