Evolúció: a tudományos elmélet [2]

A sorozat összefoglalása [3]

Ld. az előző előadást

Bevezetés

A mostani alkalommal az evolúció-elmélettel mint tudományos elmélettel szeretnék foglalkozni. Az előadáshoz néhány megszorítást kell tennem, hiszen enélkül érthetetlen lesz néhány dolog.

- Az előadás – szándékom szerint – természettudományos ismeretterjesztés. Ebben nem teszek metafizikai/filozófiai/teológiai kitekintéseket. Teszem ezt azért, hogy bemutassam, mit jelent önmagában az evolúció-elmélet mint *világkép*, de nem *világnézet*.
- Miért nem hívtunk szakembert? Tulajdonképpen azért nem, mert nincs. Aki szakember, az általában valamilyen részterület tudósa, így aránytalanul nagy lenne esetleg a szakterülete aránya a többihez képest. Viszont ebből következik egy másik dolog: amit én elmondok, annak bárki utánanézhetett volna, a megfelelő források felhasználásával bárki megtarthatná ezt az előadást.
- A természettudományos ismeretterjesztés során sokszor elhangzó kifejezés, „a természettudomány mai álláspontja szerint" itt – és általában mindenhol – úgy értendő, hogy az evolúciós paradigmában gondolkodó természettudósok többségi véleménye. Azért fontos ezt hangsúlyozni, mert nem mindenki gondolkozik az evolúciós paradigmában, és természettudós (erről szól majd a 4. és 5. előadás), míg az evolúciós paradigmán belül is léteznek irányzatok, amiket tudós kisebbségek képviselnek.
- Fontos különbséget tenni az *evolúció* és az *evolúció-elmélet* kifejezések között. Az evolúció egy, a természetben megfigyelhető (vagy nem megfigyelhető) jelenségre utal, ezzel szemben az evolúció-elmélet magát azt a tudományos konstrukciót jelöli, amely értelmezi, magyarázza magát a természeti folyamatot.
- Miért fontos ez a kérdés? Azt szeretnénk, hogy mindenki megértse az evolúció-elméletet, és ne csak több évtizedes, lejárt és leegyszerűsített információk alapján ítélkezzen ebben a kérdésben.

Mi az evolúció? [4]

Az evolúció kifejezés egy latin szóból ered, elsődleges jelentése egy könyvtekercs kibontását, olvasását jelenti.[1] Maga a kifejezés a mai értelemben elsődlegesen „fejlődést" jelent. Ha evolúcióról beszélünk, akkor azt általában a biológiai evolúció értelmében használják. Ugyanakkor az evolúciós paradigma jóval túlnyúlik a biológia területén: az egyszerűbb részekből a bonyolultabb felé ívelő fejlődés egészét írja le.

- Az evolúciós paradigmában az anyag építőköveit a *fizika* és a *kozmológia* „szállítja", erre épül a
- *kémia*, amelyben az egyes elemek (atomok) vegyületekké épülnek fel. Az itt leírható kémiai reakciók azok, amelyek lejátszódnak
- a *biológiai* rendszerekben, az élő szervezetekben. Az élő szervezetek sajátos szerveződésénél fogva a tudatosság és a nyelv kialakulásával
- a *pszichológia* területére jutunk. A pszichológia írja le azokat a lélektani folyamatokat, amelyeket megélünk – legyen szó állati vagy emberi pszichológiáról. Az egyes emberek viszont
- csoportokba, társadalmakba szerveződnek. Az itt lejátszódó folyamatokat a *szociológia* írja le. (Most ide nem véve pl. a rovartársadalmakat; emberi társadalmakról, csoportokról beszélek. Az állati viselkedés magasabb szintű szerveződésének eseteivel elsődlegesen az etológia foglalkozik. Vita tárgya, hogy az állati csoportok és társadalmak tagjai mennyire tudatosak, valószínűleg ebben a piramisban inkább a biológia szintjén kéne elhelyezni.)

Jól lehet látni, hogy a felvázolt evolúciós paradigma, gondolkodás alulról-felfelé építkező rendszerű. Minden esetben a magasabb szinten levő folyamatokat az alacsonyabb szintű folyamatok hátterén magyarázhatjuk. Ez persze nem jelent semmilyen értelemben sem fontossági sorrendet, így sem a fizika, sem a szociológia nem fontosabb a másiknál, csak más szeletét vizsgálja világunknak. Ebben a szemléletben tehát a mozgatórugó nem kívülről jelenik meg, hanem egy bonyolultabb struktúra létrejötte egyszerűen az „alsóbb szintek" törvényszerűségeinek lesz következménye; és ezért egy-egy első látásra megmagyarázhatatlanul bonyolult eset az alacsonyabb szintek törvényeivel értelmezhető/ értelmezendő.

Miről lesz szó? [5]

Természetesen azt nem vállalhatom magamra, hogy az evolúciós paradigmát a teljes egészében bemutassam, de arra igen, hogy a főbb jellegzetességeit felvázoljam. Nagyjából az alsó négy lépcsőfok alapján röviden érinteni fogom

- a kozmológiát és a részecske-fizikát (Hogyan jött létre az anyag?),
- a prebiotikus kémiát (Hogyan jött létre az élő rendszer?),
- a biológiai evolúció-elmélet egy nagyon élvonalbeli részét, az *evo-devo*-t, azaz az

1 Lásd Fazekas György – Szerényi Gábor: Biológia, II. kötet, Scolar Kiadó, Budapest, 2002, 405. o.

egyedfejlődés evolúcióját (Hogyan fejlődnek egyre bonyolultabbá az élőlények?), végül
- az ember törzsfejlődését (Hogyan keletkezett az ember?).

Mindez hatalmas időszakot fog át, így az egyes részek áttekintésénél *Carl Sagan kozmikus naptárát*[2] [6] hívtam segítségül (melyben a Nagy Bummtól napjainkig eltelt időt 1 évként jeleníti meg), hogy könnyebben átláthassuk, hol is tartunk éppen.

A világ kezdetét kb. 13,7 milliárd évvel ezelőttre teszik a tudósok. Ha ez január 1-ének felel meg, akkor a kozmológiai eseményeket a Föld kialakulásáig (ami kb. 4,5 milliárd évvel ezelőtt volt) eltelt időt szeptember 14-re tehetjük.[3]

[Bevezető kérdés: Miért jó játék a LEGO?]

Amikor a világ keletkezéséről kezdünk beszélni, természettudományos szempontból nagyon fontos, hogy mérhetővé tegyük a méreteket. Az itt használt méretek meglehetősen unalmasnak hatnak az átlagembernek, hacsak nem tesszük valamilyen szempontból érzékelhetőnek. Ezért néhány kérdést teszek fel, és tippeket várok [7]:

- *Milyen messze van a világűr?* 100 km, ez nagyjából 1 óra vonat vagy autóútnak (kb. a Bp–Szolnok) felel meg.
- *Milyen messze van a Hold?* A közepes távolság 384 000 km. Ezt a távolságot kb. 3 nap alatt tették meg 40 évvel ezelőtt az Apollo-11 űrhajósai, akik először a Holdra léptek. Autóval ez 100 km/órás átlagsebesség mellett kb. 160 napig tartana, azaz több, mint 5 hónapig. Ugyanez a távolság a fénynek alig több, mint 1 másodpercig tartana (a fény sebessége kb. 300 000 km/s). (Ugyanennyi idő alatt 7 és félszer kerülné körbe a Földet az Egyenlítőnél.)
- *Milyen messze van a Nap?* A közepes távolság 150 millió km. Míg a Holdig alig több, mint 1 s alatt eljut a fény, addig a Napból a fény kb. 8 és fél perc alatt jut el a fény a Földre. Ha a Nap valami oknál fogva egyszer csak kialudna, akkor több, mint fél negyed óra múlva vennénk csak észre azt, hogy mekkora bajban vagyunk! (A Nap-Föld távolság az ún. Csillagászati Egység (CSE), ami a Naprendszeren belüli távolságok felbecsüléséhez segítség.)
- *Mekkora a Naprendszer?* Ha a Naprendszer vége a Plútó bolygó lenne, akkor az 39,5 CSE távolságra található. A Napból származó fény több mint 5 és fél órát utazik, mire eléri a Plútót. A Naprendszerbe látogató, ún. nagy periódusú üstökösök az Oort-felhőből származnak, amit 1950-ben fedezett fel Jan Hendrik Oort, és ami kb. 50-100 000 CSE távolságra helyezkedik el.
- *Milyen messze van a legközelebbi csillag? (Proxima Centauri)* Ez a csillag 4×10^{13} km távolságra van. Mit is jelent ez? 270 000-szer távolabb van, mint a Nap. (270 000 CSE távolságra.) Ezeknél a távolságoknál már szükséges bevezetni egy új mértékegységet, a *fényévet*. A fényév azt a *távolságot* jelöli, amit a fény egy év alatt

2 http://visav.phys.uvic.ca/~babul/AstroCourses/P303/BB-slide.htm

3 Két jelentősebb dátum: a Tejútrendszer kialakulása május 1, a Naprendszer szeptember 9-re datálható.

megtesz. A Proxima Centauri esetén a fénynek 4,22 évre van szüksége, hogy ideérjen, azaz 4,22 fényév távolságra van. (A ma épített leggyorsabb űreszköz, a Helios-2 számára ez a távolság végsebesség mellett is kb. 17 000 évig tartana!)
- *Mekkora a galaxisunk? (A Tejútrendszer)* Kb. 200 milliárd csillagból áll, belső korongjának az átmérője 15 000 fényév, spirálkarjai 75 000 fényév távolságra nyúlnak ki, a koronghoz tartozó öreg csillagok és csillaghalmazok alkotta háló kb. 150 000 fényév átmérőjű.
- *Hol van a „világ vége"?* Jelenlegi ismereteink szerint elvileg 13,7 milliárd fényévnyi távolságra nézhetnénk el, azaz ilyen messzire jut el a fény azóta az idő óta, amióta ez a világegyetem keletkezett.

A Nagy Bumm bizonyítékai [8]

Laikusokban felmerülő kérdés: Honnan tudják a tudósok, hogy valóban volt egy „Nagy Bumm", amivel ez a világegyetem kezdődött? A válasz az, hogy bizonyos elméleti megfontolások és gyakorlati megfigyelések közösen támasztják alá a világegyetem keletkezésének ezt a leírását. Einstein relativitás-elméletének alapján egy belga pap, *Georges Henri Joseph Édouard Lemaître* vetette fel először 1931-ben az ősrobbanás ötletét. A bizonyítékok a következők:

- Az elemek gyakorisága az *ősi nukleoszintézisre* utal (első 3 perc)
- Kozmikus *mikrohullámú háttérsugárzás* (COBE, WMAP) (2,73 K; 160,4 GHz, [1,9 mm] mikrohullámú sugárzás.)
- *A világegyetem tágulása* – Doppler-effektus. (Doppler-effektusra példa: a vonatkürt; valóságban: a hidrogén atom színképében történt eltolódás.)

Elemi részek nyomában [9]

[A válasz, a „Miért jó játék a LEGO?" kérdésre.]

Azt keresve, hogy mi a világegyetemet alkotó anyag végső megjelenési formája, újabb és újabb szinten húzták meg az „elemi részek" világát. A kémia fejlődésével világossá vált, hogy a reakciókban mindössze 92 elem vesz részt (vö. periódusos rendszer). Ernest Rutherford 1911-ben publikálta saját atomelméletét, ami felváltotta a korábbi „mazsolás puding" atomelméletet. (A kísérletben aranyfóliát bombáztak alfa-részecskékkel, amik kis ezrelékben visszapattantak róla – azaz javarészt átjárható volt: → atommag + elektronfelhő.) Néhány évvel korábban, 1896-ban Henri Becquerel fedezte fel a radioaktív bomlást, aminek értelmezése során lett nyilvánvalóvá, hogy az atommag protonokból és neutronokból áll. Ehhez hozzásorolva az elektronfelhőt alkotó elektronokat és a fény elemi részét a fotont, megkapjuk azt a négyest, ami a mai átlagember számára az elemi részek világát jelenti.

Elemiek ezek a részek? A részecskefizikusok kísérletei nyomát tudhatjuk, hogy ezek még mindig nem a végső építőkövek. A részecskegyorsítókban például nagy sebességű protonnyalábokat ütköztetnek, és megfelelő berendezésekkel detektálva arra jöttek rá, hogy még a proton is további részecskékből áll: 3 kvarkból (up+up+down) és gluonkból,

amik összetartják ezt nagy energiájú a kölcsönhatást.

Az Univerzum története az Ősrobbanástól a csillagkorszakig[4] [10]

A természettudomány világképe szerint nem tudunk teljes mértékben visszanézni az ősrobbanás első pillanatáig. Az energia kvantált tulajdonságához hasonlóan az időről is hasonló képük van. E szerint az ősrobbanás első pillanatától kezdve a 10^{-34} s-ig[5] (Planck idő) nem tudnak semmit sem mondani.

Megítélésem szerint az „ősrobbanás" szó is egy kicsit félrevezető: nem úgy kell elképzelni, mintha egy raktárba pl. bedobtak volna egy kézigránátot, hanem egy olyan folyamatnak az elejét, ami előtt – természettudományos szempontból – nem volt semmi. Sem idő, sem tér.

Az ősrobbanás pillanatában még hihetetlenül kis helyen volt a mai világunk egésze. Ezt tartotta össze

- az ún. *szupererő*. A Planck idő eltelte után ez kettévált
- *gravitációs erőre* és *nagy egységes kölcsönhatásra*. A gravitáció különválásának az lett a természetszerű következménye, hogy a szinte pontszerű világegyetem hihetetlen mértékben felfúvódott és felmelegedett.
- A nagy egységes kölcsönhatásból kivált az *erős kölcsönhatás*, és maradt az *elektrongyenge kölcsönhatás*. Az erős kölcsönhatás megjelenésével lehetővé vált a mai közgondolkozásban eleminek mondott részecskék alkotóelemeinek a kialakulása és kapcsolódása (kvarkok, gluonok létrehozták az olyan részecskéket, mint a proton).
- Az elektrongyenge kölcsönhatás kettévált: *gyenge magerővé* (ami az atommagok összetartó erejének a kölcsönhatása) és *elektromágneses erővé* (ami az atommag körül keringő elektronok és az atommag közötti vonzó erő létrejöttét jelenti).

Röviden összefoglalva tehát, a részecskefizikusok szerint a kezdeti szuper erő hihetetlenül gyorsan különféle erőkre vált szét, hogy kialakuljon egyáltalán az az anyag, amit ma ismerünk. Ennek a kialakulásnak talán legérthetetlenebb része az ún. antianyag-anyag létezése, asszimmetriája. A világegyetemben található energiák alapjául az ún. annihiláció szolgált, ugyanis csaknem azonos mennyiségben keletkeztek az ősrobbanás után anyagi és antianyag részecskék. (Pl. elektron-pozitron.) Ezek párokat képeztek, és felbomlottak, és iszonyatos energiát sugároztak szét (az $E = mc^2$ képlet szerint) kb. 10^9 antianyag-részecskére jutott 1 anyagi részecskével több, amiből az általunk felfoghatatlan méretű világegyetem anyaga alakult ki.

A világegyetem első három percének történetéhez még az ún. nukleoszintézis is hozzá tartozik, ami alatt kialakult a világegyetem ma is ismert két fő alkotórészének a mennyisége és aránya: hidrogén és hélium.

