

- [11.] Ninkovich D. & Heezen B. C. 1965, *Santorini Thera in Submarine Geology and Geophysics*, Colston Papers, Vol. 17, Bristol.
- [12.] Ovenden M. W. 1966, *The Origin of the Constellations*, The Philosophical Journal, 3. No. 1, 1–18.
- [13.] Platon *Critias*
- [14.] Platon *Timaeus*
- [15.] Pomerance L. 1979, *The Final Collapse of Santorini (Thera)*, Studies in Mediterr. Archaeol. Vol. XXVI, Göteborg.

- [16.] Roy, A. E. 1984. *The Origin of the Constellations*, Vistas in Astronomy, 27. 171–197.
- [17.] Symons G. J. 1888, *The Eruption of Krakatoa and Subsequent Phenomena*, Report of the Royal Society of London.

\* Platón itt említett művei magyarul is megjelentek.

## BÖLCSÖNK, AZ UNIVERZUM

Marx György  
ELTE, Atomfizikai Tanszéke

### A természettudomány születése

A Földön kifejlődött civilizációk tájékozódni próbáltak térben és időben.

Jó 6000 évvel ezelőtt a Nílus termékeny völgyét művelő népek kihasználták, hogy a folyó áradása minden évben termékeny iszappal borítja be földjeiket. A művelést ugyanazon a területen folytathatták évezredekken keresztül. Ez a kivételesen kedvező körülmény lehetővé tette számukra, hogy házakat, templomokat, városokat építhessenek: megteremthessék az első birodalmat a Földön. De mindez feltételezte a Nílus áradásának előrelátását, hogy időben bevégezhessek az aratást. A fényes Szótisz csillag első hajnali felbukkanása a nyár derekán számukra a földművelés új ciklusának (az évnek) kezdetét jelezte. A Szíriusz-naptár eme ősi nép hatalmas teljesítménye volt: időskálájuk napok helyett már éveket fogott át. Bolygónk forgási és keringési periódusának összemérhetetlen volta (az év és nap hosszának különleges – nem egészszámú – viszonya) intellektuális kihívást jelentett, amely Egyiptom, Mezopotámia, India, Kína, Yukatán földművelő népeit bonyolult kalendáriumok, számrendszerek kiépítésére kényszerítette. Azokat a keveseket, akiknek e tudás birtokában volt, akik képesek voltak megjósolni a folyóáradást vagy napfogyatkozást, akik ily módon előre látták az eljövendőt, az ókorban papként tisztelte a nép, így ők nagy műszaki és politikai hatalom birtokosává váltak.

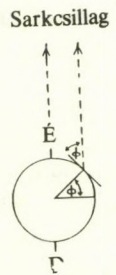
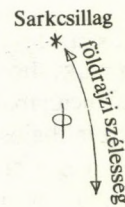
Amikor a föníciaiak (a ma Libanonként ismert partokon) vitorlát bontottak, és a barátságos Földközi-tengert elhagyva, a nyílt óceánon mélyen délre hajóztak Afrika partja mentén, egyszer valami rettenő történt. Navigációs indikátoruk (az északi irány és a földrajzi szélesség jelzője), a Sarkcsillag elmerült az óceánban! Amint átszeltek egy mágikus vonalat (amit

ma Egyenlítőnek mondunk), elvesztették vonatkoztatási rendszerüket, úgy érezték: lezuhannak a világból. És ez a rémítő élmény magyarázza, hogy az Ókor tengerészei miért tekintették a Földet véges tányérnak, amelynek szélén átlépve a semmibe hullhat a vakmerő kalandor.

A glóbus túlsó oldalán, a Déli Csendes-óceánon polinéz hajósok a Dél Keresztjének segítségével tájékozódtak: az mutatott rá az égbolt Déli Pólusára. Eme egyhelyben maradó geometriai sarkpont jelezte a déli irányt, láthatár fölötti szögmagassága pedig a földrajzi szélesség meghatározását tette lehetővé a déltengerek tengerészeinek, amíg a Déli féltekén hajóznak.



