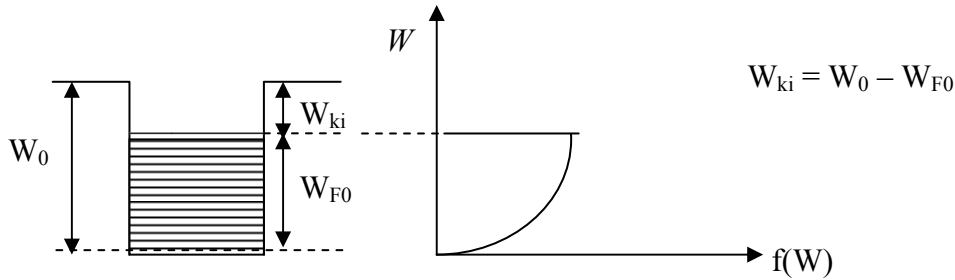


Termoelektromos jelenségek

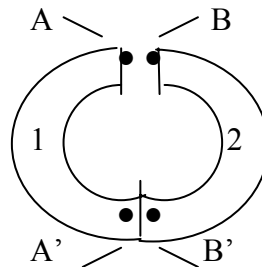
Vezetési elektronok maguktól nem lépnek ki egy fém felületéről, ahhoz, hogy ez megtörténjen, az elektronokra a fém belseje felé irányuló erő ellenében bizonyos munkát, ún. *kilépési munkát* kell végezni. Mondhatjuk, hogy ezek az elektronok egy W_0 mélységű potenciálgödörben vannak, ahol a Fermi-szintig (W_{F0}) lévő energiaszinteket töltik be. A Fermi-szinten lévő elektronok kiszabadításához szükséges munka a kilépési munka. Az előbb tárgyalt eloszlásfüggvény alapján ugyanis a Fermi-szinten a legnagyobb a vezetési elektronok koncentrációja, ezért ezek képesek kilépni megfelelő energia-befektetés esetén. (12. ábra)



12. ábra

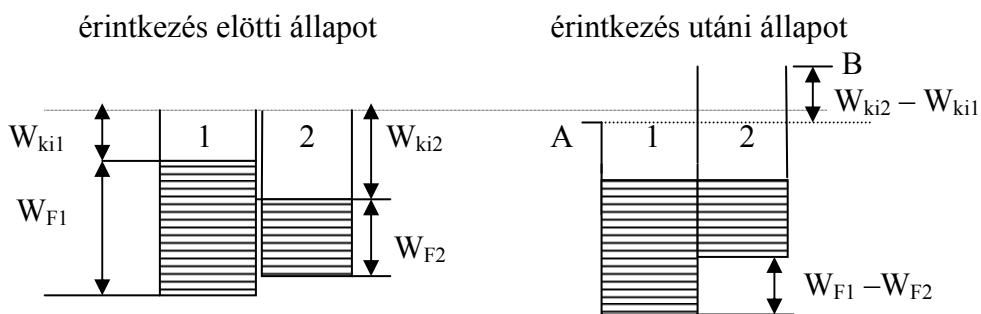
A kilépési munkát termikus elektronemisszió, fotóeffektus, vagy más úton közölt energia biztosíthatja.

Volta és Galvani kísérletei alapján már régóta ismerjük az *érintkezési feszültségeket*: két különböző minőségű fém érintkezési felületéhez közeli külső pontok (A és B) között fellépő feszültséget *Volta-feszültségnek* (U_V), az érintkező fémek belsejében, a határfelülethez közeli pontok (A' és B') között fellépő feszültséget *Galvani-feszültségnek* (U_G) nevezik. (13. ábra)



13. ábra

Az érintkezési feszültségeket a potenciálgödrök eltolódásával, a Fermi-szinteknek (mint kémiai potenciáloknak) a termodinamika második főtételét követő kiegyenlítésével értelmezhetjük, a 14. ábra szerint:



14. ábra

Ekkor az A és B pontokhoz tartozó potenciális energiakülönbség $W_{ki2} - W_{ki1}$, a Volta-feszültség:

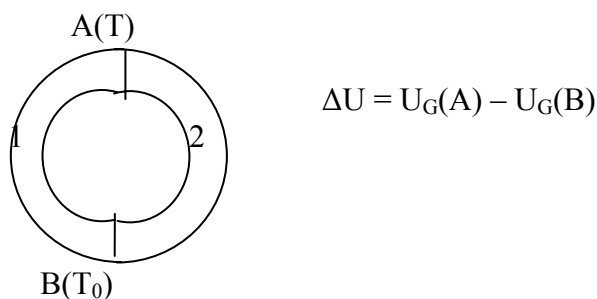
$$U_V = \frac{W_{ki2} - W_{ki1}}{e},$$

ahol e az elektron töltése. Az elektronok potenciális energiája a 2. fém belsejében $W_{F1} - W_{F2}$ -vel nagyobb, mint az 1.-ben. Így a Galvani-feszültség:

$$U_G = \frac{W_{F1} - W_{F2}}{e}$$

A Galvani-feszültség hőmérsékletfüggéséből adódnak a termoelektromos jelenségek: a Seebeck-effektus és a Peltier-effektus.

