kertünkbe, elvethetjük magvát, elültethetjük földalatti részét, vagy másféle módon szaporíthatjuk, nemesíthetjük, alakíthatjuk tetszésünk szerint. Az erdő gombáit nem ültethetjük át, spóráikat nem vethetjük el kertünkbe. A gombák csodálatos életének titkaiba még nem tudtunk eléggé mélyen betekinteni.

Dr. Moesz Gusztáv.

Kémiai folyamatok szabályozásáról.

Ha kinyitjuk a gázvezeték csapját, a kiáramló világítógáz elegyedik a levegővel, de semmi egyéb változás nem észlelhető, feltéve, hogy nincs a közelben nyilt láng. Ha ellenben platinataplót tartunk a gáz útjába, akkor a levegő oxigénje egyesül a világítógáz alkatrészeivel, amit onnan veszünk észre, hogy az egyesüléskor szabaddá váló hő, az ú. n. égéshő, izzóvá teszi a platinataplót. Az izzóvá vált platinatapló azután meggyujtja a gázt. A platinataplóval ezalatt semmiféle változás nem történt, látszólag tehát puszta jelenléte azt eredményezte, hogy a világítógáz és a levegő oxigénje, melyek közönséges hőmérsékleten közömbösek egymással szemben, kémiai reakcióba léptek egymással.

Tiszta cukoroldat jól elzárt edényben változatlanul eltartható; ha ellenben bizonyos mikroorganizmusok — élesztősejtek — kerülnek az oldatba, kémiai folyamat indul meg, melyet erjedésnek neveznek: a cukor elbomlik széndioxidra és alkoholra. Az élesztősejtek e közben semmiféle változáson nem mennek át, tehát nem vesznek részt a lejátszódó kémiai átalakulásban, hanem „puszta jelenlétük" elég ahhoz, hogy az erjedés létrejöjjön.

Mindennapi kenyerünknél nyomát sem látjuk annak, hogy szobahőmérsékleten a levegő oxigénjével egyesülne, vagyis oxidálódna, elégne. Ha azonban e kenyeret megesszük, akkor ugyanez a kenyér szervezetünkben bonyolódott változásokon megy át, melyeknek lényege nagyrészt mégis csak az, hogy ugyanannak az oxigénnek a rovására, mely iránt a tányéron semmi érdeklődést nem tanusított, szervezetünk sejtjeiben elég, s az elégéskor felszabaduló energiát, az égéshőt, szervezetünk munkavégzésre vagy más célra hasznosítja. A kenyérnek és egyéb táplálékainknak elégését szervezetünk azáltal idézi elő, hogy a táplálékot és oxigént bizonyos anyagokkal: az ú. n. enzimekkel, fermentumokkal hozza érintkezésbe, melyek hatására az oxidáció a szervezet céljainak megfelelő sebességgel végbemegy. Az enzimek azonban e közben változatlanul maradnak.

Ne folytassuk egyelőre a példák felsorolását, mert a lényeget máris láthatjuk. A platinatapló, az élesztő,[1] az enzimek olyan sajátságúak, hogy látszólag a reakciós közegben való puszta jelenlétükkel, a nélkül, hogy végeredményben bármiféle változást szenvednének, olyan kémiai folyamatokat hoznak létre, melyek távollétükben nem mennének végbe. Az ilyen sajátsággal felruházott anyagokat, melyeknek száma légió, katalizátoroknak, magát a jelenséget pedig katalizisnek nevezzük. A katalizátorok tehát „puszta jelenlétükkel" létrehoznak olyan kémiai folyamatokat, melyek nélkülük nem mennek végbe észrevehető sebességgel, illetőleg meggyorsítanak olyan folya-

[1] Helyesebben az élesztő által termelt enzim.

matokat, melyek nélkülük csak lassan mennek végbe, a nélkül azonban, hogy maguk a folyamat alatt maradandó változást szenvednének.

A katalizátorok ezek szerint megváltoztatják a kémiai átalakulások lefolyásának a sebességét, s e sajátságuk folytán lehetővé teszik a kémiai folyamatok sebességének a szabályozását. E szabályozás az élő és élettelen világban egyaránt rendkívül fontos. A kémiai folyamatok értékesítése, akár az élő szervezetek felépítésére és fenntartására, akár a mindennapi élet s az ipar céljaira, csak úgy válik lehetségessé, hogy a mindenkori célnak megfelelő folyamatok a megfelelő helyen megfelelő sebességgel mennek végbe. Ha táplálékaink már a tányéron elégnének, nem volnának alkalmasak életünk fenntartására, ha viszont a szervezetben is csak olyan végtelen lassan oxidálódnának, mint a szervezeten kívül, szintén céltalanok volnának. Használhatóvá a táplálék úgy lesz, hogy a szervezetnek módjában van az elégés sebességét úgy szabályozni, ahogy az céljainak megfelel.

A kémiai reakciók sebességének a szabályozása tehát a kémia és biológia szempontjából egyaránt elsőrendű fontosságú. E szabályozásra lényegében két út áll rendelkezésre: a hőmérséklet változtatása és a katalizátorok alkalmazása.[1] A hőmérséklet növelésének a hatására általában elég rohamosan nő a kémiai folyamatok sebessége (10^0 hőmérsékletemelkedés átlagban megkétszerezi a sebességet) s a mindennapi élet, valamint a kémiai ipar a hőmérséklet sebességszabályozó hatását bőven alkalmazza is (gondoljunk csak arra, hogy élelmiszereinket a romlással kapcsolatos kémiai folyamatok meglassítására jégszekrénybe tesszük). A hőmérsékletemelés gyorsító hatását azonban mégsem alkalmazhatjuk egészen általánosan, főleg azért, mert a vegyületek túlnyomó többsége elbomlik magasabb hőmérsékleten. A kémiai folyamatok sebességszabályozása terén tehát a katalizis viszi a vezető szerepet.

