

Csurgay Árpád István

*A kvantumelektrodinamika növekvő szerepe az  
információs technológiában és a bionikában*

1.

Pázmány Péter bihorostra, egyetemünk alapítójára, a magyar nyelv és a nemzeti kultúra 17. századi apostolára emlékezünk. Ő „a természetbe oltott okosságnak, a világ szép, értékes renddel való alkotásának”<sup>1</sup> megismerését, az arisztotelészi *φυσικη-τ,* a „*hber natura*”-t, az egyetemes kultúra alapvető részének tekintette. Az információs technológiát és bionikát művelő mernököknek az élettelen és élő természet „könyveiben” egyre mélyebben kell eligazodniuk.

Az emberiség történetében először vannak eszközeink, mikroszkópjaink és szerszámaink, amelyekkel bepillanthatunk a molekulák világába, és a növényekhez hasonlóan atomokból gépeket szerelhetünk össze. Az új transzisztorok mérete akkora, mint egy vírus. Mikrohullámú, infravörös, ultrahőlyra és röntgen fotonok segítségével újszerű mikroszkópokat építhetünk, az atomerő mikroszkópok és a pásztázó alagút-mikroszkópok pedig láthatóvá teszik az atomok és molekulák világát. A fotonoskórozók és elektronoskórozók érzékelőkkénti alkalmazása pedig új elven működő mikroszkópia lehetőségeit nyitja meg.

A fenti technikák nemcsak azt teszik lehetővé, hogy láthatóvá tegyünk az atomok és molekulák világát, hanem azt is, hogy atomokból és molekulákból mestereséges szerkezeteket, „gépeket” építsünk.

A processzorok komplexitása 50 év alatt 12 nagyságrenddel megnőtt. A korábban kilobyte és kiloflop erőforrás helyett most petabyte és petaflop áll rendelkezésünkre. Ez az erőforrás visszahat magánuk a fizikának, de különösen a fizika mértéki alkalmazásainak lehetőségeire is. A numerikus szimulációk és animációk új kapcsolatot építenek a fizika két – egyébként egymásra utalt oldala – a valóság verbális-képi elbeszélése és az absztrakt matematikai modellezés között.

2.

Ha körülnézünk a természetben gyönyörű tárgyakat látunk: virágokat, leveleket, kristályokat. Ha azt kérdezzük, hogy miért oly szép egy virág vagy egy gyémántkristály, a válasz az, hogy azért, mert a természet „önszerveződéssel”, a fizika törvényeit követve

<sup>1</sup> Pázmány Péter, *Kalauz*, Pozsony, 1613.

építette ilyen szépenek. Például a gyémántkristály azért olyan, mint amilyen, mert az öt alkotó szénatomok pontosan egyformák, és működnek a kvantummechanika törvényei. A gyémánt azért oly szép, mert az öt alkotó szén-atomok megkülönböztethetetlenül egyformák.

De miért egyformák a szénatomok? A fizika válasza: azért mert a szénatomokat alkotó valamennyi elektron és atommag megkülönböztethetetlenül egyforma. De miért egyformák minden szénatom atommagja? A válasz: azért, mert az őket alkotó protonok és neutronok mind megkülönböztethetetlenül egyformák, és persze működnek a kvantumfizika megfelelő törvényei. Ha tovább kérdezzük: miért egyforma (megkülönböztethetetlenül) az Univerzum minden egyes elektrója, protonja és neutronja?

Azért, tanítja a modern fizika, mert valamennyien ugyanannak az egész egységese Univerzumot betöltő vibráló és homogén kvantumtérmek szinguláritásai, és érvényesülnek a kvantum-térelmélet törvényei. Megjegyezzük, hogy a kvantumtérelmélet törvényeiből logikai úton levezethetők a kvantumelektrodinamika és a kvantummechanika törvényei, amikből viszont levezethetők a közelítő leírást adó klasszikus fizika törvényei. Ha tovább kérdezzük, hogy miért éppen olyan a kvantumtér, mint amilyenek lettünk, akkor azt kell mondanunk, hogy azért, mert nem tudunk olyan fizikai kísérletről, ami ellentmondana e feltevésnek.

A kvantumtérelmélet tehát a tapasztalatok összességét összegzi, legalábbis abban az energia-tartományban, amelyben mérések voltak végezhetőek. Ez nagyon kis energiától a GeV-okig tartó energiatartományt jelenti, és ilyenkor mindig az összes korábbi kísérletre is figyelemmel vagyunk.<sup>2</sup>

3.

