

LÉZEREK ÉS (KATONAI) ALKALMAZÁSAIK

BEVEZETÉS

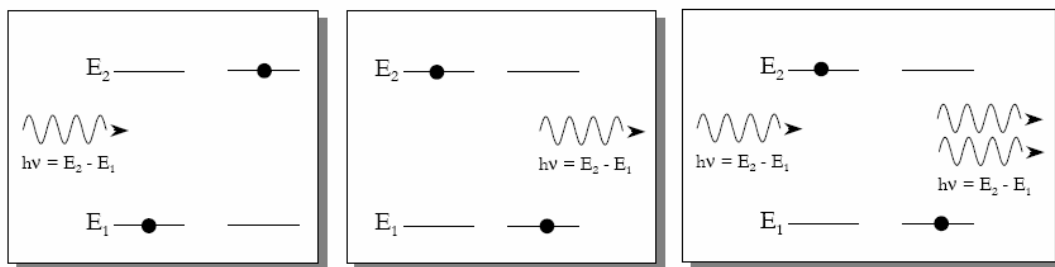
A lézerek, a 60-as években történt felfedezésük óta, hihetetlen fejlődésen mentek át úgy a tudomány, mint a technika különböző területein. A LASER betűszó az angol „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” kifejezés első betűiből áll. A lézer működésének megértéséhez mélyebb atom- és kvantumfizikai ismeretek szükségesek. Ezek leegyszerűsítve az alábbi tézispontokban összegezhetők:

- Bármilyen atomi rendszer csak diszkrét, meghatározott energiaértékekkel rendelkezhet, s a környezettel való kölcsönhatás során csak adott, diszkrét energiát tud a környezetéből gerjesztés hatására felvenni (abszorpció), illetve leadni (emisszió). Az elektromágneses energia becsatolása, illetve kivétele ezért az elektronállapotok közötti átmenetekkel kapcsolatos.
- Minden gerjesztett rendszer valamely átmeneti tranziós idő (néhány nano-, illetve microsec) visszatér eredeti állapotába, s az energiakülönbséget foton (fény) formájában kisugározza. Ez az átmenet megtörténhet magától (spontán) módon, vagy külső foton hatására (kényszerített sugárzás). Ez utóbbi esetben az emittált foton minden jellemzője (energia, polarizáció, frekvencia,...) megegyezik a kényszerítő foton ugyanilyen paraméterével.
- Normál esetekben egy fizikai rendszerben a gerjesztett állapotok fajlagos sűrűsége mindig kisebb, mint az alapállapotoké, azonban bizonyos eljárásokkal ez megfordítható, s létrehozható a lézerműködéshez okvetlenül szükséges ún. populáció-inverzió állapot, amely az erősítés alapfeltétele.
- A lézeraktív közeget rezonátorba helyezve szelektáljuk a lehetséges módusokat, s bizonyítjuk a többszöri átfutás lehetőségét a fotonok számára.

Az alábbiakban összefoglaljuk a lézerek működésének megértéséhez szükséges legfontosabb ismereteket, a lézerek konstrukciós elemeit, fontosabb paramétereiket, s röviden utalunk néhány fontos katonai alkalmazási lehetőségre.

A LÉZEREK MŰKÖDÉSÉNEK ALAPJAI

A lézerek, mint elektromágneses sugárzás forrásai, a diszkrét atomi nívók közötti átmenetek sajátosságait hasznosítják. Az abszorpció, emisszió és kényszerített emisszió folyamatait az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. Atomi nívók közötti átmenetek

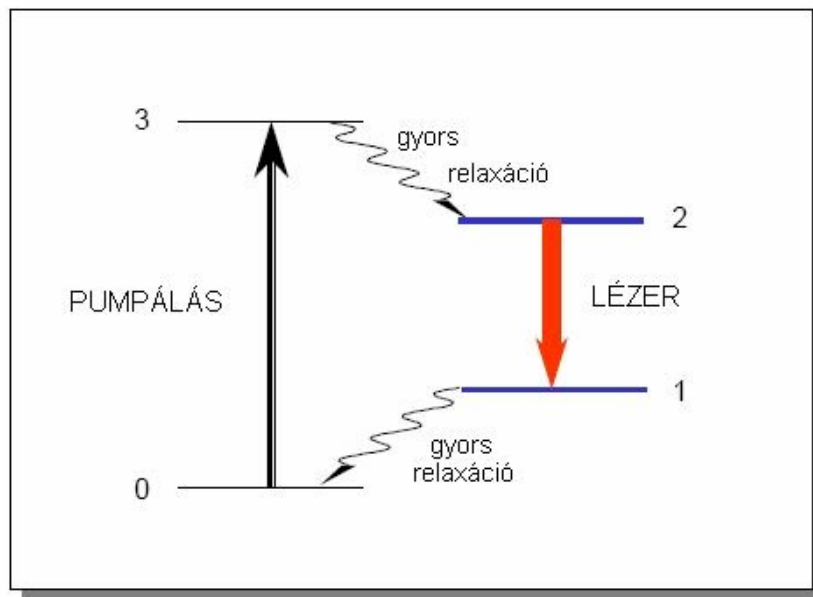
A különböző alap- és gerjesztett állapotok közötti eloszlást a feketetest sugárzási törései adják meg, s a legegyszerűbb, ún. kétnívós rendszer esetén a betöltöttség (N):