A katalizis rendkívüli fontosságára való tekintettel érdemes vele közelebbről megismerkedni. Mindenekelőtt azt a rejtélyesnek látszó kérdést kell tisztázni, hogy miképen tudnak a katalizátorok, látszólag puszta jelenlétükkel, a nélkül, hogy maguk is átalakulást szenvednének, kémiai folyamatokat létrehozni, illetőleg meggyorsítani. Mielőtt ezt megtehetnők, pár szót kell arról szólnunk, hogy a molekulaelmélet alapján milyen képet alkothatunk magunknak a kémiai folyamatok létrejöttéről.

A molekulaelmélet értelmében ahhoz, hogy két anyag között kémiai változás (reakció) mehessen végbe, szükséges, hogy a két anyag molekulái egymással összeütközzenek. Ismeretes, hogy a folyadékokban és a gázokban a molekulák többé-kevésbbé szabadon mozognak, s e mozgásuk közben egymásba, valamint az esetleg jelenlévő idegen anyag molekuláiba ütköznek. Ezek az összeütközések tehát a kémiai folyamatok létrejöttének előfeltételei, ami érthető is, mert ahhoz, hogy a két anyag kémiai átalakuláson mehessen át, szükséges, hogy molekuláik érintkezésbe jutva egymással, alkatrészeiket kicserélhessék. A tapasztalat azonban azt mutatja, hogy nem minden ütközés vezet kémiai átalakuláshoz, hanem az ütközéseknek rendszerint csak igen kis törtrésze. Ez könnyen

[1] Harmadik mód a folyamatban résztvevő anyagok töménységének a változtatása. Ily módon azonban csak szűk határok között szabályozható a folyamat sebessége.

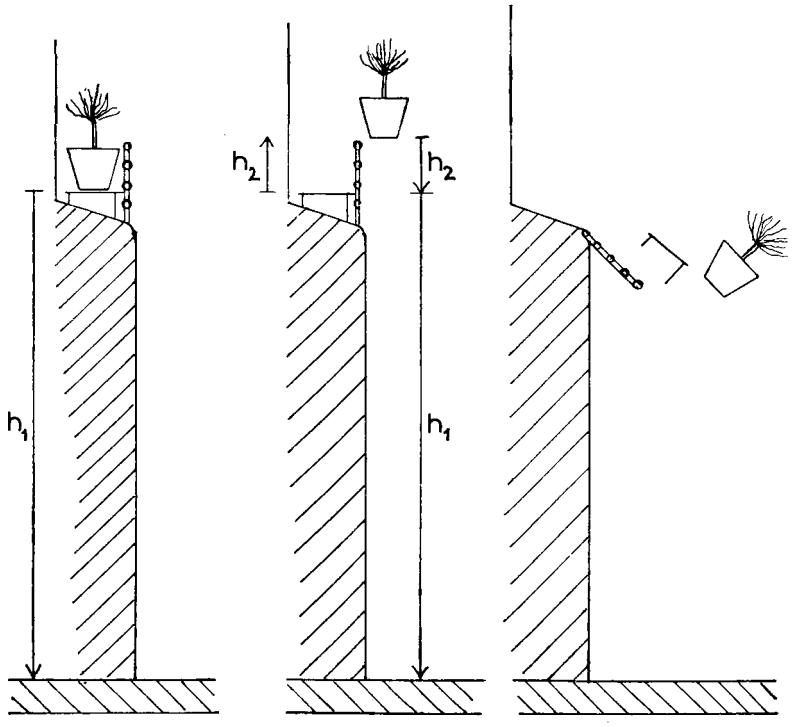
belátható a hidrogén- és klórgáz példáján. Elméleti úton kiszámítható ugyanis, hogy ha szobahőmérsékleten egyenlő térfogatú egy atmoszféra nyomású hidrogén- és klórgázt keverünk egymással, akkor a másodperc kis törtrésze mulva már minden higrogénmolekula összeütközött egy klórmelekulával és minden klórmolekula egy hidrogénmolekuával. Ha tehát minden összeütközés kémiai átalakuláshoz, a jelen esetben sósavképződéshez vezetne, akkor az egész reakciónak egy másodpercnél sokkal rövidebb idő alatt le kellene zajlania. A valóság ezzel szemben az, hogy a hidrogén- és klórgáz elegye sötétben évekig eltartható a nélkül, hogy a sósavképződésnek akár csak a nyomát is észlelhetnők. A hidrogén és klórmolekulák tehát számtalanszor ütköznek egymásba, a nélkül, hogy reakció jönne létre.

Azt lehetne talán gondolni, hogy a hidrogén nem is tud a klórral reagálni. Ezt azonban könnyen megcáfolhatjuk, ha a gázelegyet egy pillanatra megvilágítjuk: a klór és hidrogén robbanásszerű hevességgel egyesül egymással sósavvá. Az egyesülés már sötétben is bekövetkezik, ha a gázelegy faszénnel vagy finomeloszlású platinával érintkezik.