Az első csillagok és galaxisok kb. 300 000 évvel az ősrobbanás után alakultak ki. Ezek az összecsomósodó gázfelhők tömörödésével és „begyulladásával" jöttek létre, miközben a

4 Részleteket lásd, pl. Ridpath, Ian: Csillagászat c. ismeretterjesztő munkájában.

5 Jól van na, a pontos érték: $5{,}39124(27)10^{-34}$ s Lásd: http://hu.wikipedia.org/wiki/Planck-id%C5%91

világegyetem továbbra is tágult és hűlt. A másik, számomra felfoghatatlan tény, hogy a fizikusok szerint a Nagy Bummot követő 300 000 évre a világegyetem 100 millió fényév nagyságúra fúvódik fel – annak ellenére, hogy elvileg a relativitás-elmélet szerint ez maximálisan 600 000 fényév átmérőjű gömb lehetne.

Csillagok: az atomok kohói [11]

Miután a legelső generációja a csillagoknak begyulladt, elindult az ún. magfúzió, és a még szélesebb körű nukleoszintézis. Ez azt jelenti, hogy az egymás mellé kerülő hidrogén és hélium akkora tömegvonzásnak volt kitéve, hogy egyre nagyobb rendszámú atomokat volt képes létrehozni.

Ezek a csillagok tömegüktől függően kiégésük után vagy összetöpörödnek, vagy felrobbannak. Ha ez utóbbi történik, akkor a nukleoszintézis során kialakított atomokat beszórják a csillagközi térbe, és a következő csillag és a hozzá tartozó bolygórendszerek már bonyolultabb felépítésű atomokból építhetik fel saját struktúrájukat.

A Naprendszer kialakulása [12]

Így történt ez a Naprendszerrel is. Az öregebb, felrobbant csillagközi por felhasználásával tömörödött össze, és indult meg a Nap nukleoszintézise. Ezzel párhuzamosan alakultak ki a bolygók is a csillagközi porból, ami már 92 atomot tartalmazott. (Innen származik az a látványos elnevezés, hogy a „csillagok gyermekei" vagyunk, hiszen a minket alkotó atomok más-más, azóta már felrobbant csillagokban fuzionált.)

A Naprendszer kb. 4,5 milliárd éves történetének első szakasza meglehetősen mozgalmas volt a bolygók kialakulása és az abba becsapódó üstökösök, kisbolygók miatt. A Hold is valószínűleg egy másik kisbolygó becsapódása következtében alakult ki, amely összeütközött a kialakuló Földdel. Az azt követő becsapódásokat pedig a Hold felszínén láthatjuk, aminek nincs légtere – így nem erodál a felszíne.

Hogyan lesz vége a világnak? [13]

- *A Naprendszer vége*: A Nap kb. 10 milliárd év alatt ég ki. Ebből kb. a fele elfogyott. Ez után a Nap felfúvódik vörös óriássá – majd összezsugorodik fehér törpévé. Ha a felfúvódás nem is teszi tönkre a földi életet, a fehér törpének az energiája semmiképpen sem lesz elegendő a fenntartásához.
- *A Tejútrendszer vége*: A Tejútrendszer és az Andromeda-galaxis egymáshoz közeledik, és egyes számítások szerint kb. 6 milliárd év múlva egymásba olvasztják a közepükön található fekete lyukat. Ez az ütközés azzal jár, hogy a galaxisokban található rendszerek felborulnak. Megjósolhatatlan, hogy mi történik ilyen helyzetben a Naprendszerrel. (A mellékelt képen az NGC 2207 és IC 2167 galaxisok (Nagy Kutya csillagképében látható) ütközése látható, a Hubble űrteleszkóp felvétele.)
- *A világegyetem vége*: a világegyetemben található anyag egy része nem látható, ugyanis nem világít (mint egy csillag) vagy nem esik rá a fény. Ezt hívják *sötét*

*anyag*nak. Elvi megfontolások és mérések után arra is rájöttek, hogy a világegyetemet széthúzó erők jóval nagyobbak, mint azt korábban hitték. Az így keletkező többletet *sötét energiá*nak hívják. De mi lesz ezek egymásra hatásának a végkifejlete?

- *„Nagy Reccs"* – ha a világegyetemet összehúzó gravitációs energia legyőzi a másik irányba ható sötét energiát, akkor egy idő után a világegyetem összezuhan. (Oszcilláló világegyetemek?)
- *„Nagy Fagy"* – ha a világegyetem erői ezt nem tudják megtenni, de nem is győzik le azt, akkor egy stabil állapot áll elő: végül minden kihűl.
- *„Nagy Szakadás"* – ha a világegyetem sötét erői szétszakítják a gravitációs erő adta energiát, a világegyetem darabjaira hull.

Pesszimista ez a kép? Nem, mert a folyamatokat csak leírja, és jóval nagyobb jövőt az az emberiségnek, mint az saját magának (vö. tömegpusztító fegyverek), és nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy „nem e világból való" megoldás szülessen.

Összefoglalva tehát a kozmológia a világegyetemet alkotó atomok létrehozásának leírását adja természettudományos módszerek alapján, azaz „LEGO"-t, amivel majd a kémia tovább építkezhet.

Kémiai evolúció [14]

A kozmológia érintése után ugorjunk a kémiai evolúció kérdéséhez. Itt arra a kérdésre keressük a választ, hogy hogyan szerveződik az anyag élővé?

Ha időben szeretnénk behatárolni [15], valahova szeptember 25. körülre kéne tenni ezt a pillanatot. Az evolúció-elmélet szakemberei nem tudják egészen pontosan meghatározni ezt, hiszen senki sem volt ott.

Ezt a meglehetősen bonyolult kérdést egy magyar tudós, *Gánti Tibor Chemoton-elmélete* nyomán szeretném bemutatni. [15] Gánti Tibor szerint elvi hibásak azok a megközelítések, amelyek elkülönült rendszerek kifejlődését várják, melyek később összekapcsolódhatnak. Szerinte az élet már a kezdet kezdetén meglehetősen bonyolult rendszerként állt elő.

Gánti legelőször is azt a kérdést teszi fel, hogy mit jelent az élet? Erre nem filozófiai választ ad, hanem azokat a konkrétumokat, amik alapján egy adott rendszerre azt mondhatjuk, hogy élő. Felosztása szerint az élet a következő kritériumokkal kell, hogy bírjon:

- Reális (abszolút) – szükséges.
  - *Inherens egység*, azaz nem a részek egyszerű összege, hanem annál több.
  - *Anyagcsere*: környezetéből szerzi a fenntartásához szükséges energiát, feldolgozás után távozik.
  - *Inherens stabilitás*: a külső környezet változásaitól – bizonyos keretek között – független stabil működés.

  - *Információ hordozó alrendszer*.
  - *Vezéreltség* – a benne levő folyamatok vezéreltsége.
- Potenciális – nem feltétlenül szükséges.
  - *Növekedés, szaporodás* (szaporodásra képtelen is élő).
  - *Evolúcióképesség:* generációk nagyon hosszú sorozatán keresztül összetettebb, fejlettebb, specializáltabb formák megjelenésének támogatása.
  - *Halandóság*.

Ezekre a kritériumokra azért van szükség, mert a kémiai evolúció legkorábbi kísérletei ennél jóval egyszerűbb kérdésre keresték a választ: spontán módon kialakulhatnak-e azok az elemi építőkövek, amikkel a biológiai rendszerek „dolgoznak".

