

fizikai szemle

AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT LAPJA

Alapította Eötvös Loránd 1891-ben Mathematikai és Fizikai Lapok néven

XXVI. évfolyam

6. szám

1976. június

ELEKTRONOK SZEREPE AZ ÉLETJELENSÉGEKBEN

Szent-Györgyi Albert

előadás az ELTE hallgatóinak, 1973)

I.

A biológia vonzerejét — ami engem is leginkább csábított — a rendkívüli érzékenység, a reakciók gyorsasága és finomsága adja. A mai biológia teljesen a molekuláris elgondolásra épül. A molekulák azonban, különösen az óriás fehérjemolekulák nagy és nehézkes egységek, nagy aktivációs igénnyel (jól meg kell őket lökni, hogy valamit csináljanak). Ezért sohasem tudtam elhinni, hogy ezek az egységek lennének felelősek az élet csodálatos finomságáért. Mindig lázadó voltam és csatlakoztam Barnard Shaw gondolatához: amit mindenki hisz, az valószínűleg rossz, nem lehet teljesen igaz. Arra gondoltam, hogy az élet megközelítéséhez sokkal kisebb egységekre van szükségünk, mint egy ilyen nagy, nehézkes molekula, milliós vagy tízmilliós vagy százmilliós molekulasúllyal.

Kicsi és nagyon mozgékony egység csak egy van, az az elektron. Több, mint 30 évvel ezelőtt egy fiatal barátommal, Laky Kálmánnak való vita után Angliában publikáltam egy írást, amelyikben azt mondtam hogy a fehérjének (proteinnek) félvezetőnek, elektromos vezetőnek kell lennie. Erre természetesen az egész világ nekem támadt. Azt mondták: csak rá kell nézni a fehérjére, és az ember látja, hogy nem vezet! Tudniillik egy félvezető vagy vezető általában színes, és sohasem átlátszó, mivel a vezetési elektronok szabadon mozoghatnak benne, és így rendkívül könnyen elvesznek egy fotont. Ha az elektronok elnyelnek egy fotont, abból szín lesz. Ha sokat vesznek fel, átlátszatlan lesz az anyag. A fehérjének pedig még a neve is azt mondja, hogy fehér. Ez nem kedvetlenül telt el, mert tudom, hogy egy igazi felfedezés mindig ellentétben áll az uralkodó nézettel, különben nem felfedezés, hanem cséplőgép vagy valami ilyesmi. A hitetlenkedés nem kedvetlenül telt el, sőt a nagy ellenállás mindég felajzza az embert, azt mondja: úgy látszik, valami nagy felfedezés felé közeledem.

Ma már többé-kevésbé elfogadott, hogy a fehérje elektronjainak energianívói vannak. Ezek a nívók zavarják, perturbálják egymást, egy közös folytonos energiasávva folynak össze. Köznyelven kifejezve ez azt jelenti, hogy a fehérjemolekulát — a proteint képző molekulaláncot — elektronfelhő

veszi körül. Az, hogy ebben a felhőben mozoghatnak-e az elektronok, számuktól függ. Ez számunkra lényeges kérdés, hiszen csak mozgékony elektronok fejthetik meg, magyarázhatják meg az életjelenségeket. Azt mindenki tudja, hogy minden rendszerben csak két elektron energiája egyezhet meg (és csak akkor, ha ellenkező irányban pörögnek). Úgy tűnik, hogy a proteinben kétszer annyi elektron van, mint az állapotok száma, ezért minden hely be van töltve. A helyzet ugyanaz, mint egy golyókkal teli skatulyánál, hiába rázza az ember, a golyók nem tudnak mozogni. Hogy mozoghassanak, ki kell venni néhány golyót a dobozból vagy az elektronokat az elektronsávból, hogy kevesebben legyenek annál a bizonyos kétszeres számnál.