A hidrogén- és klórgáz elegyéből álló rendszer sötétben tehát sajátságos állapotban van. A rendszer nincsen egyensúlyban, mert alkatrészei, a hidrogén és klór között kémiai reakció, sósavképződés mehet végbe, azonban ha nincs jelen katalizátor, mégsem történik senmmi, úgyhogy felületes szemlélettel azt hihetnők, hogy egyensúly uralkodik. Ezt az állapotot *metastabilis*nak szokás nevezni. A hidrogén és klór elegye tehát sötétben metastabilis állapotban van: az elegy alkatrészei képesek ugyan egymással reakcióba lépni, valami akadály azonban mégis meghiusítja azt, hogy a molekulák ütközésekor az átalakulás létrejöjjön.

Ez a helyzet első pillanatra igen különösnek látszik, ha azonban jól körülnézünk, számos hasonló esetet látunk mindennapi életünkben. Gyakran látunk ablakok virágtartóiban virágcserepet. E cserepek koránt sincsenek stabilis állapotban, mert mint tudjuk, minden test igyekszik a föld középpontjához lehetőleg közel jutni, s állapota csak akkor tekinthető stabilisnak, ha az adott körülmények között lehető legalacsonyabb helyzetbe, mondjuk a föld felületére jutott. A virágcserepek tehát a föld felületén volnának stabilis helyzetben, a föld vonzóereje igyekszik is őket e stabilis helyzetbe juttatni, s hogy ez mégsem következik be, az azért van, mert valami akadály ezt meggátolja. Az akadály persze a virágtartó rács (l. az ábrát). Ahhoz, hogy a cserép a földre eshessen, előbb fel kell emelni a rács fölé, e célból a föld vonzóereje ellenében kis munkát kell végezni. Ezután már magától leesik a cserép, s esése közben a föld vonzóereje munkát végez, mely munkát hasznosíthatjuk is. A korlát kikerülésére felemelt cserép leesése közben több munkát tud végezni, mintha korlát híján nem kellett volna felemelni, és pedig pontosan annyival több munkát, amennyit a felemelésre fel kellett használnunk. Azt mondhatjuk tehát, hogy a felemelésre szánt munkát csak mintegy kölcsön kell adnunk a cserépnek, s azt mindjárt vissza is kaphatjuk. De viszont a virágcserép csak e kölcsönvett energia árán tud leesni. A virágcserepek tehát a korlát mögött metastabilis állapotban vannak: tulajdonképen le kellene esniök a földre, de e leesésüket egy korlát akadályozza, s ezért nem történik semmi. Ha ellenben a korlátot egy helyen félrehajtjuk, akkor a virág-

cserepek (feltéve, hogy az ablakpárkány elég lejtős) önmaguktól lecsúsznak és stabilis helyzetükbe, a földre jutnak. A korlát eltávolítása nélkül is megtörténhetik azonban, hogy a cserepek a földre jutnak. Ha nagy vihar támad, akkor a rohanó levegőtömegek hol egyik, hol másik cserepet emelik a korlát fölé, s ily módon a széltől kölcsönzött energia árán mintegy átugorva a korláton, egymásután kerülnek stabilis helyzetükbe a földre.



Ha az m súlyú virágcserép a h_1 magasságban lévő ablakpárkányról a földre esik $mg.h_1$ munkát végezhet (g a földi gyorsulás; munka = erő $\times$ út = mg $\times$ h_1). Ahhoz azonban hogy ez tényleg megtörténhessen, előbb a virágrács fölé kell emelni a cserepet, s e célból $mg.h_2$ munkát kell befektetni. E magasabb helyzetből leesve $mg.h_2 + hmg.h_1$ munkát végezhet a cserép, vagyis visszaadja a befektetett $mg.h_2$ munkát, s azon kívül az eredeti helyzetnek megfelelő $mg.h_1$ munkát is szolgáltatja. Ha a virágrácsot lehajtjuk, akkor a cserép $mg.h_1$ energia-nyereség közben magától leesik.

A hidrogén- és klórgáz metastabilis elegyének az állapota hasonló az ablakban lévő virágcserepekéhez. A hidrogén- és klóratom egyesülése sósavvá nagy energiatermeléssel járó folyamat (mely energia a legegyszerűbb esetben hő alakjában mutatkozik), s mint ilyen, magától megy végbe.[1] Sem a hidrogéngázban, sem pedig a klórgázban azonban nincsenek szabad atómok, mert mindkét gáz közönséges állapotában molekulákból áll, melyek két egyenlő atómból alkotvák. Ahhoz tehát, hogy hidrogén- és klór*atómok* egyesülhessenek egymással,

[1] A természetben ugyanis azok a folyamatok mennek önként végbe, melyek munkává szabadon átalakítható energia termelésével járnak.

előbb a *molekulákat* szét kell bontani atómjaikra. A molekulák e szétbontásához azonban energiabefektetés kell. A molekula szétbontásához szükséges energia megfelel annak a munkának, mellyel a virácserepet a korlát fölé emeltük. Ezt a munkát visszakapjuk, midőn a hidrogén- és klóratómok sósavvá egyesülnek (mely egyesülés ezen felül is még bőséges energiatermeléssel jár), ez a rövid időre mintegy odakölcsönzött energia azonban mégis előfeltétele annak, hogy a különben egymással szemben passzívan viselkedő gázok kémiailag aktívvá váljanak. Ezért szokás ezt az energiát, mely a molekuláknak a kémiai átváltozásra való előkészítéséhez kell, a k t i v á l á s i energiának nevezni. Az aktiválási energia (vagy aktiválási hő) rövid lejáratú kölcsön, melyre a kémiai átváltozásra képes molekuláknak szüksége van, hogy az átalakulás tényleg végbe is menjen.

