

## KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

# A Gay-Lussac-törvény, a Charles-törvény, Amontons törvénye

**M**agyarországon és a világ számos országában egyszerűen Gay-Lussac-törvényről vagy törvényekről beszélünk, ha a gázok (szigorúan az ideális gáz) nyomásának vagy a térfogatának hőmérsékletfüggését írjuk le. Nagyon egyszerű, de rendkívül fontos összefüggésekről van szó, amelyek alapvető szerepet játszottak a fizikai kémia fejlődésében (például a hő és a hőmérséklet mibenlétének tisztázásában), és ma is használjuk ezeket.

Tehát ha a hőmérséklet ( $T$ ) nő, a nyomás ( $p$ ) is nő állandó térfogaton ( $V$ ):

$$p/T = \text{állandó.}$$

Állandó nyomáson pedig a térfogat változását a hőmérséklettel (hőtágulás) az alábbi egyenlet írja le:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2.$$

Ezt Gay-Lussac I. törvényének vagy Charles-törvénynek is nevezik, mert nemcsak Gay-Lussac, hanem Charles is eljutott ehhez a felismeréshez.

Persze ezeket az összefüggéseket a gázok hőtágulására először más formában írták le, például

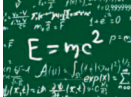
$$V = V_0(1 + bT),$$

ahol  $V_0$  egy vonatkozási vagy kiindulási térfogat, és  $b$  a hőtágulási együttható. A  $b$  értéke minden ideálisan viselkedő gázra azonos. Szilárd anyagokra és folyadékokra is érvényes ez az egyenlet, de ezeknél a  $b$  értéke az anyagi minőségtől függ. Gondoljunk a híganyos hőmérőre vagy a villamosínekre.

A törvények megszületése idején még nagy vita folyt a hő természetéről és a hőmérséklet mibenlétéről [1–3]. A 17. századtól a tudósok egy része amellet állt ki, hogy a hő a részecskék mozgásával függ össze (kinetikus elmélet). Ezt képviselte Francis Bacon (1561–1626), Daniel Bernoulli (1700–1782), Leonard Euler (1707–1783), Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716). Számításokat is végeztek a gázcsepp sebességével és azok hőmérsékletfüggésével kapcsolatban. A másik tábor hőanyagról érkezett

(caloricum-elmélet). Ide tartozott Joseph Black (1728–1799), Nicolas L. Sadi Carnot (1796–1832), B. J. Fourier (1768–1830). Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794) és Pierre-Simon Laplace (1749–1827) ingadozott. Benjamin Thomson, Lord Rumford (1753–1814) 1798-as előadása a Royal Societyben az ágyúfűrészi kísérletéről, amelyben bebizonyította, hogy a sűrűlódási hő kimeríthetetlen, vezetett el a kinetikus elmélet egyre szélesebb körű elfogadásához. E szerint egy gáz hőmérséklete a részecskék mozgási energiájának mértéke. A gáz mozgási energiájának növekedésével a részecskék (atomok, molekulák) egyre gyakrabban ütköznek a tartály falával, az impulzusváltozás nagysága is nő, ezért a nyomás is nő. Ha ábrázoljuk adott térfogatú és anyagmennyiségű gáz nyomását a hőmérséklet függvényében, egyenest kapunk. Ha a mérést több, különböző mennyiségű gázzal elvégezzük, azt tapasztaljuk, hogy az egyenes meredeksége változhat, de a hőmérséklet tengelyét mindig  $-273,15$  °C-nál metszi.