Törtük a fejünket; hogyan lehet elektronokat kivenni? Ez nem tehető meg akármilyen energiával, mert az elektronok tartózkodási sávja után közvetlenül egy tiltott terület — egy Brillouin-sáv — következik, ahol nem tartózkodhat elektron, azután jön egy üres energiasáv, ahol az elektronok megint elhelyezkedhetnek. Ha ez a két sáv olyan közel van egymáshoz, hogy már a hőmozgás fellökhet elektronokat, akkor az üres sávba fellökött elektronok szabadon mozoghatnak. A hátramaradt sáv is vezető lesz, mert ott lyukak keletkeztek. Kérdés: milyen messze van a következő sáv? Azok az anyagok, melyeknél ez a sáv olyan közel esik, hogy már a hőmozgás fellökhet egy elektront, a félvezetők. Ezek vezetnek, a „fél” nem jelent semmit, nem félnek vezetni, egyszerűen nem-fémes vezetők. A tiltott zóna szélességét sok helyen kiszámolták, és kiderült, hogy az nagyon nagy, legalább 3 eV. Ennyi energia az élő szervezetben nincs. Az élő energetikailag nagyon szerény és szegény valami, csak 1/4 eV áll rendelkezésére. Így a kvantummechanikai számítás sem segített. Még mindig ott álltam védtelenül a támadásokkal szemben.

Felmerült ekkor a gondolat, hogy vannak anyagok, melyek a proteintól elektront vehetnek át, tehát olyan elektron-akceptorok, melyeknek üres elektronpályájuk van, így képesek oda egy-egy elektront magukhoz szippantani. Ilyenre a szilárd anyagnál sok példát találhatunk; a rádiók és a televíziók olyan alkatrészeket tartalmaznak, amik ezt a jelenséget hasznosítják. Tehát arra gondol-

tunk, hogy vannak ilyen elektronéhes (üres pályájú) tisztátlanságok. Brillouin, a szilárd halmazállapotok megismerésének egyik nagy úttörője, egy elméletet javasolt, mely szerint a proteinhez akceptor-tisztátlanságok, vagyis elektron felvevő képességű anyagok kapcsolódnak, és így a protein vezetővé lesz.

Hamar válasz érkezett a vegyésztől. Azt mondták: mi már száz és száz proteint izoláltunk, megvizsgáltunk, de ilyen tisztátlanságot soha senki nem talált. Mivel szilárd meggyőződésem volt, hogy az élet megértéséhez a fehérje vezetni kénytelen, számomra a kérdés nem az volt, hogy vezető-e, vagy sem, hanem az, hogy a tudomány hol siklott ki, hol vesztette el a fonalat. Ezen gondolkodtam az utóbbi hónapokban. A megoldás egyszerű, gyerekesen egyszerű!

II.

Mit jelent az, hogy élet? Ezt definiálni nem tudjuk, de hogy a kutyám él-e, azt tudom. Ha ugat, a farkát csóválja és a szőnyegemet bepiszkítja, akkor biztosan él. Ezek az életjelenségek. Hogy dehidrogénez-e, csinál-e poliméret, az nem kérdés, az nem élet. Hogy ugat, farkát csóválja, kiválasztásai, reflexei vannak, izommunkát végez: ez az élet, ezek a nagy életjelenségek. Ezeket az életjelenségeket mind a struktúrák végzik. Az agy, az izom, a máj, a vese mind megannyi — félig szilárd halmazállapotú — struktúra, ezek adják a nagy életjelenségeket, amik lényegében energia-átalakítások. Tudniillik ezek mind kémiai energiát alakítanak át munkává, ami két teljesen különböző dolog. Egy nagy transzformáció folyik, amit ezek a szerkezetek, ezek a szilárd halmazállapotú szervek végeznek. Összekapcsolni vagy széthasítani két molekulát — amit a legtöbb enzim tesz — az nem munka, hanem kémiai reakció. A vezetés azért kell nekem, hogy megmagyarázzam: hogyan működnek ezek a struktúrák.