1. ábra

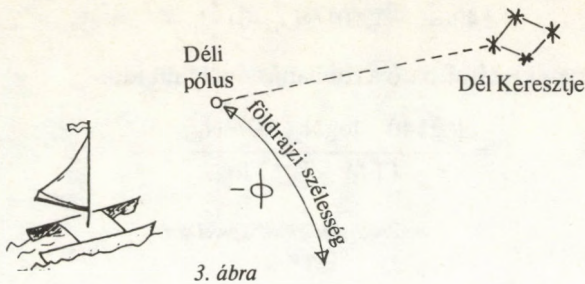


2. ábra

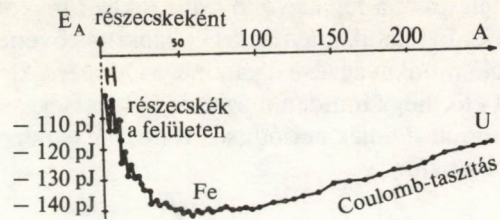
Egyszer volt, hol nem volt, volt egyszer egy fiatal herceg, aki összekülönbözött Tahiti királyával. Egész házanépét (összes feleségét, barátját, szolgáját) kataránokra rakta, és kihajózott a nyílt óceánra, elindult Észak felé. Bátorságának és szerencséjének hála, rábukkant a még lakatlan Hawaii szigetekre, amelyek már az Északi féltekén helyezkednek el. A vulkáni talaj termékeny volt, de a szűzen felmerült szárazföldön még nem voltak gyümölcsfák. Valakinek vissza kellett hajóznia Tahitire, hogy kókuszdiókat hozzon megenni és elültetni. Azoknak a déltengeri hajósoknak a teljesítményét és dicsőségét, akik felfedezték az Északi félteke szigeteit, majd újra megtalálták azt (noha tengerbe merült a Déli Pólus), gyönyörű hawaii eposz meséli el.

Az egyiptomi, mezopotámiai, indiai, kínai, maja csillagnézők, naptárkészítők, földmérők számára, a föníciai, polinéz, arab, viking, portugál, spanyol ten-

“A csillagászat tanítása” középiskolai tanári ankét előadása, ELFT, Kaposvár, 1987. április 8. – “Nevelési kihívás: a Kozmosz.” A GIREP és az Európai Űrkutatási Ügynökség által rendezett konferencia megnyitó előadása. Koppenhága, 1986. augusztus 16. A szöveget az eredeti konferenciakötetből az Ügynökség engedélyével vettük át.



3. ábra



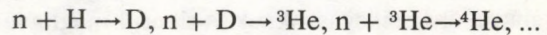
4. ábra

gerészek és térképrajzolók számára a csillagászat a túlélést és a haladást jelentette. (Kolumbusz Kristóf Indiába indulva azoknak a csillagabláknak a másolatait vitte magával, amiket Regiomontanusz Buda várában szerkesztett Mátyás egyetemén.) A csillagászat a természettudomány édesanyja lett, ez képezte minden ősi civilizáció intellektuális alapját. Terjedni kezdett a hit királyok közt és a nép körében, hogy végzetünket a csillagokból kell kiolvasni. Ez a felismerés degradálódott később a csillagjóslás babonájává: egyéni sorsokat próbáltak kiolvasni a horoszkópokból. Mai iskoláink feladata, hogy olcsó miszticizmus helyett tudományos gondolkodásra nevelje e jövő nemzedéket. Alig kínálkozik vonzóbb lehetőség erre, mint a csillagászat.

#### A Periódusos Rendszer benépesülése

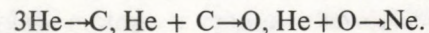
Magfizikát tanítva elmondjuk, hogy könnyű atommagokban (amilyen a hidrogén, oxigén, szén) legtöbb részecske a felületen van, ezért kötésük gyengébb. Nehéz fémekben (amilyen az arany, ólom, urán) a kötést a protonpárok közt fellépő,  $Z(Z-1)$ -gyel arányos elektromos taszítás gyöngíti. A magrészecskék kötési energiája a Periódusos Rendszer közepetáján (a vas körül) a legmélyebb. Mai világunk magfizikai szempontból hideg ( $kT \ll \text{MeV}$ ,  $T \ll 10^{10} \text{K}$ ), így azt várjuk, hogy a maganyag főként vas és nikkell magokká tömörült. Ez a várakozás azonban ellentétes azzal a ténnyel, hogy a mi világunkban

sok a könnyű elem (74% hidrogén, 25% hélium). Ilyen észrevétel tanított meg arra, hogy az Univerzum kezdetben forró volt ( $kT_0 > \text{MeV}$ ), nem volt benne lehetőség összetett atommagok képződésére, szétverte őket az élénk hőmozgás. Szabad protonok és szabad neutronok csak akkor kezdhették meg a magfelépülést, amikor a hőmérséklet  $10^{10} \text{K}$  alá csökkent:

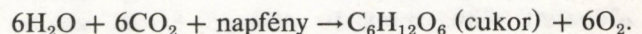


A csillag nukleáris tüze millimásodperc helyett milliárd évekig lángol, ezáltal teremtve lehetőséget az élet keletkezésére és fejlődésére a csillag körül keringő bolygón.