Thomas Johann Seebeck (1770-1831) 1821-ben fedezte fel a termoelektromos hatást, vagy ahogy ma nevezzük, a *Seebeck-effektust*. Eszerint két különböző fémből, vagy félvezetéből álló vezetőkör egyik érintkezési pontját melegítjük, vagy hűtjük, akkor a két érintkezési pont között feszültség lép fel, zárt kör esetén áram folyik. (15. ábra)



15. ábra

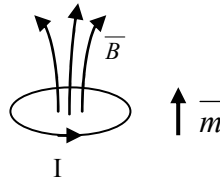
A ΔU termoelektromos feszültség függ az anyagi minőségtől és a hőmérsékletkülönbségtől. Kis hőmérséklet-különbségek esetén $\Delta U = \alpha \Delta T$, ahol α a két fém, vagy félvezető elektron-koncentrációjától függő Seebeck-együttható.

Jean-Charles-Athanase Peltier (1785-1845), francia fizikus és órásmeister, 1834-ben felfedezi, hogy villamos árammal nemcsak hő állítható elő, hanem hideg is. Az általa felfedezett, ún. *Peltier-effektus* lényege, hogy ha áram halad át két, különböző fém, vagy félvezető érintkezési helyén, akkor az áram irányától függően az érintkezési pont felmelegszik, vagy lehül. $Q = \pi I$, ahol Q az átadott hőmennyiség, I az áram erőssége, π pedig a $\pi = \alpha T$ alapján az elektron-koncentrációktól és a hőmérséklettől függő, ún. Peltier-együttható. Két érintkezési pont esetén az egyik felmelegszik, a másik lehül. Ha az 1. érintkezési pontot állandó hőmérsékleten tartjuk, akkor ezt a jelenséget hűtésre lehet használni. Napjainkban sok helyen alkalmazzák a Peltier-féle hűtőelemet, ahol kis hely áll rendelkezésre a hűtésre.

Szilárd testek mágneses tulajdonságai

A Bohr-modell szerint körmozgást végző atomi elektron T keringési idejével I köráramnak felel meg: $I = e/T$. Amint korábban láttuk, ez mágneses teret hoz létre. A tapasztalat szerint az atomi elektron mágneses tere megfelel egy kis mágneses dipólus terének. Az erre jellemző mágneses dipólusmomentum nagysága (17. ábra)

$$m = IA = \frac{e}{T} r^2 \pi$$



17. ábra

Az egységnyi térfogatra jutó mágneses momentum a **mágnesezettség vektora**:

$$\overline{M} = \frac{\overline{m}}{V}$$

Az anyag jelenléte megváltoztatja az indukciót a vákuumbeli indukcióhoz képest. Ezt úgy is figyelembe vehetjük, hogy a vákuumbeli indukcióhoz egy vektor hozzáadódik:

$$\overline{B} = \mu_0 \mu_r \overline{H} = \mu_0 \overline{H} + \overline{M}$$

Innen

$$\overline{M} = \mu_0 \overline{H} (\mu_r - 1) = \mu_0 \overline{H} \kappa$$

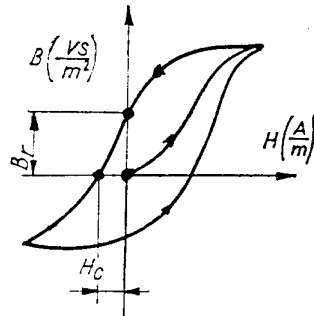
A κ -val jelölt mennyiséget **mágneses szuszceptibilitásnak** nevezzük. Az anyagok mágneses viselkedése kapcsolatban van ezzel a mennyiséggel:

Diamágneses anyagok esetén a $\kappa < 0$, $|\kappa| \ll 1$, így a relatív permeabilitás $\mu_r \approx 1$. Mindez azt eredményezi, hogy az ilyen anyagból készült kis rúd a tér ellenébe fordul (erre utal a dia- elnevezés is). Ezeknél az anyagoknál a mágnesezettség vektora ellentétes irányú a térerősség vektorával.

Paramágneses anyagok esetén $\kappa > 0$, $|\kappa| \ll 1$, így a relatív permeabilitás $\mu_r \approx 1$. Az ilyen anyagból készült rudacska beáll a tér irányába (paralel, innen a para- elnevezés). A mágnesezettség vektora azonos irányú a térerősség vektorával. A külső tér megszűnte után $m = 0$ lesz, mágneses tulajdonsága megszűnik.

