



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Vegyésmérnöki és Biomérnöki Kar
Fizikai Kémia és Anyagtudomány Tanszék

Lézerek és mézerek

Készítették:
Sárdi Kitti és Weingart Csaba

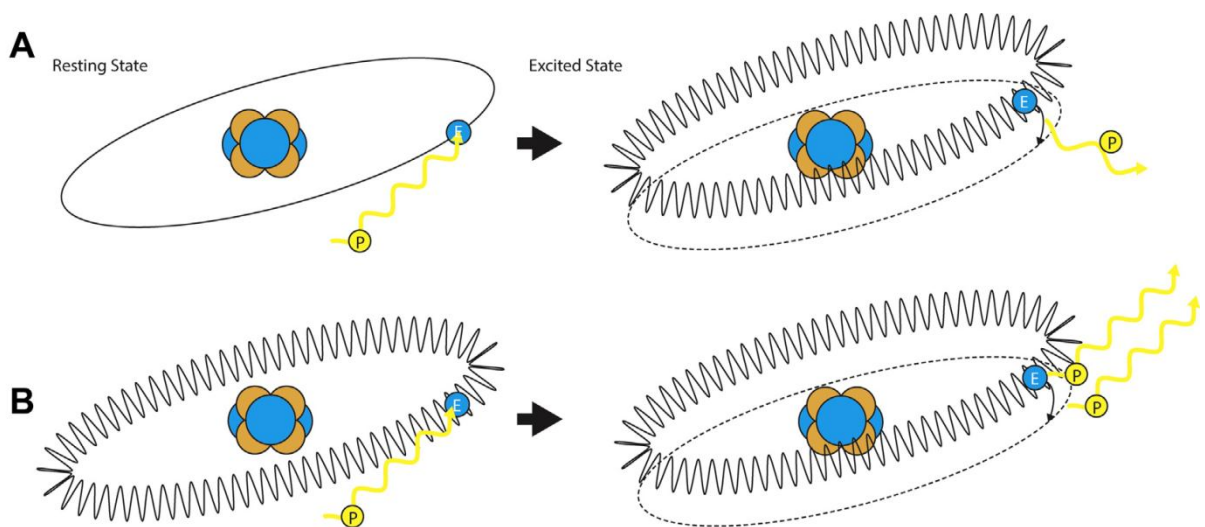
Budapest, 2018. április 10.

I. Lézerek

1. A lézerfény tulajdonságai

A lézer egy olyan eszköz, amely egy erős, specifikus hullámhosszú, irányított fénysugár kibocsátására alkalmas. A kifejezés egy angol mozaikszóból származik, LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, azaz a fény erősítése a sugárzás stimulált emissziójával [1].

A klasszikus atommodell alapján a protonokból és neutronokból álló magot elektronfelhő veszi körül, ezek az elektronok diszkrét pályákon találhatóak. Alaphelyzetben az elektronok a lehető legalacsonyabb energiaszintet (E_1) töltik be, de ha az atom energiát nyel el, akkor az elektron gerjesztődik és magasabb energiájú pályára (E_2) kerül. A gerjesztett állapot megszűnhet spontán és stimulált emisszióval. Spontán emisszió esetén külső hatás nélkül a két energiaszint különbségének ($E_2 - E_1$) megfelelő energiájú foton emittálásával szűnik meg a gerjesztett állapot és az elektron visszakerül alapállapotba [2]. Stimulált emisszió esetén egy gerjesztett elektron elnyel egy foton és alapállapotba kerülésekor két foton bocsát ki. Ezek haladási iránya, fázisa, polarizációja és energiája megegyezik. A kétféle emisszió mechanizmusát az 1. ábra szemlélteti [3].



1. ábra: Spontán emisszió (A); Stimulált emisszió (B) [3]