Ennek alapján tett javaslatot Lord Kelvin (William Thomson, 1824 – 1907) az abszolút hőmérsékleti skála bevezetésére 1848-ban. Már a gáztörvények felfedezése előtt gondolkodtak a legkisebb hőmérsékletről. Ezek egyike, Mihail Lomonoszov (1711–1765) logikai úton jutott el az abszolút nullapont létezésének szükségességéhez 1750-ben: „a meleg elegendő oka a mozgásban rejlik”, „mozgás anyag nélkül nem lehetséges, így szükségszerű, hogy a meleg elegendő oka valamely anyag mozgása legyen”. „Továbbá nem lehet olyan nagy sebességű mozgást megjelölni, amelynél gyorsabbat ne képzelhetnénk el. Minthogy ez joggal vonatkozik a hőképző mozgásra is, így a melegnek, amelyet mozgásnak tekintünk, nincs végső, lehetséges legnagyobb mértéke. Ezzel szemben a mozgást addig csökkenthetjük, amíg a test teljes nyugalomba nem kerül, és ezt a mozgást további csökkentése nem követheti. Szükségszerű tehát, hogy a hidegnek létezzék végső határa, amely a részecskék forgó mozgásának teljes megszűnésében áll, és ennek tulajdonítható.” (Meditationes de caloris et frigoris causa, Elmélkedések a meleg és a hideg okáról. Novi



commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, 1750. 206. old.).

A Boyle–Mariotte-törvényből és a Gay-Lussac-törvényekből következett az egyesített gáztörvény:

$$PV = nRT,$$

ahol  $n$  a gáz mennyisége (a mólok száma),  $R$  a gázállandó.

Ezt először Benoît Paul Émile Clapeyron (1799 – 1864) vezette le a gáztörvények kombinációjából 1834-ben, majd August Krönig (1822–1879) 1856-ban, illetve Rudolf Clausius (1822–1888) 1857-ben a kinetikus elmélet alapján.

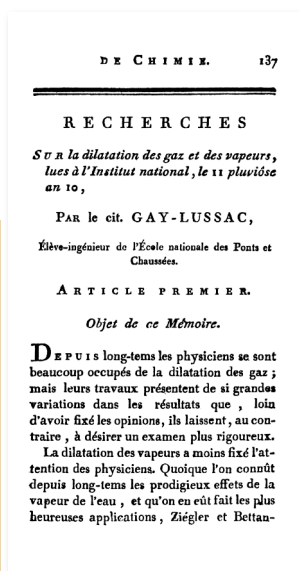
## Joseph Louis Gay-Lussac



1. ábra. Joseph Louis Gay-Lussac

Joseph Louis Gay-Lussac [Saint-Léonard-de-Noblat (most Haute-Vienne), 1778. december 6. – Párizs, 1850. május 9.] (1. ábra) apja, Anthony Gay bíró volt. Joseph szülővárosában tanult. Apja a forradalomban elvesztette állását és vagyonát, 1793–94-ben be is börtönözték. Lussaci birtokaik után vették fel a Gay-Lussac nevet. Gay-Lussac kénytelen volt saját magáról gondoskodni: eleinte magánórák adásából tartotta fent magát. 1794-ben Párizsban folytatta tanulmányait, 1798-tól az École Polytechnique-en. Claude Louis Berthollet (1748–1822) felkarolta a tehetséges diákot, az ő laboratóriumában dolgozott, mint asszisztens. 1802-től demonstrátor lett Antoine François Fourcroy (1755–1809) mellett az École

2. ábra. A Gay-Lussac-törvényt tartalmazó cikk [Annales de Chimie (1802), Vol 43. p. 137] első oldala. Magyarul a legfontosabb részlete hozzáférhető [4]. A cikket közlő folyóirat címlapja



Polytechnique-en, majd 1809-től ugyanitt kémiaprofesszor. [Neves támogatói voltak az *Annales de Chimie* szerkesztőbizottságában (2. ábra). Berthollet különösen befolyásos ember volt, például a francia szenátus alelnöke az 1800-as évek elején.]

1808 és 1832 között a Sorbonne fizikaprofesszora. Utána a Jardin des Plantes botanikus kert kémiaelnökének nevezték ki. 1809-ben megnősül, felesége Geneviève-Marie-Joseph Rojot. Öt gyermekük született. Sok, későbbi neves tudós dolgozott nála, így a francia Henri-Victor Regnault (1810–1878) és a német kémia atyja, Justus von Liebig (1803–1873) is. Később viszont legidősebb fia, Jules Gay-Lussac Liebig mellett dolgozott Gießenben. Regnault pedig szorosan kapcsolódik a témánkhoz, hiszen a gázállandó jele,  $R$ , a neki szóló elismerést fejezi ki.