Ferromágneses anyagok a paramágneseshez hasonlóan viselkednek, de $\kappa \gg 1$, és függ a mágneses térerősségtől (a relatív permeabilitás 10^3 nagyságrendű). Így ezekre az anyagokra érvényes a következő. A külső térerősség növelésekor kezdetben gyorsan, majd egyre kisebb mértékben növekszik az indukció és egy jellemző térerősségnél telítettséget ér el. H és B változása ezen görbe mentén csak egyszer következik be, ez az ún. *szűzgörbe*. A zérusra csökkentett külső térerősség mellett is van az anyagban indukció. Ezt *remanens indukciónak* nevezzük. A külső térerősséget nulláról ellenkező irányban növelve elérhetjük, hogy az indukció zérusra csökken. Azt a térerősséget, amelynél $B = 0$ *koercitív térerőnek* nevezzük. Az indukció és a térerősség kapcsolatát mutató görbét **hiszterézis görbének** nevezzük. (18. ábra) A görbe által közrezárt terület méri az átmágnesezéshez szükséges munkát. Ha a hiszterézis görbe által határolt terület kicsi, lágy, nagy terület esetén kemény mágnesről beszélünk. Állandó mágnesként a nagy koercitív erejű és nagy remanenciájú ferromágneses anyagok hasznosíthatók.

A ferromágneses tulajdonság az anyag minőségére jellemző legnagyobb hőmérsékletig tapasztalható. A ferromágneses anyag paramágnesessé alakul az ún. **Curie-ponton**.



18. ábra

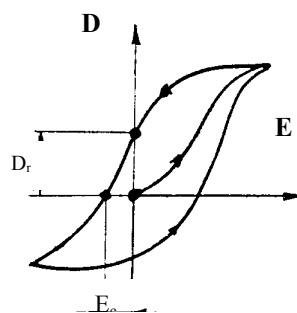
Egy transzformátorház mellett, vagy egy nagyfeszültségű vezeték közelében zümmögő hangot hallunk, ez a **magnetosztrikció** jelenségének következménye. A jelenség alapja az, hogy a változó mágneses tér a fémlemezek, ill. a vezeték méretének változását eredményezi, ez a levegőben nyomásváltozást idéz elő, ami hangként jelenik meg.

Ferroelektromosság, piezoelektromosság, elektrosztrikció

Ez a három jelenség csak részben függ össze (a piezoelektromosság, elektrosztrikció), másrészt hasonlóságot mutatnak a mágneses tér bizonyos anyagokra gyakorolt hatásával (ferroelektromosság, elektrosztrikció)

Ferroelektromosság

Bizonyos szigetelőanyagok, más néven dielektrikumok villamos térbe helyezve úgy viselkednek, mint a vas mágneses térben. Ezt a jelenséget ferroelektromosságnak nevezzük. Az ilyen tulajdonságú anyagok a ferroelektromos kristályok. Ezek esetében az eltolási vektor a villamos térerősséggel hasonló hiszterézis görbe mentén változik, mint a ferromágneses anyagok esetében. Ezt láthatjuk a 19. ábrán. A $\overline{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \overline{E}$ összefüggésben tehát a relatív permittivitás nem állandó, hanem a villamos térrel változik. A ferroelektromos kristályok relatív permittivitása 10^4 nagyságrendű is lehet.

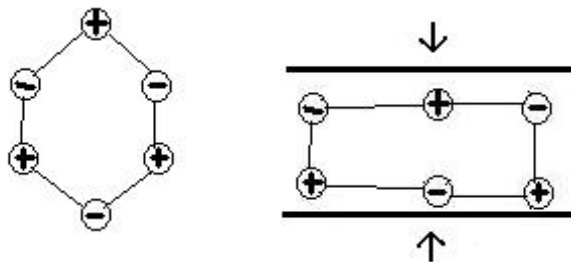


19. ábra

A ferroelektromos kristályok egy részéből permanens dipólusként viselkedő testek, un. **elektrétek** készíthetők. Folyékony állapotban villamos térbe helyezett dielektrikumok polarizálódnak. A dielektrikum lassú hűtése során a villamos térerősség irányába rendeződő dipólusos molekulák a megszilárduló anyagba "befagynak". A megszilárdult test külső felületein ellentétes előjelű látszólagos töltéssűrűségek jelennek meg. Az így nyert elektrétek felületi töltései a környezetből ellentétes előjelű töltéseket vonzanak. Ezek kompenzálják a felületi töltéseket, megszüntetik az elektrétet. A külső káros hatás ellen az elektrét felületét fémrel vonják be. A fémrel bevont elektrétek évekig is megtartják permanens dipólus tulajdonságukat. Az elektrétek optikai polarizációs szűrők, mikrofonok, hangszórók készítéséhez használatosak.