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{\frac{h\nu}{kT}} \quad \nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (1)$$

ν – a frekvencia, h – a Planck állandó, k – a Boltzmann állandó, T – az abszolút hőmérséklet

A lézer működéséhez spontán teljesülni kell az ún. populáció inverzió feltételének ($N_2 > N_1$), ami kétnívós esetben nem, de 3 vagy többnívós esetben azonban megvalósítható.

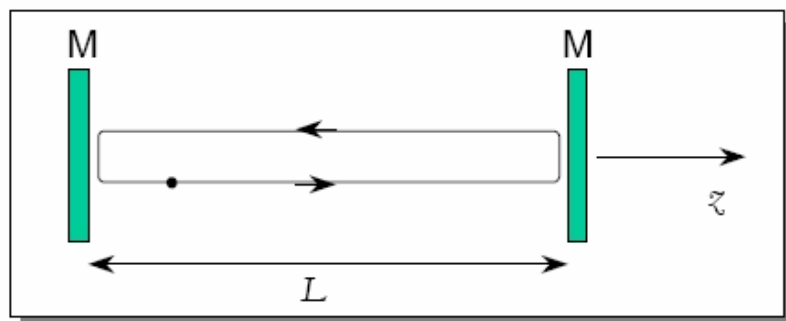
A 2. ábrán a 4 nívós esetet szemléltetjük



2. ábra. A lézerműködés elvi sémája

Olyan rendszert kell keresnünk, amelynél a 3-as gerjesztett állapot élettartama (ns) sokkal kisebb, mint az ún. metastabil 2-es állapoté ($\sim \mu s$). Ez két anyag keverékénél könnyen megvalósítható (pl. He-Ne, Nd:YAG). Az 1–3 átmenetek során történik meg a gerjesztés (pumpálás). A 3. állapotból az elektronok viszonylag gyorsan a 2-es metastabil állapotba, s kis részük az 1-es alapállapotba jutnak. A metastabil állapot magas élettartama miatt bekövetkezhet a populáció inverzió (azaz $N_2 > N_1$), s spontán foton hatására ($h\nu = E_2 - E_1$) megtörténik a lézer átmenet.

A lehetséges átmenet generálására (erősítés) az aktív közeget tükrök közé (rezonátor) helyezik (3. ábra).



3. ábra. A lézer rezonátor

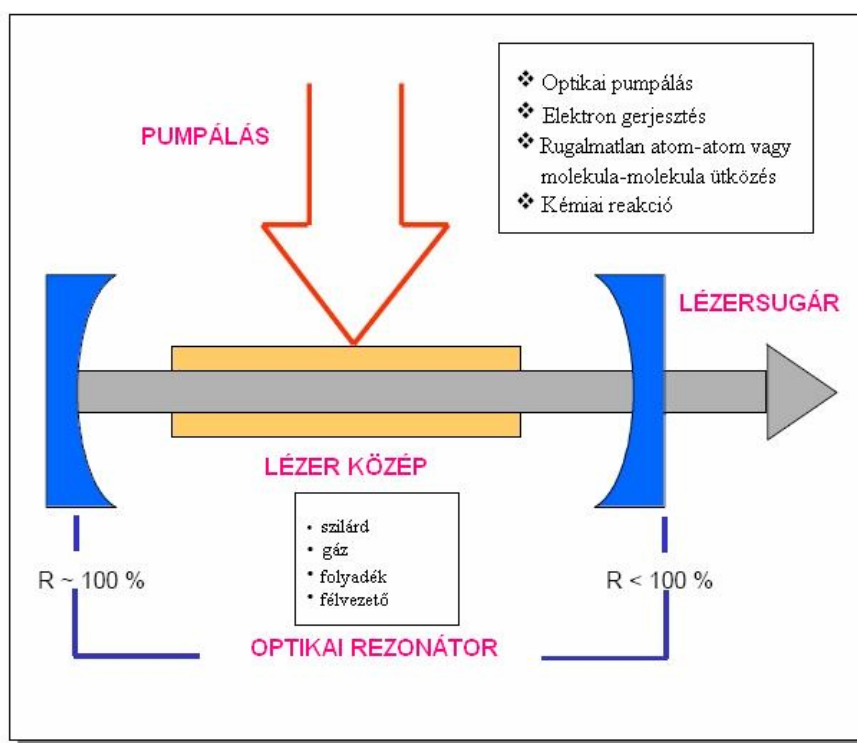
A baloldali tükör reflexiója 100%, a jobboldalitól kisebb. Ezért a tükrök közötti térben a fotonok többször is ütköznek, a tükrökön újabb erősítést okoznak. Egy bizonyos küszöbintenzitás elérése után