A struktúrák rendszerének kiszolgálására vannak oldott fehérjék. A struktúra azt jelenti, hogy oldhatatlan szilárd halmazállapotú, hogy nem megy oldatba (molekuláris diszperzióba), hanem értelmesen összefüggő rendszer marad, ahol a molekulák összekapcsolódnak. Az oldható proteinek ezt a rendszert szolgálják ki. A háztartási munkát végzik, amit akár egy pohár vízben is elvégeznek, ha izolálják az enzimet és hozzáadjuk a szubsztrátumot. Ezeknek az oldott fehérjéknek semmi szükségük a vezetésre. A vezetés az energiáttranszformációhoz kell, tehát a struktúraproteineknek kell azt létrehozniok.

Mi történik a biokémiában? Jön egy vegyész és fehérjéssel akar foglalkozni. Ehhez kristályos vagy molekulárisan diszpergált proteinre van szüksége, amit tisztán előállíthat. Ilyet a struktúrákban nem talál, onnan nem lehet a molekulákat kiszedni, úgy össze vannak gubancolódva. Így aztán oldható proteinek használnak, ahol nincs félvezetés, mivel nincs is szükség rá. Az egész problé-

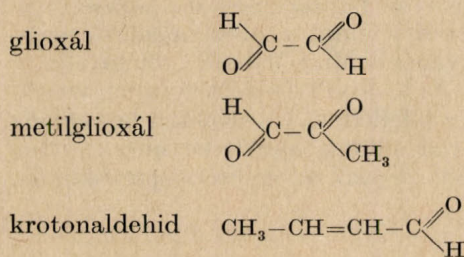
mát úgy oldották meg, hogy kivonták az összes oldható fehérjét; ami maradt — a tulajdonképeni élő anyag — azt elnevezték maradéknak és kidobták. Ez volt a legegyszerűbb megoldás, de ezzel kidobták az élet legnagyobb titkát. A biokémianak talán legmélyebb problémája volt ez, úgyhogy a problémát egyből eltemették. A fehérjekémia az oldható fehérjék, nem pedig a struktúrafehérjék kémiája lett, azokhoz senki sem mert hozzányulni. Amikor munkatársaimmal néhány hónappal ezelőtt ebbe az irányba kezdtünk mozogni, először nekiálltunk a struktúráknak, szétzúztuk őket, hogy a vért teljesen kimoshassuk belőlük, aztán a maradékot feloldottuk és megnéztük. Aki a májproteint tartalmazó kémcsőre azt mondja, hogy szintelen, az menjen más pályára. Olyan, mint egy jó svájci csokoládé, sötét vörösesbarna, sokkal sötétebb, mint maga a máj.

Kérdésünk még mindég az, mennyire molekuláris vagy mennyire elektronos jelenség az élet. Ez annyira alapvető probléma, hogy lehetőleg az elején kell kezdeni, vissza kell menni az őállapothoz, megnézni: hogyan fejlődött ki ez a rendszer.

Amikor az élet keletkezett, Földünkön teljesen sötét volt, a légkört igen sűrű vízgőz alkotta, még oxigén sem volt. Azt hiszem, egyikünk sem szeretne ilyen körülmények közt élni. Ezek között a rettenetes viszonyok közt az élet sem tudott mást produkálni, mint a legprimitívebb rendszereket. Hogy milyen volt az élet, azt pontosan nem tudjuk. Csak elképzeléseink vannak. Ilyen körülmények között csak a legegyszerűbb folyékony dolgok létezhetek, mikrocseppecskék, és hogy ilyen rossz stabilitási feltételek közt életben maradhassanak, a lehető leggyorsabban szaporodniuk, osztódniuk kellett. Ezt meg is tették, tehát megmaradtak. Ezt a szaporodást segítette a folyékony halmazállapot és az egyszerű szerkezetet. Közben Földünk hült, ennek következtében a vízgőz kezdett kicsapódni. Végre a fénysugarak, fotonok áthatolhattak ezen a vízgőz légkörön. Az élet igen találékony, rögtön rájött, hogyan foghatja el ezeket a fotonokat, amik mindegyike egy nagy csomó energiát hoz (ezek energiacsomagok és negatív entrópiacsomagok). Az élőlény elkapta őket, a vizet oxigénre és hidrogénre bontotta, a hidrogént a szénhez kapcsolta. Ebből lett a tápanyag. Ma is, ha vajaskenyeret tetszik enni, az végeredményben nem más, mint szénhez kapcsolt hidrogén; az oxigént az élőlény visszaküldte a légkörbe. Most az energia felhasználásához csak meg kell fordítani a folyamatot: felvenni a levegőből az oxigént, összekapcsolni a hidrogénnel, ismét vizet csinálni belőlük. Lényegében ez a biológiai oxidáció. Ezt mind az oxigén idézi elő. Amikor megjelent a szabad oxigén, az élet elkezdett fejlődni. Ennek a nagy fejlődésnek az eredményei bonyolult struktúrák, borzasztóan komplikált reakciókkal. A struktúrákban már meg kell állítani az osztódást, mert pl. ha sejtjeim korlátlanul elkezdenének osztódni, akkor minden összezavarodna bennem. Mindez akkor történt, amikor az oxigén bejött az életbe. Warburg azt mondta: mindezt a fejlődést egyszerűen az energia-