Gay-Lussac veszélyes hőlégballonos kísérleteket is végzett. Jean-Baptiste Biot-val (1774–1862) közös ballonjuk 4000 méter fölé emelkedett (nyomásmérésből számítva). 1804. szeptember 16-án Gay-Lussac egyedül közel 7000 méterig jutott. Megállapították,



3. ábra. Gay-Lussac és Jean-Baptiste Biot hőlégballonnal folytat légköri vizsgálatokat 1804. augusztus 24-én (19. századi illusztráció)

hogy a légkör összetétele nem változik a csökkenő nyomással (a magassággal), mérték a hőmérséklet csökkenését és mágneses vizsgálatokat is végeztek. A léggömböt Pierre-Simon Laplace (1749–1827) közbenjárására a hadseregtől kölcsönözték, Napóleon az egyiptomi hadjárata során már használta. Jean-Baptiste Biot francia fizikus és matematikus volt. Ismert az elektromágnesesség *Biot–Savart-törvényéről*, a fény polarizációjának vizsgálatáról, a meteoritok eredetével kapcsolatos megállapításairól. Gay-Lussac Alexander von Humboldt (1769–1859) is együttműködött, együtt utaztak Olaszországban és Németországban, geológiai kutatásokat végeztek, de kimutatták azt is, hogy két térfogatrész hidrogénből és egy térfogatrész oxigénből víz képződik.

A róla elnevezett gáztörvény 1802-es publikálása és a légkörkutatás után Gay-Lussac még nagyon sok, jelentős eredményt ért el a természettudományok területén, különösen az analitikai kémiában. Ez utóbbi tevékenységének részletes leírása olvasható magyarul is [5]. Ezért csak röviden szemlélünk a bő kínálatból.

Két elem társfelfedezője, illetve előállítója volt. A borax és a bór-sav ismert volt, de az elemet Gay-Lussacnak és Louis Thénardnak (1777–1857) káliumos redukcióval, illetve tőlük függetlenül Davynek elektrolízissel sikerült csak előállítaniuk 1808-ban. 1811-ben Bernard Courtois (1777–1838) tengeri algák hamuját savval kezelve lila gőzök fejlődését észlelte, de azt, hogy a jód egy elem, Gay-Lussac és Davy igazolta 1813-ban, egymástól függetlenül, mindössze néhány nap eltéréssel, ami miatt prioritási vita bontakozott ki a két tudós között.

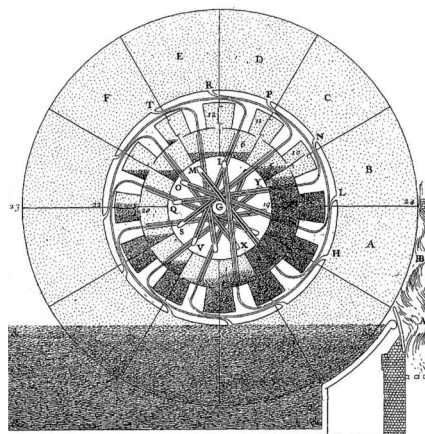
Thénard-ral még nevezetes eredményük volt a kálium-klorát hevítésekor keletkező szén-dioxid és oxigén pontos mennyiségi meghatározása. Az alkoholos fermentáció leírása és a hidrogén-cianid képletének meghatározása is az ő nevéhez fűződik (1810). Nagy szolgálatot tett a titrimetria technikájának kidolgozásával is, új típusú burettát fejlesztett. Ő találta ki a buretta és a pipetta nevét is. Nagy jelentőségű volt, például ércek, pénzek ezüsttartalmának pontos meghatározására az általa kidolgozott csapadékos ezüsttitrálás (1832). Ez pontosabb volt, mint a korábbi kupellációs eljárás, és ma is használjuk. Gázokkal kapcsolatos kutatásának egy másik, kiemelkedő eredménye volt a gázelegyek térfogatának meghatározása, amelyet 1809-ben tett közzé. Avogadro ennek alapján alkotta meg híres törvényét (4. ábra). Av-



5. ábra. Amontons bemutatja optikai táviróját a francia trónörökösnek a párizsi Luxembourg-kertben a 17. század végén. A táviróállomásokon elhelyezett mozgható fakarok különböző állása felelt meg az ábécé betűinek. A távirásztávcsóval olvasta le a jeleket (Alexis Belloc, La Telegraphie Historique, 1888.)

sékletet, amit ma abszolút nulla foknak (0 kelvin) hívunk. Meg kell jegyeznünk, hogy a fenti képleteket már ezzel, a ma használatos hőmérséklettel írjuk, nem abszolút hőmérsékleti skálát használva a képletek némileg bonyolultabbak. Hőerőgépet szerkesztett, amely a forró levegőt használta a mozgáshoz (6. ábra).