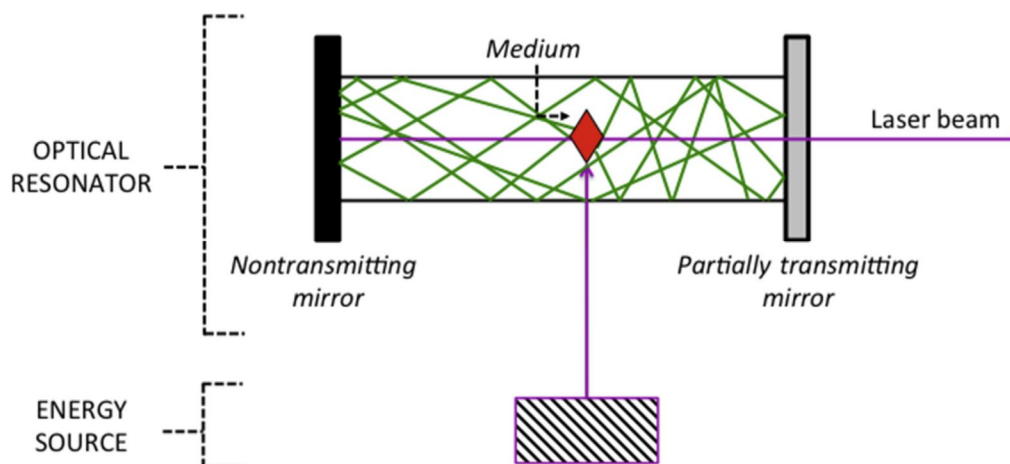
A lézerfény speciális tulajdonságokkal rendelkezik:

- monokromatikus: az elektromágneses sugárzás minden kvantuma ugyanakkora frekvenciájú
- koherens: a fényhullámok fázisban vannak térben és időben is
- kollimált: a sugarak párhuzamosak.

Ennek eredményeként, a lézersugár nagy távolságban is pontszerű, nagy energiájú és ez vezetett a lézerek széleskörű elterjedéséhez [3].

2. A lézerek felépítése és működése

A lézerek valamilyen energiaforrásból (a magyar irodalom ezt hívja pumpáló rendszernek) és egy optikai rezonátorból állnak. Az optikai rezonátor két tükörből áll, az egyik a záró tükör, ezen teljes a visszaverődés a másik tükör részben áteresztő, itt lép ki a lézertény. A két tükör között található a lézeraktív közeg, amely halmazállapota lehet gáz, folyadék vagy szilárd. Ez határozza meg a hullámhosszt és a médium alapján beszélhetünk különböző típusú lézerekről. A lézeraktív közeg lehet például: az argon gáz, rubin, mindenesetre mindig valamilyen olyan anyag, amelyben nagyszámban fordulnak elő olyan atomok, ionok vagy molekulák, melyekben populációinverzió alakulhat ki. Ebben az esetben több elektron is magasabb energiaszinten található, mint ami termodinamikailag kedvező lenne. Ahhoz, hogy ez létrejöhessen a megfelelő médiumon túl szükség van valamilyen energiaforrásra, ami gerjeszti az elektronokat. Ilyen források lehetnek különböző lámpák, elektromos áram vagy akár másik lézertény is. Ezek az ún. pumpáló rendszerek a lézeraktív közeg elektronjait gerjesztik, miközben visszatérnek alapállapotukba, az optikai rezonátorban minden irányban terjednek a kilépő fotonok. Ha az ilyen módon kilépő, megfelelő energiájú foton találkozik egy már gerjesztett elektronnal, akkor az energiája nem fog abszorbeálódni, hanem további, egy vele megegyező hullámhosszú foton fog még kilépni. Ez elindít egy egész láncreakciót és végül a részben áteresztő tükrön át jut ki a lézersugár. A tükrök szerepe az, hogy azokról visszaverődve a fotonok további indukált emissziós folyamatokat indítsanak el, ezzel erősítve a lézernyalábot [1,3]. A lézerek sematikus képe a 2. ábrán látható.



2. ábra: A lézerek felépítése [3]

3. A lézer kölcsönhatása az anyaggal

Egy anyag, amikor lézertényt nyel el, akkor sok esetben lokalizált felhevülés vagy akár fizikai változás is felléphet benne. Ennek hátterében az áll, hogy a lézersugár hatására rezgési átmenetek jönnek létre a besugárzott anyagban, ez makroszkópiusan többnyire melegedésként jelentkezik. A folyamat összetett lépések sorozata, kezdetben az elektromágneses sugárzás kölcsönhat az anyag elektronfelhőjével és energia abszorbeálódik a

karakterisztikus elektron-foton interakció eredményeként. Ezt követően megindul a plazma képződés, az anyag megolvad, ami függ az anyagi minőségtől és az abszorbeált energiától [4].

4. Lézerek főbb típusai és felhasználási lehetőségei

A lézereket a lézeraktív médium alapján csoportosíthatjuk, eszerint megkülönböztethetünk gázlézereket, szilárdtest lézereket, félvezető lézereket, fémgőz lézereket, és festék lézereket, ezek közül az első hárommal foglalkozok részletesebben.