bőség megjelenése okozta. De ez nem így elfogadható, mert az energia nem tud alkotni. Az csak szükséges, nélküle semmit sem lehet csinálni. Pl. energia nélkül az autó nem fog szaladni, de az energia nem tud kocsit építeni, vagy kocsit javítani. Az életet is csak hajtani tudja az energia, de azt felépíteni nem képes. Egy más, egészen más elgondolásra van szükség.

Az oxigén azért fontos, mert oxidál, vagyis elektronokat vesz fel, majd protonokat köt meg, és víz lesz belőle. Ez az oxidáció lényege. Arra gondolhatunk, nem az oxigén veszi-e fel az elektronokat a proteintől, azt vezetővé téve? Nem ennek következtében indul meg ez a nagy, csodálatos átalakulás? Sajnos nem ez történik. A protein úgy van megépítve, hogy a molekuláris oxigén ne szedhessen ki belőle elektronokat. Felmerül a kérdés, hogy az oxidációs anyagcsere termékei közt vannak-e oxigént tartalmazó elektron-fellevőképességű vegyületek. Megnézve a szénhidrogének oxidációs termékeit, az oxigén tartalmúak egész sorát találhatjuk, például hidroxilok, karboxilok, ketonok, de közülük egyedül a karbonil csoport (= C=O) képes elektronfelvételle. A kettős kötés egyike σ , a másik π . Számunkra ez utóbbi érdekes, mert ennek egészen különös sajátosságai vannak. Ez egy olyan atompálya, ahová még vendégeket hívhat meg. Egyedül mégsem képes lenyelni egy egész elektront — legalábbis könnyen nem. Ha a π kötés mellé egy másik π kötést teszünk, akkor ezek konjugált rendszerré olvadnak össze, és ez már könnyen felvehet egy egész elektront. Jó néhány olyan vegyület van, mely ilyen Konjugált π rendszert tartalmaz, például a glioxál, a metilglioxál, a krotonaldehid. Ezek igen egyszerű vegyületek, kérdés: meg tudják-e csinálni, amit az oxigén nem tud, elektronokat levenni a proteintről. Ezt a kérdést a kísérletnek kell eldönteni.



Emlékezzünk, elektronleadás után a protein félvezetővé válik, aminek legfeltűnőbb jele, hogy színes. E kísérlet egyszerű: Veszünk egy kazeinoldatot. (A kazein a tej egyik fehérjéje, és tényleg fehér.) Krotonaldehidet adunk hozzá. Másnap reggelre megkapjuk az eredményt: az oldat elszíneződik, pontosan a máj színét veszi fel.

Mi más csinál még az oxigén? Leállítja a sejtosztódást. A dikarbonilek egész sorát szintetizáltuk, és megnéztük, hogy leállítják-e a szaporodást a protein szétroncsolása nélkül. Először baktériumokat néztünk, majd vírusokat, növényi magvakat, s az eredmény megfelelt várakozásunknak: a dikarbonilok azonnal levágták a sejtosztódást.