Az aktiválási energiának a legegyszerűbb, mondhatnók természetes forrása a hőmozgás. A gázok és folyadékok molekulái, mint már említettük, állandó mozgásban vannak, s e mozgás sebessége annál nagyobb, minél magasabb a hőmérséklet. E hőmozgás folytán a molekulák egymásba ütköznek, s ezek az ütközések annál hevesebbek, minél magasabb a hőmérséklet. Természetesen nem minden ütközés történik egyenlő erővel, még ha állandó is a hőmérséklet, s így az ütközési energiák sem egyenlők, hanem egy középérték körül ingadoznak. Ha elég magas a hőmérséklet, akkor az ütközési energia képes fedezni az aktiválási energiát, vagyis, hogy a fenti példánál maradjunk, az ütközéskor szabaddá váló energia elég nagy ahhoz, hogy a hidrogén- és klórmolekulát atomjaira felbontsa. Úgy is mondhatjuk, hogy a heves ütközéskor a molekulák mintegy széttörnek. Ha tehát a gázelegy hőmérsékletét fokozatosan emeljük, akkor egy bizonyos hőmérsékleten lassan megindul a sósavképződés. Ezen a hőmérsékleten csak a legkedvezőbb ütközések szolgáltatnak elég energiát a molekulák felbontására, tehát csak aránylag ritkán következik be olyan ütközés, mely kémiai folyamatot vált ki, ezért lassú a sósavképződés. A hőmérséklet emelésével az ütközések mind nagyobb és nagyobb hányada tudja fedezni az aktiválási hőt, s ennélfogva a reakció sebessége mindinkább nő. Elegendő magas hőmérsékleten majdnem minden ütközés elég heves ahhoz, hogy megindítsa a folyamatot, a reakció tehát pillanatszerűen, robbanás alakjában megy végbe.

Virágcserepeink azonban nemcsak a hőmozgást jelképező vihar segítségével juthatnak a földre, hanem az aktiválási energiát jelképező korlát eltávolításával is. Kémiai átalakulást nemcsak úgy hozhatunk létre, hogy gondoskodunk a reakció bevezetéséhez szükséges aktiválási energia előteremtéséről, hanem azzal is, ha a korlátot jelentő aktiválási energiát megszüntetjük, vagy legalább is csökkentjük. És ezen a ponton lépnek előtérbe a katalizátorok. A katalizátorokról ugyanis a közelebbi vizsgálat kiderítette, hogy nem előkelő és távoli szemlélői a kémiai reakcióknak, melyek valamely csodás távolhatás folytán puszta jelenlétükkel átalakulásra ingerlik a molekulákat, hanem nagyon is aktív résztvevői a kémiai folyamatnak. Csak a folyamat végtermékei között nem jelentkeznek, mert dolguk végeztével eredeti alakjukban vonulnak el az egymással reagáló molekulák küzdőteréről.

A katalizátorok szerepe az aktiválási energia csökkentésében áll. Ezt azzal érik el, hogy az egymással vegyülő anyagok egyikének vagy mindkettőjének a

molekuláival átmenetileg kapcsolatba lépnek. Ennek a kapcsolatnak a katalizáló hatás elérése céljából olyan természetűnek kell lenni, hogy az eredeti molekulákat meglazítsa, s ezzel csökkentse az aktiválási hőt. A klórdurranógáz esetében például a platinatapló vagy a faszén azáltal fejti ki katalizáló hatását, hogy a hidrogén- és klórmolekulákat megköti, adszorbeálja a felületén. Az adszorpció abban áll[1], hogy az adszorbens (jelen esetben a platinatapló vagy faszén) felületéről kiinduló erők a környezetben lévő molekulákat többé-kevésbbé erősen a felülethez kötik. A hidrogén- és klórmolekulák adszorpciója következtében a molekulák meglazulnak, mert míg a gáztérben a molekulát alkotó két atóm teljes erejével egymásba kapcsolódik, addig az adszorbeált állapotban az atómokból kiinduló erők részben az adszorbenssel való kapcsolat fenntartására vannak igénybevéve, s az adszorbeált molekulán belül a két atómot csak gyenge erők fűzik össze. Ennekfolytán az adszorbeált molekulákat sokkal könnyebb atómjaira szétbontani és így reakcióra képes állapotban vinni, mint a szabad molekulákat, ami másszóval azt jelenti, hogy az adszorpció következtében csökkent a reakció megindításához szükséges aktiválási energia. A csökkent aktiválási energiával egyenértékű energiát a molekulák hőmozgás-okozta ütközése már közönséges hőmérsékleten is elő tudja teremteni, a sósavképződés tehát faszén jelenlétében már közönséges hőmérsékleten is végbemegy. A keletkezett sósavmolekulák az adszorbens felületéről nagyrészt eltávoznak. A katalizátor tehát, a platina vagy faszén, a reakció folyamán maradandóan nem változott meg, átmenetileg azonban kölcsönhatásba lépett a reakció résztvevőivel, azokat felületén adszorbeálván. Ezt, ha tetszik, úgy is kifejezhetjük, hogy a katalizátor a katalizált reakció résztvevőivel laza „adszorpciós vegyületeket" alkotott, melyek a reakció befejeztével ismét elbomlanak.

