

Capitolo 4

Processi di Pompaggio

Si è visto che l'operazione con cui atomi vengono portati dal livello 1 al livello 3 per un sistema a 3 livelli o dal livello 0 al livello 3 per un sistema a 4 livelli è detta *pompaggio*. Di solito questa operazione viene realizzata in uno dei seguenti modi:

- mediante l'ausilio di una sorgente di luce: tale sistema, noto come *pompaggio ottico*, è stato il primo ad essere impiegato; nella sua forma originaria utilizzava lampade a xenon, cripton o mercurio ed oggi non viene quasi più utilizzato (presenta, infatti, notevoli difficoltà realizzative e richiede spazi notevoli; lo si menziona soprattutto per ragioni storiche); un processo analogo viene oggi usato per pompare ad esempio laser a coloranti o laser YAG ed impiega come sorgente un altro laser, a semiconduttori o ad azoto;
- mediante l'uso di una scarica elettrica: tale sistema è noto come *pompaggio elettrico* e trova larga applicazione nei laser a gas (e a semiconduttori);
- mediante l'uso di una reazione chimica: tale sistema viene usato nei cosiddetti laser chimici;
- mediante un processo di rapida espansione di un gas, sistema impiegato nei laser gas-dinamici.

Se i livelli superiori di pompaggio sono vuoti, potremo in generale dire che il numero di atomi portati dal pompaggio nell'unità di tempo sul livello superiore laser è esprimibile come:

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_\nu = \beta N_f \quad (4.1)$$

dove N_f è la popolazione del livello fondamentale e β è un coefficiente con dimensione dell'inverso di un tempo, che chiameremo *velocità di pompaggio*.

4.1 Efficienza di pompaggio

Ogni processo di pompaggio è caratterizzato dalla efficienza con cui atomi vengono riversati sul livello laser superiore. Si possono distinguere due tipi di efficienza:

1. Efficienza spettrale η_s , che tiene conto del fatto che il materiale assorbirà solo quella frazione di energia la cui frequenza cade nella banda di assorbimento (o nella bande di assorbimento) della transizione di pompaggio.
2. Efficienza quantistica η_q , che tiene conto del fatto che non tutti gli atomi che subiscono la transizione di pompa vengono poi riversati sul livello laser superiore. Alcuni atomi, infatti, possono direttamente cadere dal livello di pompa al livello fondamentale. Si definisce come efficienza quantistica $\eta_q(\omega)$ il rapporto tra il numero di atomi che si riversano effettivamente sul livello laser e il numero di atomi portati sul livello di pompa, alla frequenza ω .

4.2 Pompaggio elettrico

È tipicamente usato nel laser a gas e viene prodotto facendo passare nel gas una corrente (continua o alternata) di opportuno valore. Al passaggio di tale corrente, si producono nel gas elettroni liberi e ioni; queste cariche, accelerate dal campo elettrico, acquistano energia cinetica a spese della potenza elettrica immessa nella scarica. Il movimento degli ioni è di solito poco importante in quanto solo gli elettroni liberi riescono a produrre eccitazione per urti con gli atomi. Infatti, se il gas è a bassa pressione, l'energia cinetica media degli elettroni è molto maggiore di quella degli atomi o ioni presenti nella scarica. In un tempo breve si stabilisce fra gli elettroni una condizione di equilibrio in cui la loro distribuzione di velocità può essere descritta dalla legge di Maxwell–Boltzmann.

L'eccitazione di un gas pompato elettricamente può avvenire secondo due processi:

1. Nel caso in cui il gas sia costituito da un solo componente l'eccitazione è prodotta da urto elettrone–atomo, secondo lo schema:



dove X e X^* indicano il generico atomo nel suo stato fondamentale e in un suo stato eccitato ed e' l' elettrone diffuso anelasticamente. Un processo di questo tipo è detto *collisione di prima specie*.

2. Nel caso in cui il gas sia composto da due o più componenti, l' eccitazione può avvenire anche per urti fra atomi di tipo diverso attraverso un processo detto di *trasferimento risonante di eccitazione*. Facendo rife-

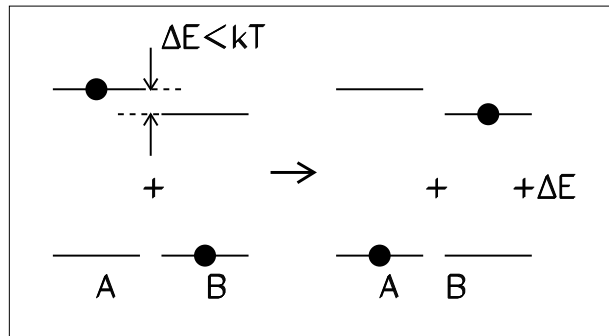


Figura 4.1: Trasferimento risonante di eccitazione fra due molecole o atomi A e B.

rimento alla figura 4.1, supponiamo che avvenga un urto fra un atomo di tipo A allo stato eccitato ed uno di tipo B nello stato fondamentale. Supponiamo anche che la differenza di energia tra i due livelli di A differisca da quella tra i due livelli di B di una quantità ΔE minore di kT . In questo modo risulta elevata la probabilità che dopo l' urto l' atomo A si trovi sul livello fondamentale e l' atomo B sul livello eccitato. Questo processo risulta particolarmente interessante ai fini del pompaggio dell' atomo B qualora il livello superiore di A sia metastabile, cioè abbia un tempo di decadimento molto lungo. In tal caso, una volta che l' atomo A sia eccitato da un urto elettronico di prima specie, esso, non decadendo, costituisce una riserva di eccitazione per l' atomo B. Un processo come quello considerato, cioè del tipo:



è detto *collisione secondaria*.

Una volta che l' atomo si trovi in uno stato eccitato, esso può decadere verso lo stato fondamentale, o verso stati di energia inferiore, attraverso 4 processi:

1. collisione elettrone–atomo eccitato, in cui l' atomo cede la sua energia all' elettrone;
2. collisione tra atomi, per gas di specie diversa;
3. collisione atomo–parete del contenitore;
4. emissione spontanea.

A seguito dei processi di eccitazione e diseccitazione sopra elencati, per una data corrente di scarica nel gas, si verrà a creare una situazione di equilibrio per ciascuno dei livelli energetici.