Hátra van még, hogy bizonyítsuk: itt tényleg

elektronátvitel történt. Két könnyen járható út is kínálkozik ennek eldöntésére. Az egyik az elektron-spin-rezonancia spektroszkópia. Az elektron-spin-rezonancia spektroszkóp egy nagy műszer, ami megmutatja, hogy a mintában van-e párosítatlan elektron. (Ha protein lead egy elektront, akkor a párosítatlan spinű elektronnak marad egy kiegyenlített mágneses momentuma, amit ez az eszköz kimutat.) A kutatás egyik szabálya, hogy minél kisebb, amit nézünk, annál nagyobb a berendezés, amivel nézünk. Az elektronnhoz elég egy szoba nagyságú masina, a még kisebb részek vizsgálatához több kilométeres gyorsítócsatornák kellene.

A másik módszer, amivel a színes anyagot megvizsgálhatjuk, a fényspektroszkópia. A kazeinoldat spektruma, ahol nincsenek stabil szabad gyökök, egy meglehetősen unalmas, sima lefutású görbe. Krotonaldehid hozzáadása után már vannak szabad gyökök, megjelenik egy „váll” a görbén. Az új, görbe voltaképpen két görbéből áll: az eredetiből és még valami másból. A „még valami más”-t meg tudom vizsgálni: a spektroszkóp egyik fénysugarába krotonaldehides, a másikba pedig tiszta kazein oldatot teszünk, ezek egymást kikompensálják, s megkapjuk annak az anyagnak spektrumát, amelyik a különbséget adja. Ez a spektrum egy éles csúcs, ami az elektron-átvitelre jellemző. Kérdés, hogy melyik elektron ment át? Több ok van a feltevése, hogy ez csak a nitrogén nem kötött elektronja lehet. (Minden nitrogénnek van két elektronja, amelyik nem vesz részt a kötésben, a franciák úgy mondják: aggregény elektronok, azok még csinálhatnak, amit akarnak.) Hogy tényleg a nitrogén adja le az elektront, azt úgy mutattuk meg, hogy nitrogén-vegyületeket vettünk, aminosavakat, például etilamint, ahol csak egy etil köti a nitrogént, ahol a nitrogénen kívül még igazán semmi sem tudna elektront leadni, és vizsgáltuk őket fényspektroszkóppal. Ha nem engedjük meg a szabad gyökök képződését, akkor unalmas görbét kapunk. Ellenkező esetben megjelenik a „váll”, a kettő differenciája, és ami a töltésátvitelre jellemző: ismét egy éles csúcs. Most már csak azt kell tisztáznunk, hogy a proteínlánc és az akceptor kerülhet-e olyan térbeli helyzetbe, amikor a konjugált pályák segítségével megtörténik az elektronátvitel. Ehhez intim együttlét kell; tized angstromnyi távolságokon múlik, hogy ez megtörténhet.

A dikarbonil nem csak a proteínlánc mentén kapcsolódhat, hanem két különböző proteínmolekula nitrogénjeit is összekötheti, harántkötést alkothat. Ezek a harántkötések oldhatatlanná teszik a proteint, amint ez könnyen bebizonyítható. Veszünk pl. zselatint, ami köztudomásúlag könnyen oldódik, hozzáteszek valamilyen dikarbonilt, és akkor oldhatatlanná válik. Vagyis elektronátvitel alapján a dikarbonil keresztkötéseket létesített a proteinben. Ilyenkor a protein már nagyon jó vezető és így színes, a különböző proteínmolekulák, sejtszerek között szabad elektronközlekedés indul meg. Ez magyarázza, miért éppen a struktúraproteinek színesek. A magyar nyelv

kifejezi ezt, hogy a rendes protein, amit a vegyészek vizsgálnak, fehér, mint a víz. Fehérjének hívjuk. De a struktúrák, a máj például nem fehér. A struktúra azáltal képződik, hogy ezek az anyagok összekötik a molekulákat, egyben vezetővé teszik őket és szint adnak nekik.

III.