A mélyen lehűtött anyagok kristályos szerkezetűek. Ha növeljük a hőmérsékletet (illetve a részek közötti kölcsönhatási energiát), az anyag szerkezete megváltozik, folyékonnyá, majd gázzá neművé válik. A molekulák stabilitása (azaz létezése) is csak egy hőmérsékletértéktől áll fenn, tovább növelve a hőmérsékletet, a molekulák atomokra esnek szét, még tovább növelve az energiát, az atomokról leválnak az elektronok, így atommagokból és elektronokból álló plazma állapotba kerül az anyag. Tovább növelve az energiát, az atommagok protonokra és neutronokra bomlanak szét, majd a protonok és neutronok kvarkokra és gluonokra. A makromolekulák, így az élőlények stabilitásának hőmérséklettartománya nagyon szűk, sem felmelegítve, sem lehűtve nem életképesek.

Az anyag egyes szerkezeteinek stabilitás-tartományát Viktor Weisskopf nyomán *kvantumléptékek*<sup>3</sup> nevezzük. A fizika mindig és mindenütt érvényes alapfolyányai a kvantumléptékek egy-egy lépcsőjében sajátos formában érvényesülnek.

Az információs technológia és a bionika eszközei és rendszerei is csak a kvantumléptékek egy tartományában érvényesülhetnek, és működésüket legaláltalánosabban a

<sup>2</sup> COHEN-TANNOUDI C, DUPONT-ROE J, GRYNBERG G, *Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics*, Wiley-Interscience, 1989.

<sup>3</sup> WEISSKOPF V, *Of Atoms, Mountains, and Stars. A Study in Qualitative Physics*, Science, 1975, 605-612.

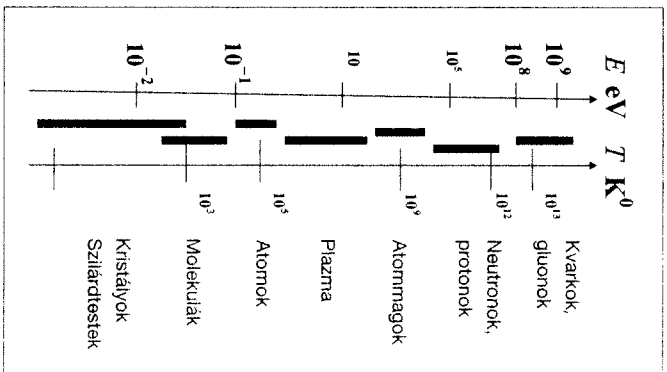
A kvantumelektrodinamika növekvő szerepe ...

Kvantumelektrodinamika (QED) törvényei határozzák meg. (A gravitáció az elektromágneses kölcsönhatás mellett az anyag belsejében elhanyagolható). Az anyagudományban az „ab initio” számítások a QED-re épülnek. A QED-n belül pedig minden jelenség vizsgálható egy alapjelenségre: „töltés forrás bocsát ki illetve töltés forrás abszorbeál”, azaz  $e \leftrightarrow e^* + \hbar\omega$  ahol  $e^*$  a megváltozott energiájú töltést szimbolizálja, pedig az abszorbeál vagy emittált forrás.<sup>4</sup>

Annak ellenére, hogy minden fizikai, kémiai, biológiai jelenség mögött a melyben ez a meghatározó kölcsönhatás húzódik meg, a természet e tényt hosszú ideig elrejtette az ember elől. Az elektront, mint alapvető töltéshordozót csak 1897 óta ismerjük, a forrás létezéséről is csak 1900 óta tudunk. Minden ember mindennap látta, mégsem vette észre. A tárgyak semlegesnek tűntek, mert a bennük lévő negatív és pozitív elektromos töltés pontosan semlegesítette egymást. Pedig ma már tudjuk, hogy a töltés-megmaradás és az energia-megmaradás az Univerzumban a 13,6 milliárd évvel ezelőtti Big Bang óta fennáll.

Az elektron és proton közötti ható Coulomb erő 40 nagyságrenddel nagyobb, mint a közöttük ható gravitációs erő. Az elektromos erő szer nagyobb. Az azonos előjelű töltések óriási 10-40 erővel taszítják, a különböző előjelűek vonzzák egymást, ezért ha csak a Coulomb és a gravitációs erők határoznák meg az anyagok szerkezetét, csak semleges testek lehetnének egyensúlyi állapotban, de ezek is csak instabil egyensúlyban.