A túlsúllynak gyorsabb előregedés a következménye. A nagyobb tömegű csillagok belseje forróbb, mert a nagyobb súlyt csak nagyobb gáznyomás képes hordozni. Az óriástömegű csillagok hamar elhasználták hidrogénjüket, már a héliumot fogyasztják:



Így jöttek létre a létfontosságú elemek (szén, oxigén), így "szennyeződött" be velük az Univerzum. H, He, O, C, Ne az Univerzum leggyakoribb elemei. Az illékony He és Ne megszökött bolygónkról, de  $\text{H}_2\text{O}$  és  $\text{CO}_2$  a biológiai anyagcsere kiinduláspontjává lett:



H Burm	Nap											
Li	Be											
első percek												
Na (He+H)	Mg (He)											
K (He+H)	Ca (He)	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga (Q)	Ge (Q)	As -SN-	Se -SN-	Br -SN-	Kr -SN-
Rb -SN-	Sr -SN-	Ru (Q)	Rh (Q)	Pd (Q)	Ag -SN-	Cd -SN-	In -SN-	Sn -SN-	Sb -SN-	Te -SN-	I -SN-	Xe -SN-
Cs -SN-	Ba -SN-			Pt (Q)	Au (Q)	Hg -SN-	Tl -SN-	Pb -SN-	Bi -SN-	Po -	At -	Rn -
FR -	Ra -	Ac -	Th -SN-	Pa -	U -SN-	Np -	Pu -					

5. ábra

Mindmáig csak a legnagyobb csillagokban fogyott el a H és He. Ezt náluk gravitációs kollapszus követte. A gravitáció munkavégzése olyan magas hőmérsékletet idézett elő, hogy minden magreakció lehetségessé vált: megindult a teljes periódusos rendszer benépe-sülése. Boltzmann

$$N_A \sim \exp(-E_A/kT)$$

képlete szerint termodinamikai egyensúlyban abból az A tömegszámú atommagból lesz több, amelyben mélyebb az egy részecskére jutó  $E_A$  kötési energia. (Legmélyebb a vas körül. Vas a legolcsóbb fém. Földünk magja vasat és nikkelt tartalmaz.) A nehézfémek  $E_A$  fajlagos kötési energiája magasabb, ritkábbak és drágábbak is Földünkön.

Mindezt a nukleáris törmeléklet olyan csillagrob-banás szórta szét a világtérben, amelyhez a haldokló óriás végső gravitációs kollapszusa szolgáltatja az energiát. Néha csillagászoknak is sikerül megfigyelni ezt a fellángolást, mint szupernóvát.

Még a nehéz elemek gyakoriságában és árfolyamá-ban is jelentős eltéréseket tapasztalhatunk. Vajon miért 100-szor, 1000-szer drágább az arany, platina, iridium, ozmium, hafnium, európium vagy szkandium, mint például a volfrám, higany vagy ólom, ha ha-sonló kötési energia jut bennük egy részecskére? A válasz a következő: ha a vastól indulunk el, az egy-mást követő neutronbefogások és béta-bomlások el-kerülnek az előbbi (igen ritka) elemeket. Arany még a szupernóva alkimista kemencéjében sem keletkezik. Azon csodálkozhatunk, hogy aranyatomok egyáltalán előfordulnak a Galaxisban. Azon a helyen, ahol ezek a legdrágább fémek létrejönnek, olyan nagy neutron-sűrűségnek kell lennie, hogy az egymást szaporán követő neutronbefogások közt nem maradhat idő béta-bomlásokra (7. ábra). Ilyen magas neutron-fluxus csak az Univerzum legforrongóbb vidékein laka-lulhatott ki, röviddel a galaxisok kiformálódása után. Arany és platina hatalmas kvazár-robbanásban képződhetett több, mint 10 milliárd évvel ezelőtt, amikor a Galaxis perdületet nem hordozó, ezért köz-épre behulló anyaga egy fekete lyukba temette el önmagát.