a rendszerből a lézertény a jobboldali tükrön keresztül kicsatolódik. A rezonálás egyben szelektál is, az egymást követő módusok frekvenciája a tükrök távolságának a függvénye.

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L} \quad (2)$$

L – a tükrök távolsága, c – fénysebesség

Így a lézerműködés általános feltételei a 4. ábrán foglalhatók össze



4. ábra. A lézer általános működési sémája

A kibocsátott lézertény módus-szerkezete a tükrök (rezonátor) geometriájának függvénye.

A LÉZEREK OSZTÁLYOZÁSAI

Működési mód CW – continuous wave, azaz állandóan sugároz

IPM – impulzus lézer, azaz a fényt rövidebb-hosszabb csomagokban (impulzusokban) bocsátja ki. Az egyes impulzusok hossza (időbeli) az 1 ms-tól a néhány fs-ig (10^{-15} s) terjedhet. (Ma már megjelentek az attosecondumos lézerek is, pl. $\tau \approx 6$ attose, azaz $6 \cdot 10^{-18}$ se).

Hullámhossz Ma már több ezer lézerkonstrukció ismeretes, amelyek hullámhossza a $\lambda = 10$ nm – 500 μ m (azaz 0,01 eV – 100 eV) tartományba esik.

Monokromatikus (egyszínűség), tipikusan $\Delta\nu \approx 1$ MHz – 1 GHz,

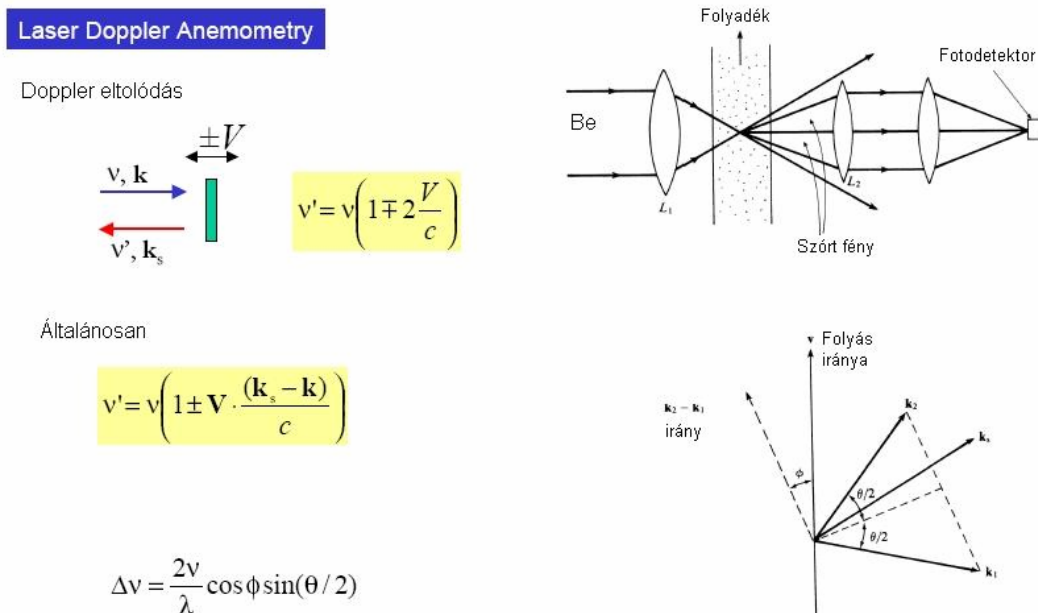
a relatív érték $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\nu}{\nu} \sim 10^{-12} - 10^{-15}$.

Írányítottág A jó rezonátorok miatt a lézertény rendkívül párhuzamos nyalábbbban távozik a rendszerből. A szögeltérés $\delta\theta = \frac{\lambda}{d} \approx 1$ mrad – 1 μ rad (d – a nyalábátmérő).