A klórdurranógáz egyszerű példáján megismertek könnyen általánosíthatók. Majdnem minden reakció megindulása aktiválási energiát igényel, vagyis a kémiai átalakulásra képes rendszereket általában energetikai értelemben vett korlátok akadályozzák az átalakulásban. Hogy az átalakulás végbemenjen, ahhoz vagy elég magas hőmérsékletre kell hevíteni a rendszert, hogy a korlátot a fent vázolt értelemben mintegy „átugorja", vagy a korlát „magasságát", azaz az aktiválási energiát kell csökkenteni, ami katalizátorok segítségével vihető keresztül. Az, hogy a katalizátor miként csökkenti az aktiválási energiát, az esetek legnagyobb részében nem ismeretes pontosan. Csak annyi bizonyos, hogy a katalizátor átmenetileg egyesül a katalizálandó reakció résztvevőjével (az ú. n. szubsztrátummal), ezáltal annak a molekuláit fellazítja s az átalakulásra alkalmasabbá teszi. Ha a katalizátor szilárd halmazállapotú, akkor a szubsztrátumhoz kapcsolódó laza kötés adszorpció útján jön létre, ha ellenben a katalizátor cseppfolyós vagy gázalakú, akkor a katalizátor molekulái vagy molekulahalmazai kapcsolódnak átmenetileg a szubsztrátum molekuláihoz, s alkotják a reakcióra hajlamosabb, csökkent aktiválási energiával bíró laza vegyületet. Ezt az átmenetileg képződött vegyületet a legtöbb esetben nem ismerjük közelebbről, csak annyit tudunk róla biztosan, hogy fellazítja a reakcióban résztvevő anyag (vagyis a szubsztrátum) molekuláit.

[1] L. ERDEY-GRÚZ T. Term- Tud. Közl. 68. kötet, 646. oldal, 1936

Nem kell talán külön hangsúlyozni, hogy nemcsak az olyan kémiai folyamatok katalizálhatók, melyekben két vagy több anyag vesz részt, hanem egyetlen anyag átalakulásai is. Egyetlen molekula bomlásakor az ütközési energia szerepét a molekulán belül rezgő atómok rezgéseinek az energiája veszi át. A katalizátor pedig a szétesést gátló energiakorlátot csökkenti.

Ugyanazt a folyamatot többféle anyag is katalizálhatja, s a katalitikus hatás nagysága minden esetben más. Minél jobban fellazítja valamely anyag a szubsztrátum molekuláit, annál nagyobb mértékben gyorsítja a reakciót.

Gyakran előfordul, főleg ha bonyolódottabb összetételű az anyag, hogy különböző katalizátorok hatására egyébként azonos körülmények között különböző átalakulások jönnek létre. Így például a szőlőcukor (krumplicukor) az élesztőgomba által termelt zimáz nevű enzim katalizáló hatására etilalkoholra (borszeszre) és széndioxidra bomlik (ú. n. alkoholos erjedés), a *Bacillus acidi lactici* által termelt enzim hatására pedig tejsavvá alakul át. A cukor bomlásának az irányát, módját tehát az alkalmazott katalizátor szabja meg. A katalizátoroknak ez a reakciót irányító hatása lényegében arra vezethető vissza, hogy a különböző katalizátorok a szubsztrátum molekulájának különböző helyéhez kapcsolódnak, ezáltal különböző helyeken lazítják fel a molekulát. A hőmozgás vagy más molekulákkal való ütközés hatására azután a molekula a fellazított helyen válik reakcióképessé (például itt szakad ketté), s így érthető, hogy a különböző helyen fellazító katalizátoroktól függően különböző módon mehet végbe a kémiai átalakulás.

A katalizátorok tehát a kémiai reakciók sebességének a növelésén kívül sok esetben az átalakulásnak irányt is szabnak. Ez a két sajátság az, mely a katalízisnak, mint időt és anyagot megtakarító tényezőnek az élők világában és az iparban egyaránt rendkívüli fontosságot kölcsönöz. Időt takarít meg, mert megfelelő katalizátor kiválasztásával különben lassú folyamatokat olyan mértékben meggyorsíthatunk, amilyen mértékben az a célnak legjobban megfelel. Anyagot takarít meg, mert olyan katalizátort választhatunk ki, mely a kívánt folyamatot meggyorsítja, a nem kívánatos mellékfolyamatokat pedig az azokat katalizáló anyagok távoltartásával elnyomhatjuk. Tudni kell ugyanis azt, hogy a kémiai folyamatok nagy része nem egyszerűen megy végbe, hanem egymással párhuzamosan és egyidejűen több folyamat játszódik le, melyek közül rendesen az egyik uralkodik, a többi pedig mint mellékreakció szerepel. Számos esetben épen valamelyik mellékreakció az, amelyre szükségünk van. Ilyenkor elég egy jó katalizátort keresni erre a mellékreakcióra, mely azt annyira meggyorsítja, hogy a kiindulási anyagok hamarabb elfogynak a kívánt irányú átalakulás folytán, semmint hogy számottevő részük az eredetileg uralkodó folyamat értelmében használódhatott volna fel.