A mi világunk kevésbé drága nehéz elemei egy közeli óriáscsillag szupernova-kitörésében formálódtak ki, mintegy 5 milliárd évvel ezelőtt. (Ugyanezen robbanás lökéshulláma préselte össze azt a kozmikus felhőt, amelyből a Naprendszer képződött.) A robbanás időpontját mutatja a radioaktív óra. A Földön előforduló urán-izotópok bomlanak:

$$N_{238}(t) = N_{238}(0) \cdot 2^{-t/T_{238}}$$

$$N_{235}(t) = N_{235}(0) \cdot 2^{-t/T_{235}}$$

Felezési idejük  $T_{238} = 4,5$  milliárd év, illetve  $T_{235} = 0,7$  milliárd év. A két egyenletet osszuk el egymás-sal. Tudjuk, hogy a két izotóp mai gyakoriságaránya 140:

$$140 = N_{238}(0)/N_{235}(0) \cdot 2^{(T_{235}^{-1} - T_{238}^{-1})t}$$

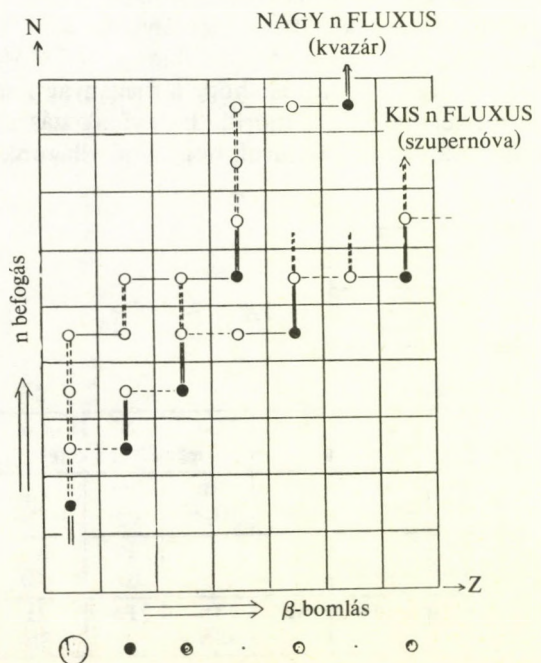
Innen kiszámítható a robbanás óta eltelt idő:

$$t = \frac{\log 140 - \log N_{238}(0)/N_{235}(0)}{(T_{235}^{-1} - T_{238}^{-1}) \log 2}$$

A kémiai elemek világsági ára  
(font/kg)

1 H	4.2	31 Ga	1900	62 Sm	420
D	2540	32 Ge	1000	63 Eu	6370
2 He	44	33 As	4	64 Gd	750
3 Li	46	34 Se	66	65 Tb	4100
4 Be	278	35 Br	98	66 Dy	800
5 B	11	36 Kr	170	67 Ho	1800
6 C	1	37 Rb	356	68 Er	720
7 N	.16	38 Sr	7.6	69 Tm	10300
8 O	.16	39 Y	380	70 Yb	1730
9 F	155	40 Zr	4	71 Lu	13600
10 Ne	194	41 Nb	160	72 Hf	2500
11 Na	1.8	42 Mo	31	73 Ta	190
12 Mg	.36	43 Tc	-	74 W	4
13 Al	.26	44 Ru	3070	75 Re	3000
14 Si	3.3	45 Rh	9500	76 Os	12500
15 P	3.6	46 Pd	2500	77 Ir	9500
16 S	.6	47 Ag	104	78 Pt	4600
17 Cl	.52	48 Cd	22	79 Au	2500
18 Ar	.70	49 In	149	80 Hg	6
19 K	13.3	50 Sn	1.5	81 Tl	20
20 Ca	9.5	51 Sb	3.0	82 Pb	.92
21 Sc	7300	52 Te	22.5	83 Bi	20
22 Ti	13.5	53 I	5	84 Po	-
23 V	13	54 Xe	1070	85 At	-
24 Cr	4.8	55 Ca	45	86 Rn	-
25 Mn	.25	56 Ba	42	87 Fr	-
26 Fe	.06	47 La	29	88 Ra	-
27 Co	10	58 Ce	120	89 Ac	-
28 Ni	1.24	59 Pr	369	90 Th	30
29 Cu	0.5	60 Nd	292	91 Pa	-
30 Zn	.12	61 Pm	-	92 U	11