Koherencia fok (a fázistartó képességére utal). A koherencia idő (amíg a fázis kevesebbet fordul, mint 180°).
 $\Delta\tau = 1/\Delta\nu \sim \Delta\nu \sim 1 \text{ MHz}$
 $\Delta\nu \sim 1 \mu\text{s}$
Koherencia hossz $\Delta Z = c\Delta\tau \approx 300 \text{ m}$ (ekkora távolságon belül hologram képes).
Spektrális fényesség (egységnyi szteradiánban egységnyi frekvenciaintervallumban kisugárzott fényteltjesítmény) (β) tipikusan Nd:üveg lézer, $\beta = 10^8 \text{ W/cm}^2 \text{ sr Hz}$.
A Nap esetében $\beta = 10^{-12} \text{ W/cm}^2 \text{ sr Hz}$.

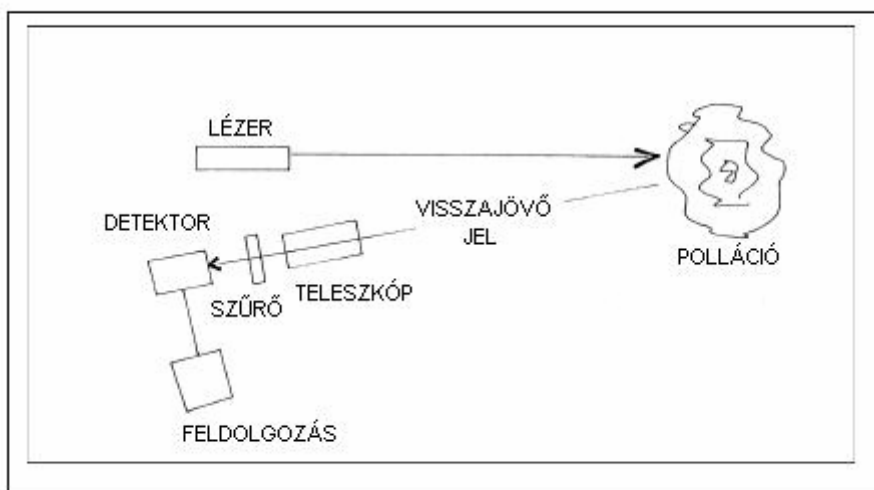
A LÉZEREK ALKALMAZÁSAI

Az előbb vázolt unikális tulajdonságaik miatt a lézerek felhasználási területe nagyon sokrétű. A nagyfokú koherenciából adódó kitűnő interferenciaképesség miatt sokoldalú felhasználási lehetőség adódik a mérés technikában. A mérési pontosság elérheti az alkalmazott hullámhossz egy tizedét. A Doppler-effektust felhasználva kitűnő sebességmérő készülék konstruálható egyszerű és olcsó CW lézerek felhasználásával (ld. 5. ábra).



5. ábra. Lézer–Doppler-sebességmérő elve

Ugyancsak hatékonyan használható a lézer radarként (Light detection and ranging = Laser radar), ahogy azt a 6. ábrán látható sematikus rajz is mutatja (LIDAR).

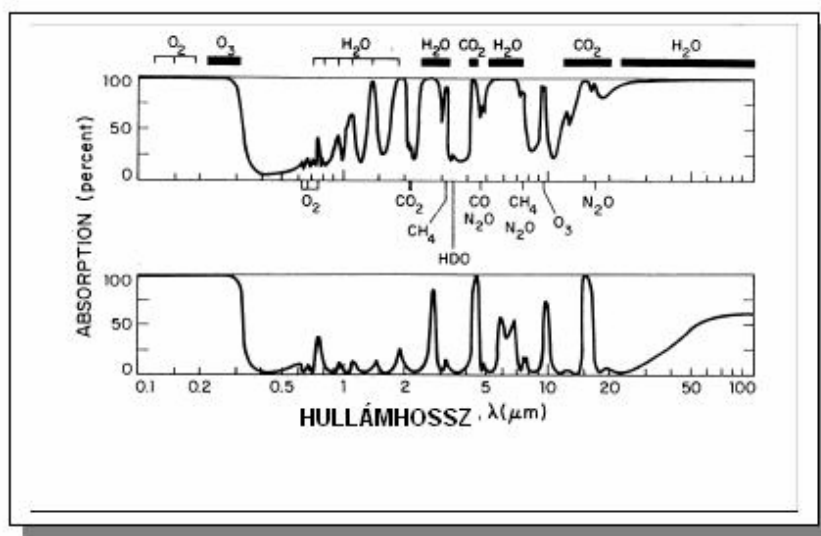


6. ábra. LIDAR-elv

Az eleve módosított variánsa (differential absorption lidar) ppm–ppb szintű szennyeződés kimutatását is lehetővé teszi.