A katalitikus folyamatokra jellemző, hogy a katalizátornak kis mennyisége igen nagy mennyiségű anyag átalakulását tudja meggyorsítani. Azok alapján, amit a katalizátorokról tudunk, ez érthető is: A katalizátor csak átmenetileg kapcsolódik össze a szubsztrátummal, annak reakcióját csak megindítja, azután ismét elválik tőle, s új molekulákkal kapcsolódhat össze. Elméletileg tehát azt kellene várnunk, hogy a katalizátor akármilyen kis mennyisége a szubsztrátum tetszésszerinti mennyiségének a kémiai átalakulását tudja katalizálni. A való-

ságban azonban ez nem egészen így van. A kémiai reakció küzdőterén néha bizony baleset éri a katalizátor molekuláit. Ritkán bár, de előfordul, hogy az ütközéskor elbomlik a katalizátor molekulája, vagy a szubsztrátummal alkotott laza vegyület elbomlásakor a katalizátor molekulája is elveszti egy részét. Különösen nagy molekulájú katalizátorokat (mint amilyenek az enzimek) fenyegeti ez a veszély. Katalizátort fogyasztanak az esetleg jelenlévő olyan szennyezések is, melyek a katalizátor molekuláival szilárd vegyületet alkotnak. A szilárd vegyület alakjában megkötött katalizátor természetesen használhatatlanná vált. Ez utóbbi folyamatot a katalizátor megmérgezésének is nevezik.

Bár tehát a katalizátor-molekulák életét is veszélyek fenyegetik, s hivatásuknak előbb-utóbb áldozatul is esnek, mégis igen tekintélyes hatásokkal találkozunk ezen a téren. Így például 1 g vas mint a kataláze nevű fermentum alkatrésze 1 másodperc alatt 100.000 g hidrogénhiperoxidot tud elbontani. A D_2-vitamin patkánykísérletekben még akkor is észrevehető hatást fejt ki, ha csak minden 800 millió fehérjemolekulára esik egy molekula D_2-vitamin. A lélekzéssel kapcsolatos oxigénfelvételt katalizáló úgynevezett lélekzési fermentumban 1 g vas másodpercenként 60.000 g oxigén felvételét teszi lehetővé (a szervezetben természetesen csak elenyésző kis mennyiségű vas van lélekzési fermentum alakjában jelen). Látjuk tehát, hogy a katalizis terén kis okoknak valóban igen nagy következményeik vannak. Sőt nyugodtan meg is fordíthatjuk a dolgot: mindazokban az esetekben, melyekben valamely anyag mennyiségéhez képest aránytalanul nagy hatást fejt ki, jogos a gyanú, hogy a hatás katalizisen alapul. Így nagyon valószínű, bár bebizonyítva nincsen, hogy a vitaminok is azzal hatnak, hogy a szervezet zavartalan működéséhez szükséges folyamatok egyikétmásikát katalizálják.

A katalizátorok kémiai természetét illetően a legnagyobb változatossággal találkozunk. Az elemi testektől kezdve (platina, szén, vas, nikkel stb.) a legbonyolódottabb, s ezért nagyrészt ismeretlen összetételű enzimekig és fermentumokig a legkülönbözőbb összetételű anyagokat találjuk a katalizátorok között, s arra vonatkozóan, hogy milyen összetétel kedvez a katalizáló hatás létrejöttének, általános érvényű szabályok nem ismeretesek. A kutató tehát, aki katalizátort keres valamely folyamat részére, nagyrészt kísérletezésre van utalva. Az iparilag hasznosítható folyamatok jó katalizátorai ezért a gyárosok féltve őrzött titkai, melyek a legtöbb gyártási eljárásnak életbevágóan fontos tényezői.

A katalizátorok, mint időt és anyagot megtakarító s reakciót irányító eszközök, nélkülözhetetlenek a kémiai iparban. Alig van olyan ipari eljárás, mely kisebb nagyobb mértékben ne szorulna a katalizis segítségére. Az iparban alkalmazott katalizátorok igen sokfélék. Vannak köztük egyszerű összetételű szervetlen anyagok, mint például a fínom eloszlású platina a kontakt-kénsav-gyártásban, vagy a vas az ammónia-gyártásban, s vannak közöttük ismeretlen összetételű bonyolódott anyagok, melyeket csak az élő természet tud létrehozni, mint például a szeszgyártásnál a csirázó árpa által termelt diasztáz és az élesztőgomba által termelt zimáz. Kémiai folyamatok ipari kiaknázása rendesen a megfelelő katalizátorok feltalálásán múlik.

A katalizátorok az iparban is fontosak, de szerves élet nem is volna nélkülük lehetséges. A szerves élet, legyen bár növényi, állati vagy emberi, a fejlődéshez és

létfenntartáshoz szükséges ezernyi ezer folyamatot katalizátorok útján kormányozza. Az élő szervezet felépítésének „nyersanyaga" a táplálék. Ezt vagy elégeti a szervezet energiaszükségletének fedezésére, vagy átalakítja testének felépítésére, azaz növelésére vagy elhasználódott részeinek pótlására. Sem az elégés, sem pedig a szervezetbe való beépítés nem egy lépésben megy végbe. A táplálék számos átalakuláson megy kersztül, mielőtt végleg oxidálódna széndioxiddá, vízzé és az anyagcsere egyéb melléktermékeivé, vagy szervesen beépülne az élő testbe. A táplálék sorsának irányítói az enzimeknek vagy fermentumoknak nevezett katalizátorok, melyek a szervezet minden részében nagy számban találhatók. Ezek az igen bonyolódott összetételű úgynevezett biokatalizátorok a legtöbb szervetlen katalizátorral ellentétben olyan tulajdonságúak, hogy rendesen csak egy meghatározott folyamatot katalizálnak, s minden más folyamattal szemben teljesen inaktívak. Továbbá fontos tulajdonságai az enzimeknek, hogy bizonyos anyagok jelenléte gátló hatást fejt ki működésükre, más anyagok viszont növelik katalitikus aktivitásukat, működésük erőteljessége tehát szabályozható. E nagyfokú fajlagosság s a hatóképesség szabályozhatósága teszi a biokatalizátorokat az életfolyamatok kormányzására alkalmas eszközökké.