Piezelektromosság, elektrosztrikció

Bizonyos dielektrikumok esetében azt tapasztaljuk, hogy meghatározott módon kivágott darabjaikra nyomást gyakorolva, a felületükön töltések jelennek meg. Ez a jelenség a **piezelektromosság**. Jellegzetes példája a kvarckristály viselkedése. A kvarc kristályaiban (SiO_2) szabályos hatszög alakú gyűrűkben kapcsolódnak egymáshoz a hatszög csúcsain váltakozva megjelenő pozitív és negatív ionok. Külső erőhatás nélkül a pozitív és negatív töltések súlypontja egybeesik, a kristály kifelé villamosan semleges. Nyomás hatására a töltések súlypontja eltolódik, a 20. ábra szerint egy megfelelően kivágott lapka egyik oldalán pozitív, a szemközti oldalán pedig negatív felületi töltéssűrűség jelenik meg. A jelenséget 1880-ban fedezte fel **Pierre Curie** és testvére, **Jacques Curie**.



20. ábra

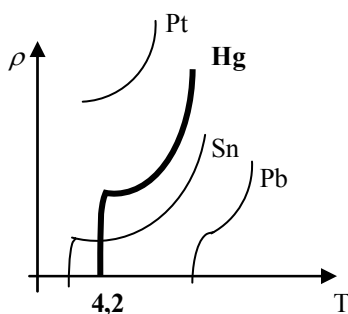
A piezelektromossággal öngyújtókban, gázgyújtókban, kisméretű generátorokban találkozunk.

A piezelektromosság fordítottja a Pierre Curie által 1881-ben felfedezett **elektrosztrikció**: villamos térbe helyezve a kvarckristályt, felülete deformálódik, egyik irányba megnyúlik, a másikba összenyomódik. Váltakozó feszültség esetén a feszültségnek megfelelően rezgőmozgást végez. A kvarcórában és a dízel injektorokban alkalmazzák a jelenséget.

Szupravezetés

Kamerlingh-Onnes (1853-1926), holland fizikus, 1908-ban, laboratóriumában előállított cseppfolyós héliumot, majd az ennek megfelelő, alacsony hőmérsékletű környezetben különböző fizikai tulajdonságokat vizsgált. A fémek ellenállásának vizsgálatakor például a platina, a palládium ellenállása csökkent, ezek értékét 0 K-re extrapolálva azonban kapott egy maradék ellenállást, a várt $R=0$ helyett. Feltételezte, hogy ez a fém tisztaságától függő jelenség, ezért a legnagyobb tisztaságú fémként előállítható higanyt vizsgálta. Azt tapasztalta, hogy 4,2 K hőmérsékleten a higany ellenállása hirtelen nullára csökkent. *Azokat az anyagokat, amelyek ellenállása egy ún. kritikus hőmérséklet alatt gyakorlatilag nullára csökken, szupravezető anyagoknak nevezzük.*

Tiszta anyagokra a fajlagos ellenállás változását a hőmérséklet függvényében néhány példa alapján a 21. ábra mutatja. A szupravezető tiszta fémeket *elsőfajú szupravezetőknek* nevezzük. A szobahőmérsékleten legjobb vezetőképességű fémek közül a réz, ezüst, arany nem hozható szupravezető állapotba.



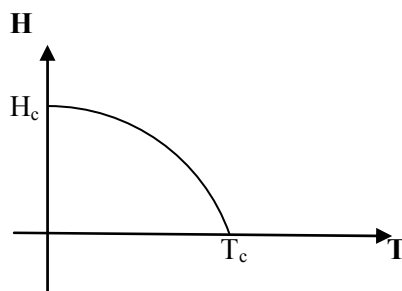
21. ábra

Állandó áram az áramerősséggel arányos mágneses teret kelt: egy kísérlet során ólomgyűrűben folyó áram hatására – szupravezető körülmények között – fölötté hosszú ideig lebegett a leejtett ólomgömb.

Bizonyos vegyületek és ötvözetek szintén mutatják a szupravezető tulajdonságot, de valamivel magasabb kritikus hőmérsékleteken. Ezek az ún. *másodfajú szupravezetők*.

Szupravezető mágnesek esetében a mágneses tér erőssége kb. tízszer akkora, mint az elektromágnesek esetében.