MOULIN A FEU



6. ábra. Amontons tűzkerekének rajza

Számos eszköz, így a barométer, a hőmérő, a higrométer konstrukcióján javított, főleg tengerészeti célú használatra. Sűrűlódással kapcsolatos kutatásait is nagyra értékelték, főleg azután, hogy Charles-Augustin de Coulomb is igazolta az eredményeit.

### Jacques Alexandre César Charles

Jacques Alexandre César Charles (Beaugency, 1746. november 12. – Párizs, 1823. április 7.) (7. ábra) 1795-ben lett a francia Tudományos Akadémia tagja és a Conservatoire des Arts et Métiers fizikaprofesszora.

Nem publikálta az eredményeit. Gay-Lussacnak köszönhető, hogy egyáltalán tudunk a gázokkal kapcsolatos kísérleteiről, mert ő hivatkozott rájuk. Charles megtöltött öt léggömböt különböző gázokkal azonos térfogatot használva, majd felmelegítette őket.

58 JOURNAL DE PHYSIQUE; DE CHIMIE

## ESSAI

D'UNE MANIÈRE DE DÉTERMINER LES MASSES RELATIVES DES MOLÉCULES ÉLÉMENTAIRES DES CORPS, ET LES PROPORTIONS SELON LESQUELLES ELLES ENTRENT DANS CES COMBINAISONS;

PAR A. AVOGADRO.

I.

M. GAY-LUSSAC a fait voir dans un Mémoire intéressant (*Mémoires de la Société d'Arcueil*, tome II) que les combinaisons des gaz entre eux se font toujours selon des rapports

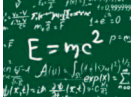
4. ábra. Avogadro 1811-es cikkének részlete. Az „M.” betű Gay Lussac neve előtt a Monsieur rövidítése. [Journal de Physique de Chimie et d'Histoire naturelle et des Arts (1811) 73, 58–76.]

gadro franciául írta a cikkét, és francia folyóiratba küldte, mert a 19. század elején a kor vezető tudományos nyelvén is a francia vált. Egyébként Berthollet és a Berthollet-tanítvány, Gay-Lussac nem fogadta el Avogadro felfogását [6].

### Guillaume Amontons

Guillaume Amontons (Párizs, Franciaország, 1663. augusztus 31. – Párizs, 1705. október 11.) (5. ábra) apja ügyvéd volt. Amontons fiatal korában elvesztette a hallását, ez fordította a tudomány felé. Egyetemre nem járt, önállóan sajátította el a fizikai, matematikai és csillagászati ismereteket. Állami alkalmazásban dolgozott különböző területeken.

Amontons vizsgálta a nyomás és a hőmérséklet összefüggését, bár pontos hőmérsékletméréseket nem végzett. Például megmérte, hogy a hideg és a forró víz hőmérséklete között a gáz nyomása egyharmad résszel növekszik. Azon is eltöprengett, hogy nagyon kis hőmérsékleten a gázhőmérőjében lévő levegő térfogata nullává válik. Egész jól meg is becsülte azt a hőmér-



7. ábra. Jacques Alexandre Césaire Charles, 1820 (Library of Congress)

Azt észlelte, hogy ugyanolyan mértékben tágultak. Igazából arról nevezetes, hogy ő használt először hidrogénnel töltött léghajót. Abból az akkor már ismert tényből indultak ki, hogy a hidrogén sokkal könnyebb a levegőnél. A hidrogént kémiai reakcióval nyerték vasreszeléket és kén-savat használva. A gáztartály selyemdarabokból készült, amelyeket terpentinben oldott gumival vontak be. A kísérletben részt vettek a Robert testvérek, Anne-Jean Robert (1758–1820) és Nicolas-Louis Robert (1760–1820) is. Főleg a ballon elkészítése volt a feladatuk.