Az élőszervezetnek, ennek a csodálatosan fínom és pontosan működő gépezetnek, fejlődésére és fenntartására megszámlálhatatlan sok folyamat szükséges, melyeknek egyenkint pontosan meghatározott helyen és időben, meghatározott sebességgel kell végbemenni, hogy mind e folyamatok összhangja zavartalan életműködést biztosítson. Az egyik helyen a táplálék fehérjemolekuláit kell meghatározott mértékben felhasogatni, a másikon a törmelékekből új fejérjemolekulákat felépíteni. Az egyik helyen fel kell raktározni a szénhidrátokat, a másik helyen el kell égetni azokat a szervezet energiaszükségletének a fedezésére. Fejlődésben lévő szervek új sejtek képződését teszik szükségessé, majd a fejlődés befejeztével a növesztő sejtképződésnek meg kell szűnni, s csak az elkopott sejtek pótlására kell szorítkozni. Sérülés esetén újra meg kell indulni a gyógyító sejtképződésnek, de azonnal meg kell szűnni, mihelyt a seb behegedt. Nem folytatjuk a példákat, hiszen az életfolyamatoknak úgyis csak elenyésző kis részét sorolhatnók fel. Valamennyi folyamatban a biokatalizátorok játsszák mintegy a munkavezető szerepét, melyek központi parancsnak engedelmeskedve, a helyszínen megszabják a végzendő munka minőségét és terjedelmét. A biokatalizátorok közül csak a legszembetűnőbb folyamatok vezérlői ismeretesek, s ezeknek a száma is nagy. De még nagyobb a száma azoknak a „névtelen katalizátoroknak", melyek a rejtettebb, bár talán egyes esetekben döntő fontosságú folyamatokat irányítják.

A biokatalizátorok kutatása terén az egyik főnehézség abban áll, hogy legnagyobbrészük csak igen kis mennyiségben van jelen. Hogy milyen kis mennyiségekről lehet itt szó, arról némi fogalmat alkothatunk magunknak, ha meggondoljuk, hogy 10^{-15} g ezüst[1] egy liter vízben oldva még észrevehető hatást fejt ki a vértestecskék oldódására, hemolízisére, s a D_2-vitamin még akkor is hatásos, ha egy-egy sejtre csak néhány ezer molekula jut belőle. Ezek a példák arra mutatnak, hogy a biokatalizátorokból sokszor valóban igen kevés molekula jelenléte szük-

[1] 10^{-15} = olyan törtszám, melynél a tizedespont után 14 nulla következik s a 15. helyen egyes áll.

séges észrevehető hatás előidézésére, ami különben a legkisebb ellentmondásban sincs a katalizis létrejöttéről alkotott képünkkel. Könnyen belátható azonban, hogy ilyen kis mennyiségekben jelenlévő, s hozzá még a szervezeten kívül nagyrészt bomlékony anyag kimutatása nem kicsiség.

A biokatalizátorok hatásképes mennyiségének kicsiségét látván, be kell vallanunk, hogy természettudományi szempontból nem lehet tagadni hogy egyes gyógyszerek „valószínűtlen" higításban is hatékonyak lehetnek. A szervezet megbetegedései végeredményben legnagyobbrészt arra vezethetők vissza, hogy egyes enzimek hiányosan működnek vagy esetleg túlzott aktivitást fejtenek ki, s mint rakoncátlan, saját szakállukra dolgozó munkavezetők, megzavarják a szervezet egyensúlyát. A gyógyítás célja pedig végeredményben az, hogy jobb belátásra bírván a rakoncátlankodó katalizátorokat, működésüket ismét a normális mederbe terelje, s addig is, míg ez bekövetkezik, a hibás működés folytán beálló károsodásokat lehetőleg ellensúlyozza. Ha mármost a biokatalizátorok egy része a fent említett rendkívül kis mennyiségben van jelen s fejti ki hatását, akkor lehetségesnek kell tartanunk, hogy bizonyos esetekben a gyógyszereknek ugyanilyen kicsi, vagy talán még kisebb mennyisége módosítani (növelni vagy csökkenteni) tudja e katalizátorok hatékonyságát, vagyis gyógyító hatást fejt ki. A nélkül, hogy a hasonszenvi (homöopata) gyógymódokkal szemben bármilyen irányban állást foglalnánk, annyit tehát mindenesetre meg kell állapítani, hogy a mérsékelt hasonszenvi adagolású gyógyszerek gyógyító hatása természettudományi ismereteinkkel nem áll ellentmondásban.