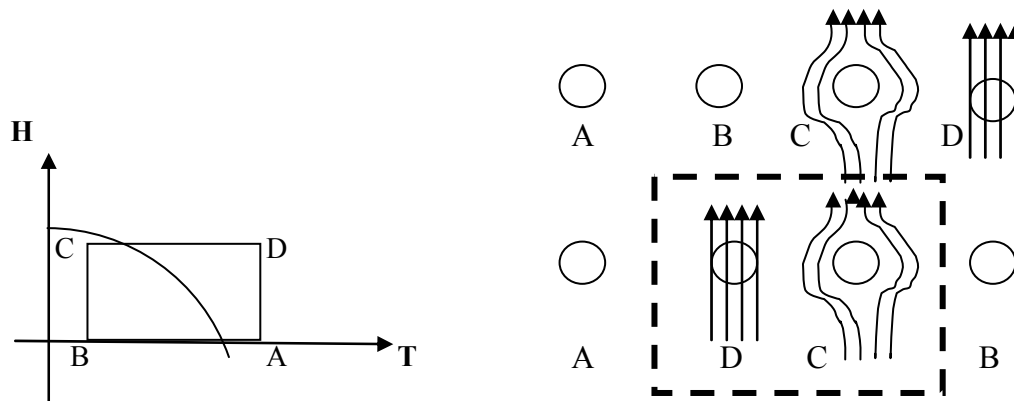
Külső mágneses tér (vagy akár a szupravezetőben folyó áram által keltett mágneses tér) adott térerősség felett megszünteti a szupravezető állapotot. Ezt fejezi ki a **küszöbérték görbe** (22. ábra) Így a kritikus térerősség (H_c) megszabja a maximális áramerősséget is. Ezért az elsőfajú szupravezetők nem alkalmasak nagy erősségű mágneses tereket létrehozó szupravezető mágnesek kialakítására.



22. ábra

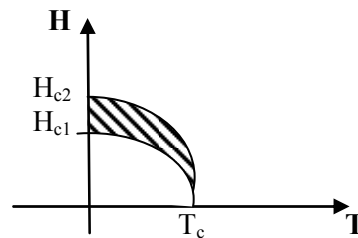
1933-ban **Walter Meissner** és **Robert Ochsenfeld** felfedezték, hogy amikor egy fém gyenge mágneses mező jelenlétében szupravezetővé válik, akkor a mágneses indukció az anyag belsejében mindenütt nulla lesz. Ez alapján a ma *Meissner-Ochsenfeld effektusnak* nevezett jelenség lényege az, hogy *szupravezetők mágneses mezőbe helyezve, kivetik magukból az indukcióvonalakat, azaz tökéletes diamágnesként viselkednek*. Ez a tulajdonság éppolyan alapvető jellemzője a szupravezetőknek, mint a közel nulla ellenállás, annak nem következménye.

A 23. ábrán egy szupravezető állapotba hozható anyagot az A-B-C-D úton viszünk, a küszöbértékgörbe segítségével ill. az indukcióvonalakkal jeleztük a mágneses tér jelenlétét. Ha az A-D-C-B utat követjük, azt a - klasszikus fizikában szokatlan - jelenséget illusztrálhatjuk, hogy **állandó mágneses indukció áramot indukál az anyag felületén** (D-C szakasz). Az ilyen, ún. **szuperáramok** által keltett mágneses mező az anyag belsejében kompenzálja a külső mágneses teret.



23. ábra

A küszöbérték görbe a másodfajú szupravezetők esetében a 24. ábrán látható. A két kritikus télerősség közötti tartományban az indukciós vonalak fokozatosan hatolnak be az anyag belsejébe.



24. ábra

A szupravezetés magyarázatát röviden a következőkben vázoljuk. A fém kristályrács rezgési állapotát célszerű volt úgy kezelni, mint energia-adagok, un. *fononok* rendszerét. A gondolat többek között **Kármán Tódor** 1912-ben felvetett elméletére vezethető vissza. Ezt továbbgondolva, valamint azt a tapasztalatot figyelembe véve, hogy a kritikus hőmérséklet egy anyag izotópjainál eltérő, 1957-ben **Bardeen, Cooper** és **Schrieffer** létrehozták az un. **BCS-elméletet** a szupravezetés magyarázatára. Szupravezető állapotban a rács ionjához közeledő elektron megzavarja az ion rezgésállapotát, ennek következtében az ion kvantált mechanikai energiát emittál. A mechanikai energia kvantumai a fononok. A rezgő fémionok körüli fonontér energiájával két, ellentétes spinű elektron elektronpárt, un. Cooper-párt alkot, és az így létrejött, nulla spinű elektronpárokra nem érvényes a Fermi-Dirac statisztika, sem a Pauli-elv, azok akadálytalanul képesek a kristályrács belsejében mozogni.

A szupravezetőknek már jelenleg is nagy szerepük van az erős, nagy kiterjedésű mágnesterek létrehozásában, találkozhatunk velük az erősáramú elektrotechnikában (nagyteljesítményű generátorok, energiaátvitel), alkalmazhatók a számítógépeknél memóriaelemként, stb.