Rögtön felmerül a kérdés, ha ilyen óriási vonzó erő hat az elektron és a proton között, miért nem zuhan az elektron az atommagba? És miért nem robban fel egy több protonból álló atommag, hiszen a protonok óriási erővel taszítják egymást? E két hétköznapi jelenség rámutat arra, hogy a klasszikus fizika miért nem tud számot adni a létező anyagról. Az elektron ugyanis azért nem zuhan az atommagba, mert „természetesen nem klasszikus, korpuszkula-hullám kettős természetű a kvantumfizika törvényei határozzák meg. Az atommag pedig azért nem robban fel, mert m-en belül az anyagban már magterők (nukleáris erők) is vannak. 10-15 amolyan sokkal nagyobb erővel tartják össze az atommagokat, mint a klasszikus fizika hatalmas tasztó erői. Ezért az atomenergia felszabadításához a protonokat el kell távolítani egymástól, hogy a Coulomb erők megszabadulva a magterők hatásától, szabadon kifejthessék tasztó hatásukat.



Kvantumlépték

<sup>4</sup> CSURGAV ÁRPÁD, SIMONYI KÁROLY, *Az informáciotechnika fizikai alapjai*, Bp., Mémoktatóközpont, 1997.

## 4.

Ma is sok mindent látunk, de nem látjuk mögötte a meghatározó okokat, nem tudjuk visszavezetni a mindent meghatározó egyszerű alapjelenségekre. Sok jelenség esetén nem értjük még az „ab initio” meggyarazatot. Sok olyan jelenség van, amit már régen ismerünk, de nem régen látjuk mögöttük az igazi alapjelenségeket, a rejtőzködő QED-t. Például régen látjuk, hogy egyes semleges testek összetapadnak.

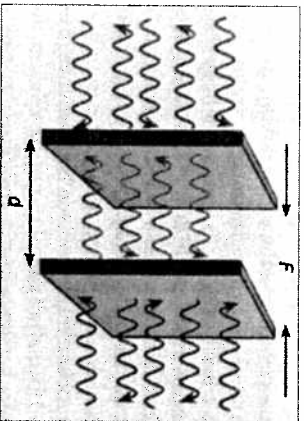
A kolloid kémikusok például régen tudják, hogy a paranyi fémes részecskék semlegességük ellenére összetapadnak. Semleges molekulák közöttis hathatnak az úgynevezett van der Waals erők.

Azt tudjuk, hogy az egyik semleges atom vagy molekula a másik semleges jelenlétében dipólust alkot. A dipólus (+) oldala vonzza a másik dipólus (-) oldalát, így a molekulák vonzzák egymást. De amikor két egyforma molekula találkozik és kialakítják a dipólusokat, melyik lesz pozitív és melyik negatív? Mekkora lesz a közöttük ható erő? A QED szerint mindkét molekula kvantum-szuperpozícióban mindkét végén +/- lesz, és így lép fel a tapasztalt erős vonzóerő.<sup>5</sup>

Mi történik, ha két semleges molekula helyett két semleges fémdarabot vizsgálunk? Hendrik Casimir holland fizikus a QED által megjósolt vácuum fluktuációból kinndulva 1948-ban kiszámolta, hogy két fémtükör alkotva üregezonátort esetén a tükrök távolsága megycdik hatványával fordítottan arányos vonzó erő hat a  $h c/d = \text{két tükrök között (Casimir-erő)}$ :

$$F = \frac{\pi h c}{480 d^2},$$

ahol  $d$  a tükrök felülete,  $d$  a távolsága,  $F$  a tükrök között ható erő. Ha a tükrök  $d$  távolsága 10 nm, akkor a két tükrök között fellépő nyomás eléri az 1 atmoszférát. Ha  $< 10$  nm, akkor a Casimir-erő a természetben található legnagyobb, semleges testek között fellépő erő.<sup>6</sup>



A Casimir-erő

A kísérletek igazolták a vákuum-fluktuációt, és a természetben is találhatunk olyan állapotot, amely ezt a jelenséget alkalmazva szaladgál a fálón és a plafonon. A QED által megjósolt vákuum fluktuáció mindenütt jelen van. Elektromágneses tér, melyben a térerősség várható értéke ugyan nulla, de a térerősségek abszolútértéke négyzetének várható értékei nem nullák, energiasűrűség van jelen, így üres vákuum nincs. Még akkor sincs, ha a fotonok száma nulla.