A He-Ne lézer volt az egyik első gázlézer, egy kisülési cső, amelyben kisnyomású hélium-neon gázkeverék található. Elektromos kisülés hatására gerjesztődnek a hélium atomok, ehhez nagy energia szükséges. Ennek eredményeként metastabil állapotba kerül egyre több hélium gázatom, mert az emissziós folyamattal járó átmenet tiltott. A neon atomoknak is van egy ugyanilyen energiájú gerjesztett állapota, a héliummal ütközve erre a szintre gerjesztődik a neon és a hélium így már visszajuthat az alapállapotba. A neon elektronjai spontán alacsonyabb energiaszintre kerülnek, az átmenet során a lézer 633 nm-es vörös fényt bocsát ki. A He-Ne lézerek legnagyobb hátránya, hogy nagyon kicsi a hatásfokuk, de ezeket használják például vonalkódolvasókban [1,5]. A gázlézerek közül fontosnak tartom még megemlíteni a szén-dioxid lézereket (CO_2 mellett tartalmaz még nitrogént és héliumot), nagy hatásfokkal működnek, de intenzív hűtést igényelnek. A távoli infravörös tartományban sugároznak, amelyet a biológiai anyagok jól elnyelnek, ezért használják például szemműtéteknél és egyéb sebészeti beavatkozásoknál is, mint „lézer szike” [1].

A szilárdtest lézerek esetén a lézeraktív közeg, valamilyen adalékanyaggal pl. Nd ionnal szennyezett átlátszó üvegszerű anyag, kristály. Sokszor ezek az anyagok szigetelők, ezért a populációinverzió csak fény besugárzással valósítható meg. Egyik elterjedt képviselőjük a neodímiummal szennyezett itrium-alumínium-gránát (Nd-YAG) médiumú lézer. Nagy fényteljesítmény érhető el velük és a YAG jó hővezető, így a felesleges hő könnyebben elvezethető. A közeli infratartományban sugároz és hosszú élettartamú. A méretnövelés azonban problémás ugyanis az 1 cm-nél nagyobb YAG kristályok optikai tulajdonságai a mérettel egyre rosszabbak. Szintén alkalmazhatók az orvoslás területén, például esztétikai bőrgyógyászati kezelések során, szilárd anyagok vágására [1].

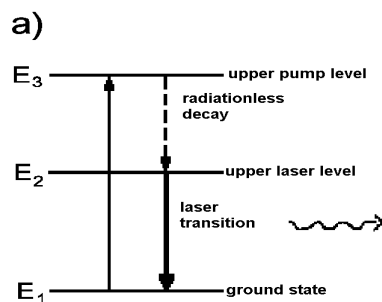
Félvezető vagy diódalézerek az eddigi legkisebb méretű lézerek, alkalmazásuk egyszerűségük és olcsóságuk miatt széles körben elterjedt, főként a kommunikációs területen, de ilyenek a lézermutatók is. A fénykibocsátás akkor történik, ha félvezető kristály p-n átmenetére nyitó irányú feszültséget kapcsolunk, aminek a hatására végbe megy az elektron-lyuk rekombináció. A lézeraktív közeg kisméretű és a kristály felületén viszonylag nagy a reflexió aránya, ezért nincs szükség külön tükörrre az optikai rezonátor kialakításához. A félvezető kristály lehet GaAs, Si, P, Sb stb. [1].

II. Mézerek [6,7]

Ebben a fejezetben szeretném bemutatni a mézer működési elvét és a felhasználási területeit. A mézer jelentése mikrohullámú erősítés stimulált sugárzás által (angolul maser „Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation”). A mézer egy olyan eszköz, ami koherens elektromágneses hullámot képes kibocsátani. A kibocsátott hullám jellemzően a mikrohullám tartományban van, bár napjainkban már más hullámhossztartományban is működnek. Az eszköz működésének alapja a stimulált emisszió. A stimulált emisszió során egy magas, gerjesztett állapotban lévő elektron, atom vagy molekula egy beérkező foton hatására leadja a többletenergiát, ez a többletenergia egy foton formájában távozik. Így a sugárzás intenzitása megnő, erősítés jön létre.