6. ábra



7. ábra

A keletkezés idején  $N_{235}$  nem lehetett nagyobb, mint  $N_{238}$ , így a képlet  $t = 5$  milliárd évet ad az atommagok életkorául. (Csak a legkönnyebb és legritkább atomok idősebbek.) Ez egyúttal megmagyarázza azt is, hogy azóta minden  $t$ -nél rövidebb élettartamú radioaktív elem eltűnt a Földről (Fr, At, Pm, Tc stb., ezeket — jelzi a Periódusos Rendszerben). A  $t$ -vel összemérhető vagy annál hosszabb felezési idejű elemek (U, Th) még itt vannak, és nem is drágábbak, mint a stabil nehézfémek. (Az urán olcsóbb, mint a higany. Mivel előbbi felezési ideje közel 5 milliárd év, az uránmagok nem lehetnek 5 milliárd évnél lényegesen idősebbek.) Velünk vannak az U és Th instabil bomlástermékei is. Ma a földi periódusos rendszer a 92. rendszámnál ér véget: az összes nagyobb rendszámú elem felezési ideje lényegesen rövidebb, mint 5 milliárd év. (Egybillió év múlva a földi periódusos rendszer csak a 83. rendszámig fog tartani.) A nép számára lényeges körülmény, hogy még található a Földön egy izotóp, amelyet lassú neutron is képes hasítani, amely nukleáris láncreakciót képes megvalósítani:  $^{235}\text{U}$ . Felezési ideje (0,7 milliárd év) 7-szerte rövidebb a Naprendszer életkoránál. Mennyisége már 7-szer megfeleződött, mai gyakorisága mindössze  $1/140 = 0,7\%$  a természetes uránban. Ez a koncentráció nem elegendő vízzel moderált láncreakció beindulásához. Hogy a láncreakciót megvalósíthassuk, az  $^{235}\text{U}$  mennyiségét legalább 2%-ra fel kell dúsítanunk. Ez lehet a történelmi magyarázata, hogy miért oly későn fedezték fel és miért oly későn hasznosították a maghasadást, pedig az nagyon könnyen érthető magreakció: két hasadvány (lévén a Periódusos Rendszer közepén) mélyebb energiájú, mint a nehéz urán. (1,4 milliárd évvel ezelőtt az  $^{235}\text{U}$  koncentrációja 2,8% volt. Akkor természetes uránban is lehetséges volt víz-moderátorú láncreakció, és meg is történt Gabonban, Afrikában.)

Kiváló téma adódik itt megvitatásra tanítványaink: miként alakult volna az emberi történelem, ha a biológiai időskála rövidebb lett volna, mint az  $^{235}\text{U}$  és  $^{239}\text{Pu}$  bomlásideje? Mennyi idő kell (kellene) az emberiségnek, hogy fölnőjön a nukleáris tűz bölcs használatához?

### *Az élet eredete*

A biokémikusok az elmúlt évtizedekben plauzibilis menetrendet rekonstruáltak az élet keletkezésére. A hirogén az Univerzum leggyakoribb eleme, így a többi könnyű elem is hidrogénvegyületben fordulhatott elő ( $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ). Ilyen összetételű redukáló légkörben szabadenergia (ultraibolya napfény) hatására szénhidrátok, aminosavak, nukleinsavak keletkeznek. Ezek a bioaktív molekulák enzím által katalizált önreprodukciónak konvergálhattak. Az a megfigyelés, hogy  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}$  molekulák vannak jelen a csillagközi felhőkben

és a Naprendszer külső tagjain, joggal enged arra következtetni, hogy ilyen volt a földi légkör eredeti összetétele is, tehát az lehetett az élet bölcsője. Ezt az elképzelést szokták idézni a biológiai könyvek: "Az élet a fiatal Földön elkerülhetetlen szükségszerűséggel született meg."