Müller és **Bednorz** 1986-ban kimutatták, hogy bizonyos oxidkerámiák kritikus hőmérséklete a nitrogén cseppfolyósítására jellemző 77 K fölé kerülhet, így létrejött az un. *magas hőmérsékletű szupravezetés*. Ez fontos áttörést jelentett, hiszen a cseppfolyós hélium (4,2 K), mint hűtőközeg biztosítása, korábban igen költségessé tette a szupravezetés alkalmazását, míg a folyékony nitrogén olcsó, könnyen előállítható hűtőközeg.

1962 – ben **Brian D. Josephson** új effektust fedezett fel. A **Josephson-effektus** során két szupravezetőt elválasztó igen vékony (2 nm-nél vékonyabb) szigetelő rétegen Cooper-párok lépnek át egyik szupravezetőből a másikba, az alagúteffektus segítségével. A Josephson-

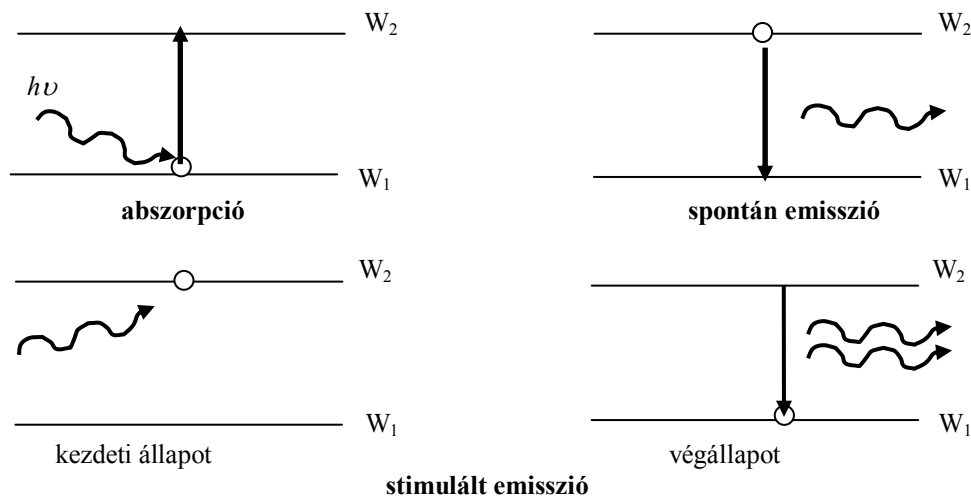
átmenetre kapcsolt egyenfeszültség nagyfrekvenciás rezgéseket gerjeszt. A nyert frekvencia az alkalmazott feszültséggel arányos. Az effektust elektronikus eszközökben alkalmazzák, de fontos alkalmazásként említjük az ún. SQUID nevű eszköz (Superconducting Quantum Interference Device), amellyel a leggyengébb mágneses tér is kimutatható.

A fényelnyelés és fénykibocsátás Einstein-féle magyarázata

Einstein 1916-ban a Planck-féle sugárzási törvénnyel kapcsolatos számításaiban használta az atomban kötött elektronok meghatározott energiaszintek közötti átmenetere vonatkozó következő fogalmakat (25. ábra). Ahogy az ábra első része mutatja, az *abszorpció* jelensége során a W_1 energiaszinten lévő elektron elnyel egy

$$h\nu = W_2 - W_1$$

energiájú fotont, így W_2 energiaszintre kerül. A magára hagyott atomi rendszerben az így gerjesztett elektron magától visszaugrik a W_1 szintre, miközben kibocsát egy $h\nu$ energiájú fotont. Ez a folyamat a *spontán emisszió*. Az emisszió másik fajtája a *stimulált*, vagy *indukált emisszió*, amelynek során a gerjesztett elektron a stimuláló foton hatására tér vissza a W_1 szintre $h\nu$ energiájú foton kibocsátásával, ami a stimuláló fotonnal együtt távozik. Az így keletkező sugárzás koherens sugárzás.



25. ábra

A lézerek

A kvantumelektronikai berendezések működésének alapját az indukált, vagy stimulált emisszió képezi. A kvantumelektronika célja elektromágneses hullámok erősítése, ill. előállítás, úgy, hogy elektromágneses tér segítségével egy kvantummechanikai rendszer kötött elektronjait különböző diszkrét energiaszintek közti átmenetre, s ezzel elektromágneses hullámok kibocsátására készítjük. A kvantumelektronika az 1950-es évek elején született, amikor **Charles H. Townes** amerikai fizikus és munkatársai elkészítették az első mézert. A *mézer* az angol **Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation** elnevezés kezdőbetűiből kialakított név, ahogy a *lézer* elnevezés a **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation kifejezésből alkotott szó. Ez utóbbinak a „fénynek sugárzás stimulált emissziójával történő erősítése” a magyar fordítása, míg az előbbinél a fény helyett mikrohullám szerepel.