Említettük az előzőekben, hogy mindazokban az esetekben, melyekben valamely anyag kis mennyiségei aránytalanul nagy kémiai változást hoznak létre, joggal gyanakodhatunk katalitikus hatásra. Az élők világának számos csodái közül talán a legnagyobb az öröklődés. A megtermékenyített petesejtben lévő kromoszómák illetőleg gének a fejlődő egyénnek nemcsak faji hovatartozását szabják meg, hanem valamennyi öröklődő egyéni tulajdonságait is.[1] A megtermékenyített petesejt tehát, melynek súlya a grammnak mintegy milliomodrésze, olyan sajátságokkal rendelkezik, melyek a belőle fejlődő, s nálánál sok milliárdszor nagyobb tömegű egyén életfolyamatainak jelentékeny részét megszabják. A petesejt génjei szabják meg, hogy az egyén növekedésére vezető sejtosztódások befejeződjenek-e, ha az egyén elérte az 1·60 métert, vagy 1·80 méterig folytatódjanak, hogy szemében kék vagy barna festék termelődjön, hogy az orrát felépítő sejtek sasorrnak megfelelő elrendeződésben helyezkedjenek-e el, vagy pisze orrot alkossanak, hogy agytekervényeinek száma nagy legyen-e vagy kicsi stb. Az aránytalanul nagy hatásnak jellegzetes példájával állunk itt szemben, s talán nem jár messze a valóságtól az a nézet, hogy a gének őskatalizátoroknak tekinthetők, melyek az illető génhez kapcsolt örökölt sajátság kialakulására vezető folyamatokat irányítják, akár közvetlenül, akár a génekből keletkező újabb katalizátorok útján.

A biokatalizátorok működése az élet számos jelenségét megérteti velünk, az élet titkának kulcsát azonban távolról sem jelenti. A katalizátor ugyanis, legyen az bár szervetlen vagy szerves, nem tesz mást, mint a megfelelő kémiai

[1] L. Szabó Zoltán: A kromoszóma. (A természettudományok elemei 4. kötet.)

folyamatot kiváltja, illetőleg sebességét növeli. Tervszerűség vagy céltudatosság azonban az egyes katalizátorok működésében nincs, s így katalizátor és szubsztrátum magukban sohasem hozhatnak létre élő szervezetet. A legegyszerűbb élőszervezetben is ezernyi ezer részfolyamatnak kell ugyanis közös cél szolgálatába állítva, egymással teljes összhangban lefolyni az életműködés biztosítására. Az egyes részfolyamatokat ugyan biokatalizátorok szabályozzák, de hogy hol, mikor és mily mértékben menjen végbe valamely folyamat, vagyis hogy az egyes katalizátorok hol s mikor fejtsenek ki működést, s mikor menjenek át passzív állapotba más katalizátoroknak engedvén át a küzdőteret, azt a katalizátoroknál magasabbrendű valami, az Élet, vagy ha úgy tetszik, az életerő szabályozza. A katalizátorok nem tervezők, hanem csak munkavezetők, akik hajszálnyi pontossággal tartoznak a tervező és irányító központnak, az Életnek, a legapróbb részletekig kidolgozott utasításait követni. Hogy a katalizátorok és szubsztratumok magukban mit tudnak, azt látjuk, ha az élet elszáll: azonnal felüti a fejét a kémiai folyamatok teljes anarchiája, mely csakhamar megsemmisíti a szervezetet.

Hogy mi az Élet, azt ma éppoly kevéssé tudjuk, mint régen. A katalizátorokban csak egyik eszközének a titkát sikerült ellesni, s azt is csak igen hiányosan és tökéletlenül. Az egész életfolyamatra ma is csak LIEBIG 100 év előtti szavait idézhetjük: „Egy nem-kémiai ható ok (élet, életerő) befolyása alatt kémiai erők működnek a szervezetben. Az elemek ennek az uralkodó ható oknak a vezetése mellett alkotják a kémiai anyagokat és nem függetlenül attól, hasonlóan, mint ahogy az élő szervezeten kívül a kémikus céltudatos akarata kényszeríti az elemeket egyesülésre." *Dr. Erdey-Grúz Tibor.*

A Tihanyi Biológiai Kutató Intézet működése.

A Természettudományi Közlöny 1084-ik füzetében BÁRÓ BRANDENSTEIN BÉLA érdekes cikkében: „Az elmélyedő természetszemlélet a modern tájélettanban" egy megjegyzés fordul elő, mely a következően hangzik: „A tihanyi biológiai állomás csekély kihasználása miatt amúgy is állandó a panasz: nagyszerűen lehetne ezt az intézetet egyúttal a balatoni és balatonvidéki tájélettani kutatás szolgálatába állítani."

A cikket végigolvasva, örömmel üdvözlöm BRANDENSTEIN BÁRÓnak fejtegetéseit, mert hiszen az, amit tájélettani kutatás nevével jelöl meg a szerző, egyenesen a biológiai kutatóintézet programmja, amelynek egyik osztálya: Balaton biológiai osztály címet viseli. Ez az intézet kilenc éves fennállása óta állandóan foglalkozik tájélettani kutatásokkal is, hiszen egyedül az intézetnek eddig megjelent kilenc kötetében nagymennyiségű cikk éppen erre vonatkozik. Ezek között van nem egy terjedelmes olyan szintézis, amelyet a szerző az intézettől követel. Hogy az intézet munkássága mire vonatkozik és milyen terjedelmű, az az intézet 1937. évről szóló jelentéséből megállapítható, valamint az 1938. év január 24-én a M. T. Akadémia III. osztályán tartott: „Az utóbbi évek Balaton-kutatásáról" szóló előadásomból.[1]

[1] Előadás a M. T. Akadémia III. osztályának 1938. jan. 24.-én tartott ülésén. — ENTZ G. Az utóbbi évek Balaton-kutatásáról. Mat. Term. Tud. Értesítő 1938., 57. kötet és u. i. 51. k.