Fordítsuk most figyelmünket a sejtosztódásra. A struktúra szilárd halmazállapotot jelent. Ez nem tud osztódni. Az osztódást megelőzően ezeket a szilárd anyagokat le kell bontani. Már kb. 70 éve tudjuk, hogy minden élő sejtben van egy rettenetesen aktív enzim, ami a glioxál-származékokat lebontja, és amiről eddig senki nem tudta megmondani, hogy mire való az élőben rendkívül kis mennyiségben található glioxál. Mindig meg voltam győződve arról, hogy a természet nem szereti a luxust, és értelmetlen dolgot nem tart. De ha a struktúráért a glioxál felel, akkor a glioxált lebontó enzim természetesen nem luxus.

A tudományban nem az a fontos, mit gondol az ember, hanem hogy mit tud bebizonyítani. Gondolkodni mindenki tud, akinek van egy szivarja. A természetnek egyik csodája a patkánymáj: ha a három lebenyből kettőt kivágunk és összevarjuk az állatot, majd egy hét múlva újra felnyitjuk, megtaláljuk az egész májat, mintha hozzá sem nyúltunk volna. Egy hét alatt a máj kétharmada regenerálódhat, nagyon intenzív sejtosztódás történik. Nem minden sejt osztódik állandóan, csak fele vagy harmada. A regenerálódás után a szokásos módon oldatot készítettünk az érintetlen és az osztódás alatt levő lebenyekből. Szemmel látható különbség: az osztódó sejtek sokkal világosabbak. Ez persze nem meglepő. Ha például megvágom magam, azután megnézem azt az anyagot, ami kezdi kitölteni a sebet, a primitív sejtek kocsonyás halmaza; ha akarom, kitörölhetem őket. Minden tulajdonságuk megvan, ami az ősállapotban — oxigén és fény hiányában — megvolt. Vagyis azt mondhatjuk, hogy az osztódás előtt a sejtnek el kell folyósodnia. Mindenki tudja, hogy az osztódó sejt lebontja a magvát, mert azokkal a nagy struktúrákkal nem lehet osztódni, azokat nem tudja szálítani. A sejtosztódás egy teljes átrendeződés, amihez folyékony halmazállapot kell. A mag 12 vagy 24 kis kromoszómára megy szét, a mitokondriumok eltűnnek. A folyamat azonban itt nem állhat meg, az osztódás befejezésével vissza kell állnia a nyugalmi állapotnak. Ha ez valamilyen oknál fogva nem következik be, akkor baj van. A rák nem más, mint egy sejt, amely osztódik akkor is, amikor nincs rá szükség.

Most akkor az ember tovább spekulál. A rák rettenetesen sok szenvedést okoz. Egyedül az Egyesült Államokban évente 300 000 ember hal meg rákban. De megint bizonyítani kell, amit mondok. A rákos sejt osztódó sejt, az osztódó sejt ősállapotbeli sejt, az ősállapotban nem voltak karbonilok, mert nem volt oxigén, tehát nem volt vezeték,

nem volt szín. Hogy megállapítsuk, hogy ezeknek a körülményeknek van e köze a rákhoz, össze kell hasonlítani egy rákos szövetet egy egészséggel, például egy májrakot egy májszövettel. Egy magyar kollégám, Wéber professzor Indiannapolisból ajándékozott nekem egy gyönyörű ráktörzset, parenchymás májrakos patkány. Ezt összezártam, kimostam belőle a vért, feloldottam egy kis lauryl-szulfáttal. Az eredményül kapott vizes oldat jóval világosabb volt, mint az egészséges szövetből készült oldat. Ha a szint valóban a karbonilok csinálják, akkor karbonil hozzáadása után a rákos oldatnak is színessé kell válnia! Ez valóban bekövetkezik. A megszínesedett szuszpenzió már „nem rákos”, csak rá kell nézni, és látja az ember, hogy „meggyógyult”.

Nagyon egyszerű az egész. Olyan szépen egyeznek a dolgok, hogy azt hiszem, a tévedés kizárt. Kiderült, hogy a rák egyszerű dolog: nincs benne dikarbonil, nem tud színesedni. Hozzátesszük a dikarbonilt — színes lesz, nem tud osztódni tovább.