Stimulált emisszióhoz kell: aktív közeg + fény. Egyetlen spontán emittáló átmenet szolgáltat egy fotont, amely stimulált emissziót kelthet egy másik, gerjesztett atommal. A

stimulált emissziók sorozata lavinaszerű folyamat, amelyben a keltett fotonok száma (koherens fény intenzitása) rohamosan nő.

Hőmérséklet növelésével ugyan egyre több atom, ill. molekula jut magasabb szintű energiaállapotba, ezzel lehetne növelni a stimulált emisszió valószínűségét. A beérkező foton azonban kétféle folyamatot indíthat el: abszorpciót (ennek valószínűsége arányos N_1 -gyel, azaz a W_1 szinten lévő atomok számával), vagy stimulált emissziót (ennek valószínűsége arányos N_2 -vel, azaz a W_2 szinten lévő atomok számával).

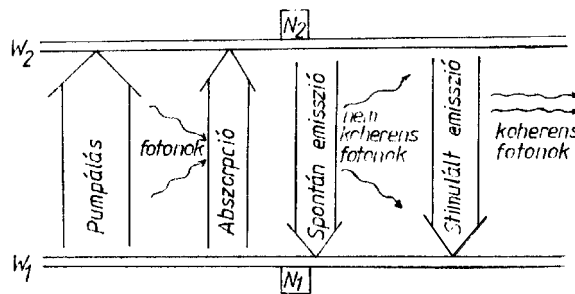
Termodinamikai egyensúlyban:

$$N(W) \sim e^{-\frac{W}{kT}}$$

azaz $N_1 > N_2$, vagyis egyensúlyi állapotban az abszorpció valószínűsége nagyobb, tehát ahhoz, hogy a stimulált emisszió valószínűsége legyen nagyobb, el kell érni, hogy $N_2 > N_1$ valósuljon meg. Az egyes energiaszinteknek a természetes benépesedését kell megfordítani. Ezt az állapotot **populáció inverzió**nak (fordított benépesedés) nevezzük. (26. ábra). Ez külső energiaforrás segítségével megvalósítható. A kialakult állapotban nincs termodinamikai egyensúly. A Boltzmann-eloszlás formális alkalmazásával un. **negatív hőmérsékletű állapot** alakul ki:

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{W_2 - W_1}{kT}} > 1$$

Mivel $W_2 > W_1$, tehát $T < 0$. A negatív hőmérsékletnek fizikai jelentése nincs, csupán a populáció inverzió tényének és mértékének a kifejezése.



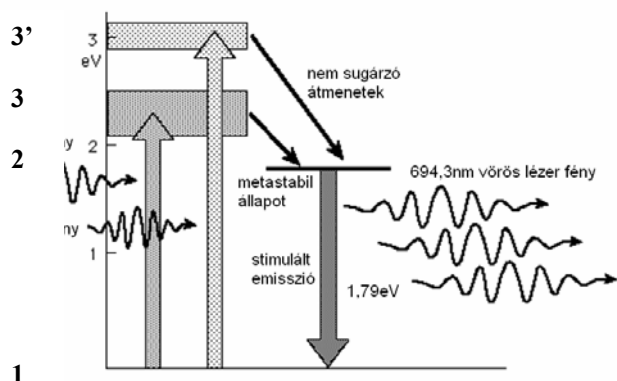
26. ábra

A populáció inverziót meg lehet valósítani úgy, hogy a közeget megfelelő frekvenciájú és intenzitású fényvel besugározzuk, amely W_1 -ből W_2 -be juttatja a közeg elegendően sok atomját. Ezt a műveletet **pumpálásnak** nevezzük. Így a keletkező fotonok nagyobb gyakorisággal hozhatnak létre stimulált emissziót, mint ahogy elnyelődnek.

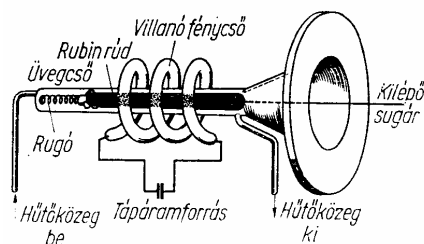
A populáció inverzió mellett a gerjesztett atomok számának növeléséhez az is kell, hogy a rendszer zárt legyen. Tükrökből álló, un. optikai rezonátor belső tere többszörös erősítést biztosít, mivel az út meghosszabbítható. Mivel a rezonátorból fényt akarunk nyerni, az egyik tükre részben fényáteresztő.