A kémiai evolúció lépései [17]

A kémiai evolúció lényege, hogy bemutassa azt a folyamatot, ami az élethez feltétlenül szükséges, ún. biogén elemektől egészen az élő szervezetek alrendszereiig visznek el. Jelenlegi ismereteinek szerint a biogén elemekből kozmikus sugárzás hatására kialakulhatnak a kozmosz ősvegyületei (metán, formaldehid, víz, ammónia, cián-sav). Ezekből a vegyületekből – UV sugárzás hatására – egyszerű szerves molekulák jelennek meg az atmoszférában. Ezek olyan módon szerveződhetnek, hogy biológiai fontosságú szerves vegyületeket, szerves makromolekulákat és mikrostruktúrákat alkothatnak.

A Miller-Urey kísérlet. [18] 1922-ben egy szovjet biokémikus, Alexander Oparin vetette fel, hogy a Föld őslégköre nem volt azonos a maival, és ott spontán módon létrejöhettek az ősi légkörből az életműködéshez elengedhetetlenül szükséges anyagok. Ötlete nyomán 1953-ban végezte el híres kísérletét Stanley Miller és Harold Urey a Chicagoi Egyetemen. Az általuk kifejlesztett készülék modellezi az ősi Föld körülményeit: magát a készüléket pedig olyan alapvető anyagokkal töltötték fel, amiket az ősi Föld légkörében és környezetében feltételeznek, így: víz, metán (CH_4), ammónia (NH_3), hidrogén (H_2), szén-monoxid (CO). Meglepetésükre a 20 élettanilag legfontosabb aminosavból – alig pár napos működés után – 11 már összeállt a rendszerben, de e mellett cukrokat, lipideket is találtak.

A Chemoton-modell [19]

Ahogy azonban Gánti rámutatott: az élő rendszerek nem azonosak a rendszereik egyszerű összegzésével, így ez a kísérlet csak annyit tud bizonyítani, hogy ezek a biológiai építőkövek spontán módon is kialakulnak. Ha nem csak a részegységeket, hanem azok strukturális kapcsolatait is beleszámítjuk, akkor az egyszerű kémiai reakcióktól spontán módon eljuthatunk egy igen bonyolult kémiai szuperrendszerig, biológiai minimálrendszerig.

Az egyes, spontán módon lejátszódó kémiai reakciók reakciórendszerekké szerveződhetnek, így alakítva ki egy önreprodukáló kémiai motort, egy kémiai információs rendszert és egy kémiai határfelületi rendszert. Ezeket az alrendszereket egyetlen reakciórendszerbe szervezve jutunk el a Chemotonhoz.

A kémiai motor. [20] [Bevezető példa: vajon munka-e a súlyzó kitartása?] Az élő szervezetek működéséhez elengedhetetlenül fontos az őket működtető energia. Ez egy olyan körfolyamati reakció lesz, amely energiát képes termelni. Ezen túl termeli az adott rendszer számára elengedhetetlenül fontos alkotó részeket is. Biológusok számára teljesen ismert példa a Calvin-ciklus.

A határfelületi rendszer. [21] (Bevezető példa: szappanbuborék-fújás.) Az élőlények a környezetükkel valamilyen határfelületen keresztül tartják a kapcsolatot. Ennek legegyszerűbb módja, hogy ún. amfipatikus molekulákat hoz létre a reakciófolyamat. Az amfipatikus molekulák kettős szerepet „játszanak" el: egyszerre taszítják és vonzzák is a vízmolekulákat hidrofób (víztaszító) és hidrofil (vizet vonzó) részükkel (tulajdonképpen úgy működnek, ahogyan a mosószer). Megfelelő számban ezek a molekulák automatikusan határfelületi réteggé, sőt mikrogömböcskékké állnak össze, és az így kialakult, a környezettől bizonyos értelemben elzárt, védett belső térben különböző kémiai reakciók mehetnek végbe.

Az információs rendszer. [22] [Bevezető példa: számlák szortírozása színes dossziékba.] Az információs rendszer kialakulásának a kérdése komoly kérdéseket vet fel, hiszen hihetetlennek tűnik számunkra az, hogy ez magától (értsd: az anyag tulajdonságaiból levezethető módon) kialakulhasson. Gánti elméletének legnagyobb dobása éppen ez: szerinte nem szükséges az információs rendszert *kialakítani*, hanem az a kémiai reakciórendszer törvényszerűségeiből következik.

Köztudott, hogy az információt tároló DNS és RNS molekulák abiogén (élettelen) módon is előállíthatók, mind részegységeiket, mind pedig szekvencia-sorrendjüket tekintve. A Chemoton-elméletben a hurok-RNS képződés játszódik le élettelen módon. Képzeljük el, hogy az RNS-t alkotó aminosavak mindegyike egy-egy színes gyöngy: sárga és piros párba állítható, ugyanígy a kék és a zöld is. Maguk a gyöngysorok véletlenszerűen is felépülhetnek. Jelent ez valamit? Ebben a formában semmiképpen sem. De kialakítható egy másik gyöngysor, ami viszont ennek a gyöngysornak a komplementere lesz: egy olyan sorozat, amik éppen a párba állítható gyöngyök másik színeit (piros – sárga és kék – zöld) tartalmazzák.

Ha az így véletlenszerűen, abiogén módon kialakult hurok-RNS felveszi a maga térbeli szerkezetét, akkor egy érdekes dolog történik: szintetizáló enzimmé válik, tehát bizonyos kémiai reakciókat felgyorsít(hat). Mivel zárt rendszerről van szó (hiszen a Chemotont védi a környezetétől a határfelületi rendszer), sokkal nagyobb valószínűséggel fognak benne lejátszódni kémiai reakciók, mint a környezetében. (Példa: 7-es buszon hamarabb érintkezünk egymással, mint a pusztában.) Viszont a felgyorsított reakciók kiemelkednek a többi reakció közül, ezek a hurok-RNS-ek szintetizáló enzimként működve milliószorosára emelik egyes reakciók valószínűségét, és a képződő (vagy éppen bomló) anyagok felhalmozódását a Chemotonon belül.

Mi lesz az értelme innentől kezdve a hurok-RNS komplementerének? Az, hogy ő fogja hordozni azt az információt, ami leírja a felgyorsított reakcióhoz szükséges szintetizáló enzimet. Ezzel tulajdonképpen készen is vagyunk! (Kellett-e tervezni?)

A prebiotikus Chemoton. [23](Tulajdonképpen összefoglalás is egyben.) Összekapcsolt alrendszerek egyetlen kémiai hálózattá állnak össze. Az így kialakuló rendszer a

biológusok számára félrevezető, hiszen ha megmondjuk neki milyen táptalajon élnek meg ezek az „élőlények", és a tápanyagcseréjük során mit választanak ki, akkor valószínűleg egy új fajként próbálják meg őket besorolni.

Evo-devo [24]

Az eddigiekben tehát láttuk, hogy hogyan jött létre az ősrobbanástól kezdve az anyag, ami építőkövévé vált a bonyolultabb létformáknak, illetve a Chemoton-elmélet kapcsán azt is, hogy hogyan alakult ki az élettelen anyagból az élőnek nevezhető rendszer. Az előadás következő részében a biológiai evolúció egy speciális formájával szeretnék foglalkozni, a kifejlődés evolúciójával. Ez a folyamat Sagan kozmikus naptárja [25] szerint tulajdonképpen az élet megjelenése (szeptember 25?) óta folyamatosan zajlik.

A modern szintézis[6] [26]

A mai modern biológia nem csupán Darwin öröksége. A kezdetben még külön álló darwinizmus és az öröklődés Mendel-féle értelmezése (genetika) két külön úton haladt. Theodosius Dobzhansky, Julian Huxley, Ernst Mayr, George Gaylord Simpson (és mások) alkották meg az új, modern evolúciós szintézist, amit *neodarwinizmusnak* is hívunk.