A Raman-effektust kihasználva, a szórt fény a közegre sajátos frekvenciával növelt (anti stokes), illetve csökkentett (stokes) frekvencián detektálható, s ezáltal igen gyenge fluoreszcencia mérést tesz lehetővé, ami az igen alacsony koncentrációjú idegen anyagok jelenlétének kimutatására szolgálhat.

A Doppler és LIDAR ötvöztetésével hatékonyan felderíthetők pl. a tengervíz fluoreszcensz szennyezői ún. planktonok, olajfoltok, halrajok, stb. (ld. 7. ábra).



7. ábra. Az atmoszféra abszorpciója a hullámhossz függvényében

Széleskörűen ismertek a szórakoztató ipar felhasznált alkalmazások (disco lézerek, CD-k, DVD-k). Orvosi alkalmazások (operációs alkalmazások, plasztikai (szőrtelenítés) alkalmazások sora épült be a mindennapi gyakorlatba.

Egyik legfontosabb felhasználási terület a telekommunikáció területére esik. A kitűnő modulációs tulajdonságoknak és transzportnak (üvegszál) köszönhetően a félvezető lézeres távközlés soha nem látott hatékonysággal működik, s fejlődik.

KATONAI ALKALMAZÁSOK

A lézerek és a lézertechnika ragyogó fejlődésében meghatározó szerepet játszott (és játszik) a katonai alkalmazásokban mutatott potenciális lehetőség.

A lézeres mérés technika, a Doppler-elven működő metrológia sikerei révén a lézerek ma már mindennaposak a pozíció meghatározásában, célkövetésben és távközlésben, információtovábbításban és feldolgozásban.

A rendkívül nagy elérhető teljesítmény sűrűség (TW/cm^2), kitűnő manipulálhatóság és széles hullámhossz variálási lehetőség kedvez az Irányított Energiájú Fegyverek (Directed Energy Weapons) különböző típusai kifejlesztésénél. A korszerű interkontinentális ballisztikus rakéták megsemmisítését még a kilövési terület közelében kell megoldani, s erre a célra a „fénysebességgel” száguldó fegyveren kívül jobb megoldás nem kínálkozik.

Ezek vagy repülőgép fedélzeti lézerek (Airborne lasers), vagy űrbázisú lézerrendszerek (Space-based lasers). Maga a lézer a nagy hatásfok kíváncsága miatt oxigén-jód kémiai lézer, vagy folyékony N_2 -vel hűtött Yb:YAG, esetleg Nd:Y₃Al₅O₁₂ alapú kerámia lézer, illetve excimer (excited-dimer) alapú lézerek.

Repülőgépre szerelt változataik (Boeing 747-400F) laboratóriumi kipróbálása megtörtént, hadrendbe állításuk 2007-re várható.

Ugyancsak említést érdemel – katonai vonatkozásai miatt – a National Ignition Facility (NIF) program, amely a termonukleáris fúzió gyutacsaként is szolgáltató a fúzió beindításához szükséges több, mint 10 M K-es hőmérsékletet. A H–D–T cseppre 192 nyalábban (szinkronizáltan) érkező lézerfény csomag az eredeti cseppet térfogatának ezredrészére préselné, ezáltal biztosítva a magas sugárzási hőmérsékletet.

A fenti grandiózus programok megvalósíthatóságát illetően természetesen felmerül(het)nek kételyek. Az amerikai fizikai társulat (APS) is megfogalmazta kételyeit.

Amerikai fizikusok véleménye a tervezett rakétavédelmi rendszerről /Seife Ch, Science 301, p.287 (2003)/

„Mivel a szilárd hajtóanyagú rakéták (ICBM) üzemideje cca 3 perc, a folyadékmeghajtásúaké 4 perc, ennyi idő alatt kellene bemérni és az ellenintézkedést megtenni. A repülőgépekről indítható lézeres megsemmisítő eszközöknek 300-600 km-re meg kell közelíteni a célpontot. A rakéta pályája az üzemeltetés során megjósolhatatlan, s ez is megnehezíti a nyomon követést. A szilárd hajtóanyagú rakéta jobban ellenáll a hőterhelésnek, ezért lézerrel kevésbé sebezhető.”

A döntő szót természetesen a kísérletek alapján mondják majd ki. A katonai kísérletek – a finanszírozásuk mindenképpen – jó úton haladnak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] ROBIEUX Jean: High Power Laser Interaction. Lavoisier, 2000.