<sup>5</sup> PARSBEGIAN VA, VAN DER WAALS, *Forces: A Handbook for Biologists, Chemists, Engineers and Physicists*, Cambridge Univ. Press, 2006.

<sup>6</sup> MILLONI PW, *The Quantum Vacuum – An Introduction to Quantum Electrodynamics*, Academic Press, 1994.

A kvantumelektrodinamika növekvő szerepe ...

Egy másik példa. Az ornitológusok jól ismerik azt a közel 50 állatfajt madarakat, hüllőket, bogarakat, melyek a Föld igen gyenge mágneses terét (30–60 mikrotésla) érzékelve különösen tájékozódhatnak. Hogyan működik az állatok iránytűje? A vándormadarakat különösen sokan tanulmányozták. Látjuk az tájékozódó képességet, de a működést biztosító biofizikai mechanizmusokról keveset tudunk. A Föld mágneses tere in vitro gyenge ahhoz, hogy egy kémiai reakciókra közvetlen hatást gyakoroljon. A napjainkban folyó kutatások arra utalnak, hogy molekuláris szintű QED kölcsönhatás adhatja meg a magyarázatot. Nem régen mutattak be egy fotokémiai molekula-iránytűt, amely egy carotenoid (C)-porphyrin (P)-fullerene (F) komplex.<sup>7</sup> Nincs teljeskörűen megfejtve a egyes növények és algák rendkívüli hatásfokú fotoszintézise sem, bár a napjainkban folyó QED kutatások elfogadható magyarázatot ígérnek.<sup>8</sup>

## 5.

A kvantum-elektrodinamika szerepe egyre nagyobb az információk technológiájában, de különösen a honlankában.

Korunk természetudományos világképeinek alapját a kvantumtér elvet alkotják.<sup>9</sup> Az *anyagát részecské* az energiát és impulzust hordozó kvantummező (tér) szingularitása. Az ugyanis, hogy a valóság egymástól függetlenül létező testekre mindig elkülöníthető, csak látszat, pontosabban csak a teljes való egy közelítő leírása, ami sok esetben igen jó közelítés, fontos esetekben azonban nem. Ha két részecske különállónak tűnik is, az nem jelenti azt, hogy ők már nem ugyanannak a fizikai objektumnak az elemei, részecsei.

„A Természet a lehető leghosszabb fonálból szövi alakzatait. A szövet egy kis darabkájából az egészre tudunk következtetni” – tanítja Richard Feynman. Plauzibilisse is próbálja ezt tenni a hologram-hasonlatral: „Hologramot már szinte mindenki látott. A látszat tökéletes három-dimenziós tárgy. Körül lehet járni, mint egy valóságos tárgy. Ha egy vízsepp holografikus képét mikroszkóppal nézzük, látni fogjuk a mikrooptizmusokat is, amelyek az eredeti cseppben találhatók. Ha a holografikus negatívot darabokra tépjük és a lézerral csak az egyik darabot világítjuk meg, akkor nem a tárgy egy részét, hanem ez esetben is a tárgy egészét pillanthatjuk meg a hologramban.”

<sup>7</sup> ENIK GAUGER et al., *Quantum coherence and entanglement in the avian compass*, arXiv: 80906.3725v3, [2009. szeptember 30.]

<sup>8</sup> GREGORY S. ENGBEL et al., *Evidence for wave-like energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems*, Nature, 2007, 782–785.

<sup>9</sup> HARRIS, EG, *A Pedestrian Approach to Quantum Field Theory*, Wiley-Interscience, 1985.

### Záró gondolatok

Egyre több olyan gép, szerkezet és műszer készül, amelynek működésében meghatározó szerepet kap az összefont kvantum-állapot valamint a fotonok és az atomok-molekulák kölcsönhatása. Ezek a jelenségek a szép és izgalmas kvantum-elektrodinamika törvényeinek engedelmeskednek. A QED a „természetbe oltott okosság”, a világ „ékes renddel való alkotása”, melynek megismerése egy tehetséges fiatal mérnök számára örömteli intellektuális elmény és igen hasznos feladat.