Ha a pumpálást fényvel valósítjuk meg, akkor csupán két energiaállapot felhasználásával nem lehet lézert készíteni. Így ugyanis létrejöhet $W_2 \rightarrow W_1$ *spontán* átmenet is, az pedig nem koherens. Ezért pumpálással a nagyobb, W_3 - ra kell gerjeszteni az atomokat, amelyről $W_3 \rightarrow W_2 \rightarrow W_1$ átmenet során jutnak vissza az atomok alapállapotba. Ezek közül az egyik a lézert átmenet. Így a pumpáló fény frekvenciája jóval nagyobb a keletkező lézersugárénál, tehát szétválasztható a pumpálás és a stimulálás folyamata. A W_2 szinten az atomok élettartama viszonylag hosszú, ez az állapot metastabil, ezért itt gyülekeznek az atomok. Ilyen a rubinlézert. (27. és 28. ábra)

a Cr³⁺ ionok abszorpciós sávjai

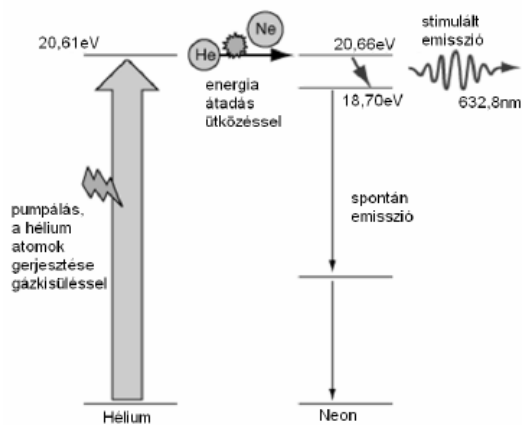


27. ábra



28. ábra

A He-Ne gázlézer működését a 29. ábra alapján követhetjük.



29. ábra

A hétköznapi alkalmazások között sokszor találkozunk a **félvezető lézerekkel**.

A lézerek főbb tulajdonságai

Kis divergencia (a lézerfény nagyrészt párhuzamos fénysugarakból áll, nagyon kis szóródási szöggel, - kisebb, mint 10^{-3} rad. Ezzel nagy energiasűrűség érhető el szűk sugárnyalámban, a megtett úttól szinte függetlenül. A jól fókuszált lézerfény a Holdon kb. 40 m átmérőjű területet világít meg.) a lézersugár egy olyan elektromágneses hullám, amely közel egyetlen frekvenciájú, *egy színű* összetevőből áll. (A lézerek spektrális félérték-szélessége kisebb, mint 4 nm.) A lézer által kibocsátott hullámok fázisa a sugár minden keresztmetszeténél azonos, azt mondjuk, hogy *idő- és térbeli koherencia* jellemzi. A lézerek lehetnek polarizált fényt kibocsátók, a *polarizált lézer* által kibocsátott hullámok elektromos és mágneses mezejének iránya állandó.

A lézerek alkalmazásai

A lézerek alkalmazása a technika és a tudomány számos területén terjedt el. Az elmúlt évtizedekben az ipari lézerek jelentősége és száma folyamatosan növekszik a különféle anyagmegmunkálások területén. (A lézeres megmunkálások közül a *vágás* terjedt el a legszélesebben körben. Az eljárás rendkívül rugalmas, sokoldalúan használható és nagyon jó

minőségű vágási felületet ad. Sokféle anyag vágható, de ez függ az anyag felületének abszorpciós tulajdonságaitól, az anyag olvadáspontjától, hővezető képességétől, stb. A lézeres vágáshoz jellemzően 2-4 kW-os CO_2 lézereket használnak, de 1-2 kW-os YAG lézereket is alkalmaznak finomabb megmunkálásokhoz.)

A lézerfény keskeny nyalábja alkalmas *egyenes irány* kitűzésére, pl. alagutak építésénél. A kis széttartás tette lehetővé, hogy az eddigi legpontosabb mérésekkel megmérjék a Hold - Föld távolságot. A Holdra fellőtt fénysugár eléggé koncentrált maradt ahhoz, hogy az Apolló űrhajósai által elhelyezett tükrökről visszaverődő fény még műszerekkel érzékelhető volt, így az oda-vissza út idejéből a távolságot meghatározhatták. A mérések szerint a Hold évente 2-3 cm-t távolodik.

Az orvosi lézereknek több fajtája van.

A félvezető lézerek hétköznapi alkalmazásai többek között a CD-lemezlejátszó, vonalkód-leolvasó, lézeres sebességmérő, lézernyomtató. Az autóelektronikai gyártásban is egyre elterjedtebb az új lézeres adatrögzítési technológia, amelynek legnagyobb előnye a kisebb méret, de előny a nagyobb adatmennyiség és tartósság is.

A lézerek alkalmazásai között megemlítjük, hogy a *holográfia* elméletét **Gábor Dénes** (1900-1978) még 1947-ben dolgozta ki, ennek gyakorlati alkalmazására csak 1960-ban, a lézerfény felhasználásával kerülhetett sor.