A valódi történet még izgalmasabb lehet. A Föld és a Hold hideg kozmikus gázból és porból született 4,5 milliárd évvel ezelőtt. (Radioaktív óra szerint ennyi idősek a Hold legöregebb kövei.) Akkortájt (alig 1,5 milliárd évvel a szupernova után) még sokkal több radioaktív atommag volt jelen. (A  $^{40}\text{K}$  felezési ideje 1,3 milliárd év. Az  $^{235}\text{U}$  felezési ideje 0,7 milliárd év.) Hőt termeltek, ami megolvastotta a bolygót, ez vezetett súly szerint végbement kémiai rétegződésre. (Vas—nikkel mag, szilikát kéreg.) Eközben az eredeti redukáló légkör felhevült és megszökött. (Csillagokban sok neon keletkezik  $\text{O} + \text{He} \rightarrow \text{Ne}$  folyamatban. Neon több van az Univerzumban, mint nitrogén, de majdnem teljesen hiányzik a Földről. A neonnal együtt meg kellett szöknie az eredeti légkör  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{CH}_4$  molekuláinak is.) Valamivel később lehűlt a Föld felszíne, megszilárdult a kéreg, óceán képződött. (3,9 milliárd évvel ezelőtt a legöregebb földi sziklák radioaktív órái szerint.) Az új légkör a földkéregből kiáramló gázokból jött létre. A por, a sziklák lassan leadják a "ragados" poláros kötésű molekulákat ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ). Ezeket találjuk vulkáni gázokban, a Vénusz és a Mars légkörében is ezek fordulnak elő, ilyen összetételű lehetett a Föld új légköre is. De oxidált légkör nem kedvez a biokémiai evolúciónak!

A biokémikusok által igényelt redukáló környezet ma csak a Naprendszer hűvös külső zónájában található meg. Az üstökösök anyaga lényegében  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ -jég. Időről időre behatolnak a Nap melegebb közelébe. Kézenfekvő kérdés: milyen messzire jutott el a kémiai evolúció az üstökösökön? Megtörténhetett-e, hogy ilyen testek becsapódása (amely krátereket képezett a légkör-nélküli bolygón és holdakon) a földi vizeket is feldúsíthatta szerves anyagokkal? E szerves molekulák ( $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $\text{HCN}$  és származékai) magasenergiájú kettős kötések tartalmaznak, így polimerizációra voltak hajlamosak. Született olyan hipotézis is, hogy az élet üstökösökön keletkezhetett (talán most is keletkezik), és az üstökösök időnként ilyen földönkívüli étellel fertőzhetik meg bolygónkat. Ha nem is fogadjuk el ezt a merész feltevést, az elképzelhető, hogy az élet olyan földi pocsolyákban képződhetett, amelyeket előzetesen üstökös-anyag telített.

Más bolygók, holdak, üstökösök, kisbolygók kutatására nem csak a messzeségbe való menekülés, nem csupán a science fiction romantikája ösztönöz. A Földre korlátozott figyelem elégtelennek bizonyulhat az élet eredetének megértéséhez. Az úrkutatás taníthat meg arra, miként jelent meg az élet a Naprendszerben. Gyakori-e az élet az Univerzumban? Vagy

talán a Naprendszer több égitestjén lefolyt összjáték rendkívüli következménye? Ha feleletet keresünk a kérdésre: "Mi a helyünk a Nap alatt?", a legrövidebb út a Holdon, Marson, Haley-üstökösön át vezethet.

### *A fejlődés motorjának gyűjtőgyertyája*

A biológiai evolúció konvencionális elmélete szerint (termikus ingadozások, agresszív vegyszerek, ionizáló sugárzás által DNS molekulában létesített) véletlen mutációk kis változásokat okoznak a faj egyedein. A kevésbé jól illeszkedő változatot kiküszöböli a természetes kiválasztódás, a korábbinál jobban illeszkedőt viszont elterjeszti. A lassú változás feltételezett folyamatosságát csak mérsékelten támasztja alá a tapasztalás. Az őslénytan tényanyaga hosszú nyugodt szakaszokról tudósít, amelyek során millió éveken át nem történik figyelemre méltó változás. E nyugodt szakaszokat időről időre biológiai forradalom szakítja meg, amikor a fajok és családok számottevő hányada viszonylag rövid idő alatt eltűnik, helyüket hirtelen lényegesen különböző lények foglalják el. Az evolúciós ugrások választják el a geológiai korokat egymástól.

A biológusok a jelenséget ma úgy értelmezik, hogy amikor egy jól illeszkedő faj elszaporodik, gyorsan telíti az életteret, ezután elnyom minden később jelentkező vetélytársat. Hosszú stabilitás után egy váratlan (talán nem is biológiai jellegű) katasztrófa elpusztítja a növény- és állatvilág számottevő részét. A katasztrófa folytán kiürült élettérben felfüggesztődik a létért folytatott küzdelem. Még a kevésbé jól illeszkedő mutánsok is találnak megélhetést. A tűzszünet átmeneti időszakában az élet elágazhat, diverzifikálódhat. Mire az élettér újra telítődik, annak minden szögletét új specializált faj foglalja el. Ez a modern "vízözön-mítosz" támogatást kapott populációgenetikai modellszámításokban is. De mi okozhat ilyen katasztrófákat? Talán a Föld mágneses momentumának az átfordulása? (A földmágnesség rövid időre eltűnik, tehát megszűnik a kozmikus sugárzás ellen védő pajzs.) Vagy bolygónk más geológiai ciklusa volt a felelős?