Most mi a teendő? Mivel a folyamatnak lehet különböző dikarbonilja, ezeket kell izolálni és aztán szintetizálni. Akkor azután az ember reggel beletesz a kávéjába ebből, és akkor nem kap rákot. Különbözőben minden nőnek elég nagy kilátása van az emlőrákra — férfiaknak is megvan a maguk áldása a prostatával —, egyelőre azonban ezekkel még nem tudunk dolgozni, mivel az izolálás nagyon nehéz feladat, a kromatográfiás rendszerek még nem elég specifikusak. A legutóbbi időkben kidolgozott több ezer atmoszférás nyomású kromatográfiás eljárások azonban nagymértékben megkönnyítik az izolációt. Nekünk is van egy ilyen berendezésünk, így teljes gőzzel dolgozunk a speciális dikarbonilok izolálásán.

Addig is az ember szeretne valamit csinálni ezzel a problémával. Levesz például a polcra egy egyszerű dikarbonilt, mint a metilglioxál, és megnézi, csinál-e valamit. Mint kiderült, ez gátolja a rák fejlődését. Az állatok ivóvizébe téve nagyrészt meg is előzheti a kifejlődést. Úgy tűnik, a legnagyobb optimizmusra van okunk. Persze itt még nagyon sok munkát kell végezni az említett specifikusságok miatt.

IV.

Nagyon leegyszerűsítve azt mondtuk, hogy a biológiai reakció rendkívül érzékeny finomsága dikarbonilokkal, telítetlen aldehidekkel magyarázható. Ha az eddig elmondottak igazak, akkor egészen biztos, hogy az agynak egy különleges dikarbonilja kell, hogy legyen, hiszen az agy talán a legérzékenyebb struktúrája a szervezetnek. Ha az ember az agyműködést nézi és egy computerrel hasonlítja össze, akkor azt várjuk, hogy az agynak egy igen bonyolult vezetékhalózzal kell rendelkeznie. Valóban, ha az ember megnézi egy agysejtet, akkor egy bonyolult fibrillum hálózatot lát. A mi felfogásunk szerint ezt a hálózatot már nem mole-

kulák alkotják, hanem a proteinek és specifikus karbonilek töltésátvitellel kialakult komplexei, vagyis szabad gyökök. Eddig senki sem mert szabad gyökre gondolni, mert azt mondták, hogy ezek nagyon érzékenyek. Hamar felvesznek elektront ott is, ahol nem kellene. Azonban a proteinek és karbonilek ilyen komplexe már együttesen elektromosan semleges, tehát össze-vissza nem vesz fel töltéseket. Ha ez mind igaz, amiről beszélek, akkor ezekből vezeték lehet csinálni, amik vezethetik az ingerületet. Eddig ez a kérdés szóba sem jöhetett, mivel a proteinek nem tekintették vezetőnek. Egy specifikus karbonil a proteinnel elkészítheti ezt a vezetékhalozatot. A keresett vegyület meg is találtuk. Ha ezt magára hagyjuk, akkor igen finom hálózatban kristályosodik. Az ember szinte látja, hogy ezek a szálak hozzáfekszenek a fibrinmokhoz, azokból vezető drótot csinálva. Ez megmagyarázhatja az agy működését. Így út nyíthat az agy funkciójának igazi megvizsgálására. Nem biztos, hogy ez valóban ilyen egyszerű. Lehetséges, hogy ezek a társulások a tanulás folyamata alatt alakulnak ki.

Tetszik látni, hogy milyen borzasztóan bonyolult és elvont kérdéseket lehet megközelíteni azzal, hogy az ember nagyon szerény és egyszerűen megpróbálja az életet megérteni. Eddig teljes csődöt mondott a rákkutatás, mert mindenki a rákot

próbálta megoldani, a rákot próbálta meggyógyítani. Ez nem ment. A megközelítés egyetlen módja: lefűrni mélyre, a természet alapjához. Ha megértettük, hogy ott hogyan függnek össze a dolgok, akkor feljöhethetünk, és akkor a rák már egyszerűbbnek látszik; lehetőség nyílik a gyógyításra és a megértésre.