A neodarwinizmus a természetes szelekció hatályát kiterjeszti, és beleveszi a biológia azon eredményeit is, amelyek Darwin számára ismeretlenek voltak (genetika). Ezen értelmezés szerint a szelekció alapegysége a gén, a populációkban megfigyelhető változatosság alapja a mutációk (hibásan másolt DNS) és a rekombinációk (kromoszómák átkereszteződése).

Mendel törvénye[27]

Mendel eredetileg különböző tulajdonságú borsónövény-párokkal (szín: sárga vagy zöld, felület ráncos vagy sima, cső színe, virág színe) kísérletezett. Azt találta, hogy a két szülő által mutatott tulajdonságokat az utódok nem keveredve, egy átmeneti formában örökítették át. Ebből arra következtetett, hogy az élőlények a tulajdonságaikat nem egyfajta folyadék-keveredés formában örökítik át, hanem meghatározott módon vagy az egyik, vagy a másik szülő tulajdonságát veszik át. Az átörökítés alapegységét *gén*nek nevezték el.

Az ábrán látható, hogy egy a borsóvirág színét meghatározó génpár hogyan öröklődik. Ha a színt meghatározó génben domináns „B" szerepel (akár heterogén, akár homogén formában), akkor a virág lila színű lesz, míg ha csak recesszív „b" (homogén), akkor fehér színű. Az ábrán nem ábrázolt, első generációs szülők eredetileg BB vagy bb párral rendelkező (homogén) lila, illetve fehér színű virágok voltak. A második generációban az öröklődés során ezek a gének heterogének lettek, azaz Bb alakúak. A domináns lila szín elnyomta a második generációban a fehér szín kifejeződését. Viszont a harmadik generációban a heterogén változatok utódjai már rendelkeztek homogén változatokkal is,

6 http://hu.wikipedia.org/wiki/Modern_evol%C3%BAci%C3%B3s_szint%C3%A9zis

így a *BB* lila és a *bb* fehér lett.

Mendel törvényének a legfontosabb megállapítása, hogy az öröklődés nem a szülői tulajdonságok keveredéséből, átlagolásából áll, hanem *az utódok jól meghatározott módon öröklik meg valamelyik szülő adott tulajdonságát*.

DNS, gén, genom – és egyéb csúnya szavak[7] [28]

A modern biológiához szükségünk van némi kémiára és jóval több genetikára. Sajnos az előadás keretében nem tudunk részletes bevezetést adni ehhez a kérdéshez, de néhány alapfogalmat szükséges tisztáznunk, hogy mit is jelent.

- **DNS**: dezoxiribonukleinsav – az „élet molekulájaként" emlegetett hatalmas méretű molekula, ami az öröklődés információs alapja. Maga a DNS 2-dezoxi-D-ribóz monomereket (egyszerűbb vegyületeket) tartalmaz, amelyek foszfát-ionokon keresztül összekapcsolódhatnak (polimerizálódnak). Az így kialakult hosszú lánc gyenge savként működik, amelyekhez nukleotid-bázisok kapcsolódnak: adenin, citozin, guanin és timin. A DNS molekula kettős szálúvá épül fel, azaz a bázisokon keresztül egy másik szál bázisához kapcsolódik az adenin a timinhez, és a guanin a citozinhoz. (A kettős szálú felépítést 1953-ban fedezte fel Watson és Crick.)
- **Szekvenciasorrend**nek hívják a bázisok meghatározott sorrendjét. Ezek kódolják a különféle fehérjék előállításához szükséges információkat. (3 bázis kódol 1 fehérjét.)
- A DNS molekula aktív kódoló szakaszai a **gén**ek. A nem kódoló szakaszokat **hulladék DNS**-nek szokták nevezni, a teljes DNS-t pedig **genom**nak.
- A DNS nem egyszerűen kettős spirálban létező valami, ugyanis ebben a formában nagyon sérülékeny lenne: egyetlen emberi sejt DNS-e kb. 2 méter hosszú. (Vastagsága mindössze 2 nm. Mekkora is 2 nm? Az általunk láthatóként érzékelt fény hullámhossza ennél jóval vastagabb:400-750 nm tartományba esik. A méretek visszafelé: méter, milliméter, mikrométer, nanométer.) Egy átlagos ember összes sejtjében található DNS kb. 600-szor tenné ki a Nap-Föld távolságot. (Egy átlagos embernek kb. 50-100 billió (ezer milliárd, 10^{12}) db sejtje van.) Egy emberi DNS kb. 3,2 milliárd bázispárból áll, azaz kb. 200 telefonkönyvet töltene meg, ha le akarnánk írni. Másként: kb. 3 GB-nyi szövegnek felel meg. (Teljes Biblia kb. 1 MB).
- A **DNS térszerkezete** még ennél is bonyolultabb: a spirál mellé *hisztonok* kerülnek, ezekből 8-10 összeáll, és 10 nm átmérőjű gyöngyöt, az ún *nukleoszómákat* képez, amelyekre a DNS spirál szál feltekeredik. A nukleoszómák újabb tekeredések által „tekercset" képeznek, amelyek egyre magasabb és magasabb szinten feltekeredve *kromatidokat* és *metafázisos kromoszómákat* alkotnak.
- Az emberi génállomány 23 pár **kromoszómába** rendeződik. (Érdekességképpen: a kutyának 39, a macskának 19, a muslicának 4 pár kromoszómája van, de vannak olyan páfrányok, amelyeknek több, mint 600!) Ezeket a kromoszómákat a **sejtmag** belsejében találjuk, ami értelemszerűen a sejtben található.

7 A különféle érdekességek forrása: Bevezetés a GÉNEK és a DNS világába, lásd irodalomjegyzék.

Ernst Haeckel embrió rajzai (1892) [29]

Ahhoz, hogy megértsük az evolúció-elmélet jelenleg egyik legdinamikusabban fejlődő elméletét, még egy területre kell elkalandoznunk a darwini és a mendeli elmélet mellett: az embriológiához. Az embriológia az egyedek kifejlődésének tudománya. Az egysejtűtől a bonyolultabb szervezetekig való törzsfejlődés és a megtermékenyített petesejttől a kifejlett szervezetig vezető út hasonlóságának gondolata már a 19. században felmerült. Az összehasonlító embriológia egyik leghíresebb/leghírhedtebb képe Haeckelnek a dián látható rajza. (A hírhedtség oka egy kis csalás: az emberi embrió fejlődését bemutató sorban az utolsó kép nem emberi embriót ábrázol.) A 19-20. század fordulóján már általánosan elfogadott volt az a nézet, hogy pl. az emberi embrió fejlődése során újra átmegy az evolúció fokozatain.

Evolution of Development: a kifejlődés evolúciója (evo-devo) [30]

A modern szintézis következményeként és a fejlődő géntechnológiának köszönhetően az összehasonlító embriológia újra előtérbe került. Az evolúciót magyarázó elmélet szerint a törzsfejlődés nem más, mint az egyedfejlődés evolúciója. (Evolution of Development – evo-devo.)

E szerint a megtermékenyített petesejt megváltozhat, mégpedig lassan, fokozatosan, olyan átmeneti formákon keresztül, amelyek tovább viszik a fajok fejlődését. Tehát a Darwin által megfogalmazott elv, mely szerint az utódok kis mértékben különböznek a szüleiktől, a kifejlődés során bekövetkező változás (mutáció vagy más ok folytán) megy végbe.

Miért fontos ez? Mert a gének írják elő az egyed kifejlődését is, és ha a genom változik, a kifejlődött utód is jelentősen változhat, tovább hajtva az evolúciót.

A sejtek differenciálódása [31]

Mi történik a megtermékenyített petesejttel? Roppant érdekes ez a kérdés, hiszen a szülők két sejtjéből fejlődik ki a későbbi élő, ami már első ránézésre is azt jelenti, hogy hihetetlenül sokféle módon kell majd a sejteknek az osztódás után differenciálódnia.