Az evolúció dinamikájának felderítésében áttörést jelentett, amikor Louis Alvarez (Nobel-díjas fizikus) azt találta, hogy a geológiai Középkor és Újkor fordulóján (a dinosaurusok kihalásának idején) lerakódott üledékes rétegek különösen gazdagok iridiumban. (Iridium, mint nehéz elem, a földkéregben igen ritka, viszont nagyobb gyakorságú meteorokban, amelyekben az anyag súly szerinti szeparálódása nem történt meg.) Ez a feldúsulás nem korlátozódik egyetlen kontinensre. Iridium-dús üledék képződése 26 millió évenként többször megismétlődött, és általában egybeesett az evolúciós ugrásokkal. A hézagos, de gyarapodó leletanyag lehetséges magyarázata a következő:

Időről időre kozmikus testek (meteoritok, kisboly-

gók, üstökösök) zápora éri a Földet. Azok anyagából és az összezúzott sziklákból mosódhat az iridium az óceánokba. A felvert por elfedi a napfényt. A sötét kozmikus tél elfojtja a fotoszintézist, éhen pusztulnak a növényevők (utánuk a ragadozók is). Mire a por leülepedik, újra kizöldül a növényzet, a néhány túlélő állat felszabadul a létért folytatott küzdelem nyomása alól: terjeszkednek és diverzifikálódnak: az élet korszaka indul meg a Földön.

Sokat beszélnek arról, mi válthatja ki a visszatérő kozmikus bombázást. A vita még nem dőlt el. Egy vonzó (de nem bizonyított) hipotézis szerint a Napnak van egy parányi, eddig nem észlelt csillagtársa (nevezhetjük pl. Sivának), amely elnyúlt ellipszispályán kering. Amikor – 26 millió évenként – megközelíti a Napot, vonzásával megzavarhatja a Naprendszer külső övezetét. Perturbált pályáikon üstökösök indulnak el a belső bolygóövezet felé, több eltalálja a Földet, rajta kozmikus telet idézve elő.

A lépcsőzetes evolúció kérdése nyitott, megoldása a biológia, geológia, asztronómia, űrkutatás együttműködését igényelheti. De az erkölcsi üzenet világos: hogy kis világunkat megértsük, látóhatárunkat kozmikus léptékűvé kell tágítanunk.

A fejlődés a biológia szükségszerű törvénye? Vagy talán törvényszerűen konzervatív minden sikeres faj, amely nem engedi a környezet megváltozását? A fejlődést földrendüléssel, tűzzel és sötétséggel kell kikényszeríteni, hogy azt Siva isten teszi a hindu mitológiában? Az evolúciót csak revolúciók vihetik előre, és a forradalmakat kívülről érkező intervenciók robbantják-e ki? A földi fejlődés ütemét belső biológiai óra határozza meg, vagy a Naprendszer égitestjeinek (véletlenül összeállt) mechanikai óraműve? Esetleg a (Harmadik Világháború által előidézett) nukleáris tél olyan végzetessé válhat az emberre nézve, mint a kozmikus tél volt a dinosaurusok számára?

### *A csillagászat tanításáról*

A csillagászat a természettudományok édesanyja. Minden kor a kultúra fontos elemének tekintette saját csillagászati világgképét. A legutolsó évtizedekben (az informatika mellett) talán a csillagászat a leggyorsabban fejlődő tudomány.

Csillagászatot mindig tanítottak. Valóban csillagászatot hamarabb kezdtek tanítani az iskolában, mint kémiát.

Mindezek ellenére a csillagászat szerepe gyengül az iskolában. Nem nagyon népszerű a tanárok körében, nem adnak neki magas prioritást. Nem nehéz fellelni az ellentmondás okát. A tradicionális tankönyvek csillagászati fejezetét olvasva lehangoló benyomásunk támad.

Sokszor "tündérmeseként" mondják el a csillagászatot. Hangsúlyozzák, hogy milyen messze vannak

tőlünk a csillagok, milyen üres a világűr, milyen idegen a többi bolygó világa. A kevésbé logikusan gondolkodó, inkább irracionális hajló fiataloknak az asztronómia menekülést kínál a fizika keményen egzakt racionalizmusa előtt.