A tudás és a megértés vágya elvihet oda, ahová a sikervágy sohasem tudna elvezetni. A kieroszakolt rövidzárlat a tudományban csak a bukás felé vezethet. A megismerés felé mindig csak fűrni, fűrni, fűrni kell, még hozzá nagy türelemmel és odaadással, és akkor az embert elérheti a megértés sugara, ami a tudós munkájának egyetlen igazi jutalma. Azt sem pénzzel, sem diplomával, sem köszönettel, sem semmivel nem lehet megfizetni, az önmagát fizeti meg. A jól végzett munka egy olyan felemelő érzés — különösen az alkotó munka —, hogy azzal az ember bőven meg van fizetve.

Köszönöm a kedves érdeklődést, türelmüket, a nagy szeretetet, ami az eső dacára idehozta magukat. Mégegyszer ismétlem, amit az elején mondtam: ha szimpátiával követik az én utamat, ez a szimpátia nem egyoldalú. Én mindig ugyanazzal a szeretettel figyelem az egész magyar ifjúságot, mint amikor itt a Trefort-szobor mögött együtt labdázunk.

A NEUTRON ELEKTROMOS ÉS MÁGNESES DIPÓLMOMENTUMA

I. Bevezetés

Purcell és Ramsey [1] hívta fel a figyelmet 1950-ben arra, hogy azokat a tisztán elméleti jellegű paritásérveket, amelyek kizárják a részecskék és a magok elektromos dipólmomentumának létezését, kísérleti úton kellene igazolni. Ebből a célból Smith, Purcell és Ramsey [2] egy mágneses rezonancia berendezést alkalmazott a neutron elektromos dipólmomentumának észlelésére, és arra a következtetésre jutott, hogy e momentum és a proton töltésének hányadosa μ_e/e kísérletileg kisebb, mint 5×10^{-20} cm. Később, Lee és Yang [3], valamint Wu és mások [4] munkájából világossá vált, hogy a paritásmegmaradás feltételezése nem tartható, de Landau [5] és mások megmutatták, hogy az elektromos dipólmomentumot kizáró paritásos megfontolások a T-invariancián alapuló megfontolásokkal helyettesíthetők. Ramsey [6] ekkor annak a meggyőződésének adott hangot, hogy az időtükrözési invariancia éppúgy csak feltételezés, mint korábban a paritásmegmaradás volt, és azt kísérletileg kell igazolni. 1964-ben Christenson, Cronin, Fitch és Turlay [7] felfedezte a K_L^0 két töltött pionra történő

Norman F. Ramsey

Harvard University, Cambridge, Massachusetts

CP-sértő bomlását, amely határozottan a T-invariancia sérülését sugallta.

Azóta elméleti jóslatok egész sora [8] látott napvilágot a nukleon elektromos dipólmomentumával kapcsolatban azoknak az elméleteknek az alapján, amelyek a K_L^0 bomlás magyarázatára születtek. Bár a különböző jóslatok meglehetősen tág értékhatárok között mozognak, a legtöbb 10^{-22} cm vagy annál nagyobb μ_e/e értékre vezet; még olyan elmélet is van, amely 10^{-19} cm értéket jósol. Mivel a feltételezett értékek nagy része kísérletileg ellenőrizhető, különböző kísérletek kezdődtek a neutron dipólmomentumának mérésére (Baird, Dress, Miller, Ramsey [9], [10], [13], [14]; Nathan és Shull [15], Cohen, Lipworth, Silsbee és Ramsey [12], Smith és Pendlebury [15], Apostolescu, Ionescu, Ionescu—Bujor, Meiters és Petrosco [16]). A különböző kísérletekből adódó határokat az 1. ábrán láthatjuk. A legnagyobb érzékenységet Dress, Miller, Ramsey és Baird kísérletei [9], [10], [13], [14], [15] érték el; utoljára publikált kísérletük [13] minden, eddig leírt kísérlet közül a legérzékenyebb. Ez a kísérlet egy 80 m/s-os neutronnyaláb mágneses rezonanciájának tanulmányozásán alapult és 10^{-23} cm-es felső határt adott a μ_e/e értékére. Ennek az Oak Ridge-i kísérletnek a végére világossá vált, hogy 100 m/s körüli neutronokra a mérési pontosság további