A megtermékenyítés után osztódásnak induló *sejt* (általában a 2 hatványai szerint osztódik) alakítja ki a *zigótát*. Ebben az állapotában szinte minden sejt megfelelhet mindennek: ha ilyenkor történik beavatkozás a kifejlődő élőlény életébe, azt hiánytalanul pótolni tudja (pl. egypetéjű ikrek). A zigóta alakzat után alakul ki a *blasztociszta*, amely még mindig olyan sejtekkel rendelkezik, amely szinte bármilyen irányban fejlődhet (ún. totipotens sejtek).

A fejlődés következő szakaszában kialakuló *gasztrula* sejtjei már nem ilyenek, jelentős mértékben differenciálódtak. Három lemezréteget alakítanak ki: az ektodermát, a mezodermát és az endodermát. Ezek a sejtek már nem alakulhatnak akármivé, hanem jól szabályozott módon csak bizonyos sejtekké (multipotens sejtek),

- az *ektodermából*: hámsejtek, agysejtek, pigment sejtek;
- a *mezodermából*: szívizom sejtek, vese sejtek, vérsejtek, izomzat;

- az *endodermából*: tüdősejtek, pajzsmirigy, hasnyálmirigy.

Az orvostudomány szempontjából ez azért érdekes kérdés, mert abban reménykednek, hogy ezeknek az őssejteknek a kutatásával elérhetik, hogy az elhasználódott vagy megbetegedett szervek helyébe olyan kilökődésmentes csere-szerveket tudnak létrehozni, mellyel meg tudják hosszabbítani az emberek életét.

Az evolúció-elmélet szempontjából viszont azért fontos ez a kérdés, mert a bármilyen irányban fejlődni képes sejtek kifejlődését a DNS szabályozza, és annak mutációja esetén más irányban is elindulhat a kifejlődés, amint azt a szülőknél láthatjuk.

Az embrió korai szakaszában működő gén: a homeobox [32]

Honnan fogják tudni a sejtek, hogy milyen irányban kell osztódniuk, fejlődniük, amikor megkezdődik az osztódás? A válasz megint a DNS-ben keresendő: a kifejlődésnek ezt a szakaszát is az aktív gének irányítják.

Az embrió korai szakaszában működő egyik ilyen gén az ún. *homeobox* gén, ami azért felelős, hogy a többsejtű állatok hosszanti tengelyének kialakulását szabályozza. Ez a 180 bázispár hosszú DNS szekvencia gerinctelen állatokban 8-13 szabályozó gént tartalmaz, míg gerinceseknél 4 példányban maximum 39-et. (A többi az evolúció során elveszett.) A képen az látható, hogy ugyanazok a gének hogyan alakítják ki egy rovar és egy egér embrió hosszanti tengelyét. Az egyes gének tevékenysége során kialakuló részek azonos színnel vannak jelezve.

Miért fontos ez? Mert úgy tűnik, az evolúció-elméletet erősíti meg az a felfedezés, hogy a többsejtű állatok hosszanti tengelyének (testének) kialakulásáért felelős gén teljes mértékben azonos módon működik minden fajban.

A sóféreg DNS-ének egyetlen módosulása: hat lábú forma [33]

Végül egy konkrét példán keresztül szeretném bemutatni, hogy hogyan működik az evo-devo.

A ragadozó halakat tartó akvaristák számára ismerős lehet a sóféreg (Artemia salina), amelyek táplálékként szolgálnak sügéreknek és más halaknak is. Ez az állat nem féreg, hanem az Anostraca osztályba tartozó levéllábú (Phyllopoda) rákok nemzetségébe tartozik. Testfelépítésére az a jellemző, hogy több hasonló szelvénye van, végén lábakkal.

Ha a sóféreg megtermékenyített petéjének DNS-ében az ún. „Ubx Hox" gént mutálják, akkor a soklábú szelvényes szerkezet helyett hatlábú testfelépítés jelenik meg. (Ez a mutáció a mai nézetek szerint kb. 400 millió évvel ezelőtt játszódott le, amikor a hatlábú rovarok testformája alakult ki.) Csupán egyetlen gén, egyetlen mutációja – és hihetetlenül lényeges különbség a testfelépítésben! Ez az egyik legáltalánosabban ismert evo-devo eredmény, amit az elmúlt években közzétettek.

Az ember származása [34]

Eddig tehát szó volt az előadásban a kozmológiáról (ha tetszik: fizikai evolúció), a kémiai evolúcióról és a kifejlődés evolúcióját mutattam be röviden, mint a biológiai evolúció hajtómotorját. Most a leginkább vitákra alkalmat adó területet szeretném kicsit körbejárni: az ember származását.

Sagan evolúciós naptárát használva [35] ez már meglehetősen közeli időszakra esik: december 31-én, 9:24-kor kezdenek el felegyenesedve járni egyes emberszerű élőlények, az anatómiai szempontból modern ember pedig este 11:54 perckor jelenik meg. Két kulturális esemény szintén a naptárból: az írás megjelenése éjfél előtt 15 másodperccel, míg a piramisok építése éjfél előtt 10 másodperccel kezdődik.

Micsoda az ember? [36]

Legelőször talán azt kéne megvizsgálnunk, hogy mi teszi az embert emberré? Néhány kérdésre keressük meg a választ!

- *Két lábon járás?* Felemelkedés? Nem lehet csak ez, hiszen már a dinoszauruszok és a madarak is felemelkedtek két lábra.
- *Szerszámhasználat?* Nem lehet csak ez, mert a csimpánzoknál, sőt már egyes varjúféléknél megfigyelhetünk szerszámhasználatot. Ugyanakkor fontos látni a különbséget az állatok és az ember szerszámhasználata között: az ember megőrzi, vigyáz rá, díszíti, stb. a szerszámait.
- *Társadalomalkotás?* Nem csak ez, hiszen hangyák, termeszek és méhek is alkotnak társadalmat, a majmok egyes fajairól már nem is beszélve. Ugyanakkor fontos látni a különbséget az emberi és az állati társadalmak között: az emberi társadalmak jóval bonyolultabb rendszereket alkotnak, finoman hangoltabb, rugalmasabb közösségek.
- *Kultúraképzés és áthagyományozás?* Ez sem egyedül, hiszen a költöző madarak is áthagyományozzák a vonulást, bizonyos majomtársadalmak pedig szinte „kasztrendszert" alakítanak ki, melynek tagjai a társadalomban elfoglalt pozíciójukat utódaikra is átörökítik. De míg az állati kultúrák mozgatórugója a nagyrészt biológiai szükségletekből fakadó szükségszerűség, addig az emberi kultúra önmagáért való, funkció nélküli is lehet.
- *Intelligencia? Nagy agyméret?* Nem csak ez, hiszen a delfineknek is nagy az agyuk és roppant intelligensek.
- *Elvont gondolkodás? Beszéd?* Valószínűleg ez az egyik legfontosabb értékmérő. Tudomásunk szerint ez csak az emberre jellemző. Egyszerűbb jelbeszédre ugyan a csimpánzok is megtaníthatók, de ők képtelenek elvont fogalmakban gondolkodni.
- *Döntési képesség, szabadság?* Valószínűleg ez a másik legfontosabb értékmérő. Az állatoknak nincsenek etikai kérdései, míg az ember szembe tud fordulni a természetes ösztönei által megszabott szűk keretekkel, és túllépve azokon olyan döntéseket hozni, amely nem embereknél elképzelhetetlen.

Fontos látni, hogy mindezek fontosak, de önmagukban a szokásos értékmérők nem jelentenek valódi választ a kérdésre. Ha természettudományos szempontból az elvont gondolkodás és beszéd, a döntési képesség, a szabadság válik az ember speciális ismertetőjeléül, akkor milyen régészeti leletekre számíthatunk, melyek ezek meglétét vagy nem meglétét bizonyítják??