Néhány nappal Montgolfier-fivérek hőlégballonos bemutatója után, 1783. december 1-jén Jacques Charles és Nicolas-Louis Robert Párizs környékén kb. 550 méter magasba emelkedtek, majd egy mezőn landoltak. A parasztok úgy megijedtek, hogy megsemmisítették a léghajójukat (8. ábra).

IRODALOM

- [1] Simonyi K., A fizika kultúrtörténete. Gondolat Kiadó, Budapest, 1978. 303–319.
[2] Inzelt Gy., Kalandozások a kémia múltjában és jelenében. Vince Kiadó, Budapest, 2003. 83–134.
[3] Inzelt Gy., Természettudomány háborúban és békeidőben. Typotex Kiadó, Budapest, 2020. 42–46.
[4] Joseph Louis Gay-Lussac, Gázok kiterjedése hő hatására. Annales de Chimie (1802) 43, 137. (In: William Francis Magie: A Source Book in Physics, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1963.) http://chemonet.hu/hun/olvaso/histchem/hogay-lussac.html



8. ábra. Kortárs illusztrációk a felszálló léghajóról és a leszállás utáni eseményekről



- [5] Szabadváry E., Az analitikai kémia módszereinek kialakulása. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960, 225–235.
[6] Inzelt Gy., Avogadro cikkének 200 éves évfordulójára. Természet Világa 2011. augusztus, Természettudományi Közlöny 142. évf. 8. füzet.



Braun Tibor

Aranybányászat mikrobákkal

Előszó

A biobányászat biotechnológiai eljárásként definiálható, mert ásványok oxidatív kioldását hozza létre mikroorganizmusokkal, például baktériumokkal és/vagy gombákkal, [1] amelyek katalizáló szerepet is betöltenek. A biobányászat megkönnyíti a nagy értékű fémek kinyerését ásványaikból. [2] A fémek kioldását lényegében a kémia és a mikrobiológia kombinációja valósítja meg. A kémia a fém feloldásának meghatározója, ami főleg a vas(III)-ion vagy sav hatása az ásványra, de segíti a feloldást a mikrobiológia is. A mikroorganizmusok felelősek a vas(III) és sav előállításáért. [3]

A biobányászat két rokon mikrofolymata a bakteriális kioldás, ami biokioldásnak is nevezhető, és a biológiai oxidálás. [4] A fémkationok mobilizálása oldhatatlan ásványokból biológiai oxidálással és komplexálási folyamatokkal is megoldható. [5] A biokioldási folyamat az ásványok bomlását eredményezi, ami a kinyerendő fém extrakciójához vezet. Számos fémet általában biokioldással nyernek ki, például rezt, kobaltot, nikkelt, cinket és uránt. Például réz esetében a réz-szulfid réz-szulfáttá oxidálódik

mikrobiálisan, aminek eredményeként a fém átkerül a vizes fázisba, miközben szilárd anyag marad hátra. [6] Ezzel szemben a mikroorganizmussal való ásványi biooxidáláskor a fém marad a szilárd fázisban.

Az arany biobányászata

A biooxidálást általában előkezelésként használják. Az eredeti ásványok mikrobiológiai oxidálásánál a nagy értékű fémek az ásványokban jelen lévő más fémekkel együtt koncentrálnak, de nem kerülnek át az oldatba, hanem oldhatatlan formában maradnak. Példa erre az arany kinyerése arzenopirit ásványokból, ahol az arany a szilárd maradványokban marad a biooxidálás után, de a kinyerés megnövelhető cianozással, ami a következő lépés. [7,8] A biooxidálást főleg a nehezen oldódó (úgynevezett refraktor) aranyásványok kezelésére alkalmazzák. [9]