A mézereket csoportosíthatjuk a gerjesztett anyagok halmazállapota alapján. Beszélhetünk atomos mézerről (hidrogén-, ammónia-, szabad-elektron mézer), gáz mézerről (rubídium mézer), szilárd fázisú mézerről (rubin mézer).

A mézereket lehet csoportosítani az alapján is, hogy folytonosan vagy szakaszosan lehet használni. Ilyenkor a mézer szintjeiről beszélünk (kétszintű vagy háromszintű mézer). Ha csupán két energiaszintet tud felvenni, akkor a gerjesztés (“pumpálás”) során nem tud emittálni, kizárólag a pumpálás befejeztével. Ha több energiaszint is stabil (ezeket nevezzük 1, 2, és 3-nak, növekvő energiaszinttel), akkor a pumpálás során az atom az 1-es szintről a 3-asra kerül, majd az atomok többsége spontán elveszít annyi energiát, hogy a 2-es energiaszintre kerüljön. A 2-es és 1-es közötti átmenetet használjuk ilyenkor erősítésnek.



A következőkben az ammónia mézer működését ismertetem. Az ammónia molekula alapállapota és gerjesztett állapota közötti energia frekvenciában kifejezve 23 870 MHz. Az ammónia másik tulajdonsága, hogy egy elektromos térben különböző módon viselkedik az alapállapotú (vonzza) és a gerjesztett molekula (taszítja). A molekulákat így elektromos térrel szét lehet választani. A gerjesztett molekulák egy üregrezonátorba jutva mikrohullámokat keltenek.

Szilárd fázisú mézer esetében egy rubin-kristályt króm ionokkal dopolnak. A kristályt mágneses térbe helyezik, ezzel szabályozzák az energiaszintek távolságát. A rendszert nagyon alacsony hőmérsékletre hűtik folyékony héliummal, ezzel alapállapotú maximalizálják az alacsony energiájú elektronokat és minimalizálják a gerjesztett állapotot. A gerjesztő energiának köszönhetően magasabb energiaszintre kerülnek az atomok, és ezt az energiatöbbletet mikrohullámú sugárzásként adják le. Fontos, hogy az energia leadása nem spontán történik, ennek is van aktiválási gátja.

Az utóbbi időkben sikerült olyan szilárd fázisú mézert létrehozni, melyet szobahőmérsékleten és mágneses tér nélkül lehet alkalmazni. Ezt úgy érték el, hogy kristályos terfenilt pentacénnel dopoltak. A mézert gerjesztő energiát sárga fény biztosítja. Az így létrejövő sugárzás energiája megközelítőleg 100 milliószor nagyobb, mint egy hidrogén mézeré.

A mézerek alkalmazása fontos szerepet játszik bizonyos standerek meghatározásánál. A int például az idő definíciója. A cézium két hiperfinom energiaszintje közötti átmenet egy 9192 MHz frekvenciájú fotonnal egyenértékű. Ennek a rezgésnek a periódusideje 1 másodperc, definíció szerint. Az Atomichron nevű atomóra céziumot tartalmaz. Ennek az órák nagyon pontosak a cézium által biztosított stabil frekvencia miatt. A mézereket katonai radarként, mikrohullám spektroszkópiánál és műholdak mikrohullámú kommunikációjánál is használják.

Irodalomjegyzék

- [1] William T. Silfvast. Laser – Materials Interactions, 266-281
- [2] Williams D. Laser basics. *Anaesth Intensive Care Med* 2008;9:550–2. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2008.09.008>.
- [3] Franck P, Henderson PW, Rothaus KO. Basics of Lasers: History, Physics, and Clinical Applications. *Clin Plast Surg* 2016;43:505–13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cps.2016.03.007>.
- [4] Sparkes M, Steen WM. Chapter 1 - “Light” Industry: An Overview of the Impact of Lasers on Manufacturing A2 - Lawrence, Jonathan BT - *Advances in Laser Materials Processing (Second Edition)*. Woodhead Publ. Ser. Weld. Other Join. Technol., Woodhead Publishing; 2018, p. 1–22. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101252-9.00001-7>.
- [5] http://www.uni-miskolc.hu/~www_fiz/paripas/diagn/lezerek_diagn_15.pdf n.d.
- [6] Allan Lytel: *Introduction to Lasers and Masers*
- [7] Room-temperature solid-state maser, Mark Oxborrow and Jonathan D. Breeze and Neil McN. Alford, *Nature*, 2012, 488 7411, p353-356