A közös ős: Darwinius masillae[8] [37]

Amikor szóba kerül az ember törzsfejlődése, szükségszerűen szóba kerül a közös ős kérdése. Viccesen úgy is válaszolhatnánk: a mai főemlősök közös őse az egysejtű. Persze aki nem elégszik meg egy ilyen válasszal, annak segítségére lehet egy 1983-ban felfedezett, de részleteiben csak az idén publikált hiányzó láncszem: Ida, a Darwinius masillae. Magát a fosszíliát Messel (Németországban) környékén, egy régi vulkanikus tó helyén találták, amely a fosszíliavadászok közkedvelt célpontja. Az ott található állatok halálát nagy valószínűséggel a kiáramló mérges gázok okozhatták. Magát a leletet lelkes amatőrök találták meg, és kalandos úton jutott el norvég kutatókhoz. Ida, bár nagyon hasonlít a lemúrokhoz, nem tekinthető annak: a norvég kutatói közösség inkább a majomalkatúak közvetlen ősének, vagy egy nagyon közeli rokonának tartja. Hogy valóban egy hiányzó láncszemről van-e szó, azt az idő fogja eldönteni – mindenesetre ma annak tűnik.

Emberszerűek: a főemlősök rendjének egy öregcsaládja [38]

A majomalkatúaktól néhány ugrásra találjuk az emberszerűeket. Az ábrán röviden azt szerettük volna összefoglalni, hogy hogyan néz ki ez a családfa, és hogyan bontható ki a ma is megtalálható fajok irányába.

Az ember és az emberszabásúak közötti genetikai távolság [39]

Az evolúcióban lezajló folyamatok mellé senki nem mellékelt leírást, hogy melyik mikor történt. Ehhez másféle megfontolások alapján közelítenek a szaktudósok. Egyik ilyen módszer a jelenleg is élő emberszabásúak közötti genetikai távolság mérése. A feltételezés szerint az óvilági és újvilági majmok kb. 30 millió éve váltak külön. Ezt adottnak véve, a ma élő fajok közötti különválást a DNS és az egyéb fehérjék vizsgálata alapján mérni lehet. Az ábra azt mutatja meg, hogy a gibbon, az orangután, a gorilla, a csimpánz és az ember közös ősei milyen régen voltak még azonosak, illetve mikor válhattak szét.

Miért vagyok dühös? [40]

Röviden úgy is fogalmazhatnék, hogy azért, mert a tudomány túl gyorsan változik... Történt ugyanis, hogy október 4-én, vasárnap az ember törzsfejlődésének témájához tartozó, hozzáférhető képeket szedegettem össze. Eredeti koncepcióm az volt, hogy a legrégebbi, legteljesebb csontvázból indulok ki. Ehhez képest hétfőn szembesülnöm kellett a ténnyel[9], hogy előadásom már ma sem aktuális: október 2-án ugyanis megjelent a *Science*

8 Forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/Darwinius_masillae és http://criticalbiomass.freeblog.hu/archives/2009/06/06/Ida_rejtelye/

9 Magyarul lásd: http://www.origo.hu/tudomany/20091001-emberfelek-uj-sztarja-az-ardipithecus-ramidus-

magazin legfrissebb száma, melynek címlapsztorija egy még régebbi ős, Radi, az *Ardipithecus Ramidus* viszonylag teljes csontváza. A valószínűleg nőstény ős csontvázát 125 darabból rakták össze, és a korát mintegy 4,4 millió évesre teszik. Maga a felfedezés egyébként 1994-ben történt, azóta már több szempontból is alaposan megvizsgálták ezt az újonnan felfedezett, egyéb leletek alapján is körvonalazódó fajt.

Az Australopitecusoktól az első Homo-kig [41]

Az ember evolúciójával kapcsolatos leszármazási fa nem egyértelműen és minden kétséget kizáróan bizonyított tény. Sőt: mai napig újabb és újabb szempontok merülnek fel, melyek újrarajzolják. (Egy tudományos ismeretterjesztő könyvben például négy párhuzamos iskolát mutatnak be a besorolást illetően.) A lényeg, hogy egy pillanatfelvételt látunk a vitából, aminek az alapja Kate Wong: The Human Pedigree, a Scientific American 2009 januárjában megjelent cikke.[10] Én nem tettem különbséget a valószínű és a bizonyított kapcsolatok között, sőt a leszármazási fa oldalágait (amelyek nem a Homo Sapienshez vezetnek) meglehetősen megnyirbáltam.

Amit az ábrán látunk: az *Australopitecus afarensis* leszármazottai az *Australopitecus africanus* és egy közös ős, amelynek leszármazottai a *Homo habilis* és a *Homo ergaster*.

Az „Australopitecus" kifejezés déli majmot jelent. A leghíresebb, és legteljesebb leletet 1974-ben fedezte fel Don Johanson az afrikai Hadarban (Etiópia). Az AL 288-1 azonosítójú leletanyag a „Lucy" becenevet kapta a Beatles együttes „Lucy in the Sky with Diamonds" c. slágeréről – ugyanis a rádióban ezt a slágert játszották. Mit lehet tudni erről a fajról? Csontvázának vizsgálatából az derült ki, hogy bár alapvetően a fán élt, de *felegyenesedett járásra* is képes volt. Magassága mintegy 1 métert tett ki, rövid lábakkal és hosszú karokkal. Lucy korát kb. 3,2 millió évesre teszik.

1 Ma környéki Homo-k [42]

A legkorábbi *Homo*-k után essen szó a kb. 1 millió éves leletekről.
A Homo ergasternak és a *Homo erectusnak* közös őse volt. A Homo ergaster leszármazottja a *Homo antecessor*. Az evolúciós fejlődés hatalmas talánya pedig a Homo erectus előtti közös ősből kifejlődött *Homo floresiensis*.

Ezt a fajt 2003-ban fedezték fel az Indonéziához tartozó Flores szigetén, a Liang Bua barlangban. Kis mérete (1 méter magas volt) miatt csak „Hobbit"-nak becézik. Életmódját tekintve: *kőeszközöket* használt, barlangban élt, ismerte a *tüzet*, jó vadász volt. Ugyanakkor sehogy sem illik bele a leszármazási sorokba, mert nagyon fejlett emberszerű a testfelépítése annak ellenére, hogy agytérfogata kb. 400 cm^3. Hogyan került a szigetre? Valamilyen vízi járművet használt? (Ezt egyedül a Homo Sapiensről feltételezik a tudósok.) Mi a magyarázata annak, hogy „összement"? A szigetekre jellemző evolúciós változás (ld. ciprusi elefántok) lenne? A tudomány előtt még számos megválaszolatlan kérdés van ezzel a fajjal kapcsolatban.

---

evolucioja.html

10 Wong, Kate: The Human Pedigree, Scientific American, 300(1), 2009, 46-49. o.

<0,6 Ma Homo-k [43]

A Homo antecessortól hozzánk, Homo sapiensekig az út a *Homo heidelbergensis*en keresztül vezetett, amely valószínűleg őse a neandervölgyi embernek is.

A neandervölgyi ember – meglepő módon – a Düsseldorf (Németország) melletti Neander-völgyről kapta a nevét, ugyanis 1856-ban itt találták meg először. Az emberi evolúció felfedezése szempontjából kulcsfontossága van, hiszen 1864-ben értették meg először, hogy nem egy modern emberről (kozák katonáról), hanem egy másik fajról van szó.

Sokáig úgy gondolták, hogy a Homo sapiens közvetlen őse, de a legújabb DNS-vizsgálatok kizárták ennek, sőt az esetleges keveredésnek a lehetőségét is. Erre elvileg lett volna mód, hiszen a Közel-Keleten kb. 60.000, míg Európában kb. 5000 évig élt együtt a Homo sapiens-szel.