Az aranyásványokat különböző módon lehet osztályozni. Egyrészt a használt extrakciós módszer szerint, másrészt a geológiai környezet alapján. [10] Az alkalmazott lehetőség szerint az aranyásványok a szabad órléses vagy a nehezen oldódó típusba



sorolhatók. [11] A szabad őrléses ásványok általában könnyen kezelhetők, és belőlük jelentős aranykivonás érhető el (több mint 90%) köznapri aranybányászati eljárásokkal, például cianozással. A refraktor-aranyásványok bonyolultabban kezelhetők, ugyanis a kinyerés 90%-nál, bizonyos esetekben 50%-nál is kevesebb lehet. [10] A refraktorásványok tehát alacsony aranykinyerést tesznek csak lehetővé, vagy elfogadható aranykinyerés lényegesen több reagenssel vagy bonyolultabb előkezeléssel valósítható csak meg. Az arany jelentős hányada gyakran olyan ásványokban található, amelyekben sokféle eloszlik az ásványkomplexben. A refraktorásványok hidrotermikus eredetűek, és külső forrásból rakódtak le meleg vizes oldatokból.



A hidrotermikus oldatok különböző oldott ásványi összetevőket, például szulfidokat, telluridokat és arzeniteket tartalmaznak. A refraktor-aranyásványt tartalmazó komponensek csökkentik az aranyásvány alkalmasságát konvencionális extrakciós eljárásokhoz. A refraktor fogalmat így akkor alkalmazzák, amikor az arany jelentős aránya nem nyerhető ki konvencionális gravitációs dúsítással, vagy közvetlen cianozással még finomőrléssel sem, mert a felület mérete ilyenkor nem jobbítja az extrakciót. [10] A kivonható refraktorarany csökkenése nagymértékben függ az aranyásvány összetételétől. [11] Bizonyos esetekben cianidkomplex,  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$  képződik, de előbb eltávolítják a szulfidokat, szilikátokat és széntartalmú anyagokat. [12]

Bizonyos anyagok jelenléte „aranyögzítést” hoz létre az ásványban nehezzé téve az arany kinyerését mechanikai úton. A szulfid- vagy szénmátrix miatt a cianid elfogy az aktuális extrakció előtt. [13] Az ilyen refraktor-aranyásványok előkezelésre szorulnak. Az aranyásvány előkezelése bomlasztja a társult ásványokat, és megnyitja a molekuláris szerkezetet úgy, hogy a feloldó reagensek jobban extrahálhassák az aranyat. [12] Az előkezelési folyamatot passzivalja vagy hatékonyságát jelentősen csökkenti egyes ásványok jelenléte. A refraktorarany előkezelésében használt konvencionális módszerek: pörkölés, nyomás, nyomásos oxidálás és klórozás.

A bakteriális oxidálás a konvencionális előkezelési módszerek zöld változataként működik. Népszerűsége, növekedése oka az aranyat tartalmazó szulfidásványok alacsony költsége és más környezeti előnyeik.

## Baktériumok a biobányászatban

A legfontosabb ásványoldó mikroorganizmusok a vas- és kén-oxidáló kemolitoautotrófok, amelyek autotrofikusan növekednek, szén-dioxidot megkötve a levegőből. Eltérően az autotrofikus szervezetektől, amelyek a sugárzó energiát a napsugárzóból veszik fel, a kemolitoautotrófok szervesetlen vegyületek oxidálásából nyerik az energiát.

### Kemolitoautotrofikus baktériumok

A kemolitoautotrofikus baktériumok olyan, nem fotoszintetikus, autotrofikus mikroorganizmusok, amelyek energiájukat szervesetlen redukált vegyületek oxidálásából nyerik, például szulfidokból, elemi kénből és tioszulfáttól, vas(II)-ből vagy hidrogénből. Ezek

a vas- és kén-oxidáló mikroorganizmusok csak szervesetlen vegyületeken tudnak nőni, és sejtyszerű termékeikhez a légkör szén-dioxidját használják fel. A kemolitoautotrofikus baktériumok oldási folyamataikat általában savas közegben (pH 1,5–3,0) végzik, amikor a legtöbb fémion oldatban marad. A kemolitoautotrofikus baktériumok tovább oszthatók mezofilekre, enyhén termofilekre és extrém termofilekre. A mezofilek körülbelül 27–37 °C hőmérsékleten szaporodnak. A mezofil osztály többségének baktériumai az *Acidithiobacillus* és a *Leptospirillum* nemhez tartoznak. Ezek a baktériumok köznapriaknak tűnnek, és olyan helyekről választódnak el, amelyek megfelelő környezetet nyújtanak a növekedésükhöz (pl. kénforrások) a világ számos pontján. Az *Acidithiobacillus*ok főleg azért ismeretesebbek, mert oxidálják az elemi