A neandervölgyi ember mai embernél valamivel alacsonyabb (1,6 m) volt, de *nagyobb agytérfogattal*. Csontjaiból ítélve sokkal robosztusabb, erősebb testfelépítése volt, mint nekünk. Mivel főként barlangokban élt, ezért viszonylag jó állapotban fennmaradtak fosszíliái (a tudomány ma több, mint 400 elkülöníthető leletről tud). Sok tekintetben hasonlít a modern emberhez, melyek közül talán a halottak temetését emelném ki (pl. Szíriában és Franciaországban találtak olyan gyermeksírokat, melyekbe a halott gyermek mellé kőtáblákat is temettek (k*ultúra*). Fontos különbség azonban, hogy a lágy részek rekonstrukciója alapján úgy tűnik, a neandervölgyiek garatja és hangszálai nem voltak alkalmasak értelmes beszédre, csak artikulálatlan hangadásra.

A Homo sapiens benépesíti a Földet [44]

Honnan lehet tudni, hogy hol járt az ember évezredekkel ezelőtt? Erre is vannak tudományos módszerek, melyek közül mára talán a DNS alapú időmeghatározás vált a legfontosabbá. E szerint a különféle emberi rasszok és az azon belüli további tagozódások nyomon követhetők a DNS változásával. (Pontosabban: Mary-Clair Kay 147 méhlepényt gyűjtött be a világ minden tájáról, és az azok mitokontriális DNS-ei (mtDNS) közötti különbségek alapján állította sorba a különféle területek „őshonos" lakosságának „honfoglalásának" sorrendjét. Az mtDNS azért különleges, mert csak anyai ágon öröklődik – és innen a hangzatos elnevezés is: mitokontriális Éva kutatás.)

A Homo sapiens kb. 200 000 évvel ezelőtt jelent meg valahol Dél-Kelet Afrikában. Vándorlásai során először egyre északabbra ment, és a mai Közel-Kelet partvidékét folyosónak használva kb. 100 000 évvel ezelőtt benyomult az eurázsiai kontinensre. A mai Kína területét mintegy 70 000 évvel ezelőtt érte el, és az apró szigetek közötti átjárási lehetőségeket kihasználva 50 000 évvel ezelőtt telepedett meg Ausztráliában. A Homo sapiens nem csak Keletre, Nyugatra is elindult, Európában mintegy 40 000 évvel ezelőtt jelent meg. A távol-keleti területek meghódítása 25 000 évvel ezelőtt történt. A Bering-szoroson 15 000 évvel ezelőtt keltek át, Amerika meghódítása pedig 12 000 évvel ezelőtt történt. Az északi, arktiszi jégmezők mintegy 4000 évvel ezelőtt lettek ember által is lakottá.

Összefoglalás [45]

Összefoglalva az evolúció-elméletet, az evolúciós paradigmában gondolkozó természettudósok többségi véleménye szerint: az evolúció a természetben lejátszódó folyamat, mely során az anyag – spontán módon – egyre bonyolultabb struktúrákká épül, amennyiben az ehhez az építkezéshez szükséges külső, fölösleges energia rendelkezésére áll. Jelenlegi tudásunk szerint a földi élet alapvetően annak köszönheti a jelenlétét, hogy a Nap immár 4,5 milliárd éve stabilan sugározza az energiáját, melyet felhasználva az élő szervezetek saját szervezetüket felépítik, és továbbörökítik.

Köszönöm a figyelmet!

Irodalomjegyzék [46]

- Bevezetés a GÉNEK és a DNS világába, Tioti Kft, Budapest, 2007. (A kiadvány hihetetlenül látványos és egyszerű bevezetés a gének roppant bonyolult világába, laikusok, sőt gyerekek számára. Értékét nem csökkenti az a tény sem, hogy az irodalmi adatokat (pl., hogy ki a szerző), szinte lehetetlen megtudni belőle.)
- Burenhult, Göran: A múlt emberei (ford.: dr. Kordos László, dr. Bácskay Erzsébet), Kossuth Kiadó, Budapest, 2007. (Rengeteg képpel illusztrált, gazdag könyv. Közel ötszáz oldalon foglalja egybe a legújabb eredményekkel együtt az ember törzsfejlődésének történetét.)
- Burnham, Robert: Csillagászat (ford.: Straky Zoltán), Kossuth Kiadó, Budapest, 2005. (Látványos csillagászati összefoglaló, a Kossuth Kiadó Tudományos Kiskönyvtárának darabja.)
- Fazekas György – Szerényi Gábor: Biológia I. kötet (molekulák, élőlények, életműködések) és Biológia II. kötet (ember, bioszféra, evolúció), Scolar Kiadó, Budapest, 2002. (A két vaskos kötet valahol a középiskolai biológia fakultáció és az egyetemi szint között helyezkedik el, tehát elsősorban nem laikusoknak szóló könyv, de didaktikus felépítése miatt – lévén tankönyvről van szó! – az átlagember számára is haszonnal forgatható.)
- Gánti Tibor: Az élet általános elmélete, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000. (A Chemoton-elmélet leírása laikusok számára is érthető módon. Interneten hozzáférhető: http://www.mek.oszk.hu/03200/03287/index.phtml)
- Gánti Tibor: Chemoton elmélet. I. A fluid automaták elméleti alapjai. OMIKK (1984); II. Az élő rendszerek elmélete. OMIKK (1989). (Gánti elmélete szakembereknek.)
- Hídvégi Egon [szerk.]: A genom, Szépirodalom Könyvműhely, Budapest, 2003. (Ez a genetikai bevezető minimum egyetemistáknak íródott, nem a nagyközönségnek. Egyes részei ennek ellenére laikusok által is érthető módon vannak megfogalmazva.)

- Junker, Thomas: A biológia története [ford. Mesés Péter], Corvina Kiadó Kft, Budapest, 2007. (A Tübingeni Egyetem magántanárának nagy ívű, de rövid könyve, amelyet laikusok is megérthetnek.)
- Mészáros Ernő: A Föld rövid története, Vince Kiadó, Budapest, 2001. (Az előadásban nem érintett, de nagyon fontos téma ismertetője: a Föld keletkezéstörténete, geológia, paleontológia. A könyv elsősorban a Földdel, mint bolygóval foglalkozik – és nem a biológiai/kémiai evolúció részletkérdéseivel.)
- Ridpath, Ian: Csillagászat, M-ÉRTÉK Kiadó Kft, Budapest, 2007. (A Dorling Kindersley Book Eyewitness Companions [magyarul: Útitárs] sorozatának csillagászatról szóló tagja, amelyben a laikusoknak rengeteg ábrával mutatja be a világ keletkezését, a Naprendszert, az éjszakai megfigyelést, a csillagképeket stb.)
- Singh, Simon: A nagy bumm, Park Kiadó, Budapest, 2006. (Oknyomozó újságírói stílusban, olvasmányosan mutatja be az ősrobbanás elméletének felfedezését – egészen a csillagászat kezdeteitől a legmodernebb megfigyelésekig bezárólag. A könyv vastagsága ellenére is segítség műkedvelő laikusoknak megérteni az elmélet felfedezésének történetét, jelentőségét.)
- Stringer, Chris – Andrews, Peter: Az emberi evolúció világa (ford.: Győrvári Borbála), Alexandra, Pécs, 2005. (Az angol Természettudományi Múzeum kiadványának a fordítása, nagyon gazdag és színes anyag, laikusoknak is.)
- Watson, James D. : Az élet titka (ford. Boross Ottilia és Garai Attila), HVG Kiadói Rt, Budapest, 2004. (A DNS-ről szóló olvasmányos könyv első kézből: ugyanis a szerző testközelből ismeri ezt a molekulát: szerkezete felfedezéséért (1953) 1962-ben Nobel-díjat kapott.)