ként és ként tartalmazó vegyületeket, de a szükséges feltételek, például a pH és hőmérséklet a különböző fajták fiziológiájától függenek. Az *Acidithiobacillus* baktériumok általában szigorúan aerobok és vagy kötelező, illetve fakultatív kemolitotrópok, vagy mixotrópok. A *Leptospirillek* hasonlóak az *Acidithiobacillusok*hoz, mert szintén erősen savtűrőek (pH 1,5–1,8); ezek gram-negatív kemolitoautotrofikus baktériumok. A legtöbb vonatkozásban azonban ezek nagyon különbözőek. A *Leptospirillek* képesek csak vas(II)-t használni elektrondonorként, és nagy az affinitásuk a vas(II)-höz. A *Leptospirillek* az oxigént használják elektrondonorként, ezért aerobok. A *Leptospirilleket* széleskörűen alkalmazták biooxidálási folyamatokban, általában kombinációkban kén-oxidáló baktériumokkal. A termofil baktériumok egyes változatai, különösen a *Sulfolobus* fajták biokioldó környezetekből kerültek elválasztásra [15, 16]. Általában a termofil baktériumok kemolitotrófiailag növekednek vasat, elemi ként vagy szulfidot felvéve.

Bizonyos osztályba tartozó baktériumok fakultatív autotrófok: kis mennyiségű ciszteint, glutationt és élesztőextraktumot igényelnek a növekedéshez. A termofil baktériumok fakultatív autotrófok, amelyekben a baktériumnövekedést ösztönzik a nyomnyi mennyiségű (0,01–0,05% w/v) élesztőkivonat, de 0,1 % (w/v) élesztőextraktum már inhibáló hatású. A termofil vas- és kén-oxidáló baktériumok főbb nemei a *Sulfolobus*, *Acidianus*, *Metallosphaera* és *Sulfurococcus*. [1]

### IRODALOM

- [1] Y. Yang, The effect of microorganisms on the surface properties of chalkopyrit, School of Chemical and Physical Sciences, Flinders University, 2014.
- [2] G. J. Olsen, J. A. Prierley, C. L. Prierley, J. Appl. Microbiology and Biotechnol. (2003) 63, 249.
- [3] X. Qi, A. S. Mujungdar, J. Minerals, Metals, Materials Technol. (2007) 12, 45.
- [4] H. Tao, L. Dongwes, Biotechnol.Rep. (2014) 4, 107.
- [5] D. E. Rawlings, D. B. Johnson, Microbiology (2011) 153, 315.
- [6] D. Mishra et al., Waste Management (2008) 2, 333.
- [7] K. Novaczyk et al., Polish J. Environ. Stud. (1998) 7, 307.
- [8] A. Thosar, B. Satpathy, T. Nahya, Internat. J., Lett. Sci. Res. (2014) 5, 624.
- [9] N. Dopson, B. A. Lindstrom, Appl. Environ. Microbiol. (1999) 2, 36.
- [10] K. J. Afidenyo, Microbial pre-treatment of double refractory gold ores, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 2008.
- [11] G. Z. Qiu et al., Transactions of Nonferrous Materials Soc. China (2008) 6, 1295.
- [12] X. Xie et al., BioMed. Res. Internat. (2013) 9, 36.
- [13] R. Shahverdi et al., J. Sci. Iran (2001) 12, 43.
- [14] J. Meier, A. Piva, T. Fortyn, FEMS, J. Microbiol. Ecol. (2012) 79, 69.
- [15] B. D. Johnson, B. M. Graul, K. B. Alberg, Minerals (2013) 349.
- [16] H. Brandl, Microbial. Leaching. Met. (2001) 97, 114.