Más tankönyvek nevekkélel árasztják el a tanulók (bolygók, holdak, csillagok, napfelszíni képződmények elnevezésével), meg felfoghatatlan számokkal (főleg távolságokkal, de tömegekkel is és keringési időkkel), minden emlékezetben maradandó logikai váz nélkül.

Jobbak azok a könyvek, amelyek kultúrtörténetként mutatják be a csillagászatot (görögök és reneszánsz, Ptolemaiosz és Arisztarkhosz, Galilei és a pápa, Kepler és Newton). A "modern" fejezetben talán Bradley (aki a csillagok távolságát mérte) és Leveier (aki a Neptunt jósolta meg) egy vagy két évszázaddal ezelőtt. Mindezen tankönyvhősök idős urak tekintélybresztő szürke szakállal, egy kicsit távol a mai tizenévesek világától...

Felelős nevelők haboznak sok időt áldozni poros leckékre, amelyek nem versenyezhetnek a mechanika egzakt gondolkodásra nevelő erejével, az elektromosság gyakorlati hasznával, az atomfizika intellektuális izgalomával. Talán igazuk is van...

A gond az, hogy a legtöbb korábbi iskolakönyv hamis képet kínál a csillagászatról!

Épp a csillagászat legutóbbi viharos évtizedei és az aktív űr kutatás során fogtuk fel, hogy az Univerzum nem egy csodálatos mozdulatlan freskó: dolgok születnek és múlnak el, új dolgokat teremtve, szétesésük által új lehetőségeket tárva fel (még az élet születéséhez és fejlődéséhez is). A kutatók megértették a fizikai törvényeit (mechanikát az égen, elektromosságot és atomokat a laborban, hőtant az iparban). Ez tette számunkra lehetővé, hogy figyeljük és értsük az Univerzum nagyszerű drámáját, amelynek mi is szereplői vagyunk. A tudomány ma egzakt választ keres és talál sok olyan nehéz kérdésre, amelyet korábbi évtizedekben megválaszolni próbált az asztrológia, filozófia, misztika és költészet. Ilyen kérdések ezek: Kik vagyunk? Mivégre vagyunk? Mi helyünk van a világban? Mennyi energia és nyersanyag található körülötünk? És mi a végzetünk?

Olyan kérdések ezek, amelyekre a felnövekvő fiatalok nagyon várják a választ.

#### *Az űrhajó, amelynek neve Föld*

Ennek a varázslatosan őrült évszázadnak a végéhez közeledve, szakértők között közhellyé vált az a meg-

állapítás, hogy mindnyájan egymásra vagyunk utalva, akik e kis égitesten élünk. Ezt az üzenetet legszebben a Földbolygó közismert űrfényképe fejezi ki. A napi időjárásjelentés mesterséges hold felvételei, a futball világbajnokság szimultán tévéközvetítése, telefonbeszélgetés az óceánon át, a hajók és repülők LORAN navigációja, interkontinentális rakéták fenyegése mindennapi életünk részévé tették az űrtechnikát. Tetszik vagy nem tetszik, a mesterséges holdak globális hálója egyetlen egységbe fűzte a Föld 200 országát.

Ez a műszaki realitás éles ellentétben van a közember tudatával. Legtöbbünket csupán saját jólétünk foglalkoztat, mindenki — akinek más a színe, világképe, kultúrája, nyelve — ellenséget látunk. Azt hisszük, hogy egy embercsoport szerencséséjét más népek rovására csinálhatja meg. Az újságok címlapján anakronisztikus lokális konfliktusokat olvashatunk ma, amikor globális pusztítás fegyverei vannak felhalmozva, amikor savanyú eső, radioaktív szennyezés, energiaellátás, mezőgazdaság, sivatagosodás, éghajlatváltozás globális megoldást sürget. Szénnel tüzelünk (savanyú esőt, CO<sub>2</sub> feldúsulás által kiváltott megszaladó üvegházhatást kockáztatva, amit a Vénuszon tapasztalunk)? Kellő figyelemmel tudjuk-e üzemeltetni az atomerőműveket? Egyetlen önző generáció fogyassza-e el a Föld kőolajtartalmának utolsó cseppjét is? Hogyan zavarják meg vízierőművek az ökológiai egyensúlyt? Készek vagyunk az együttműködésre, mint egy űrhajó utasai, akik számára az élelem, víz, levegő, energia biztosítása nyilvánvalóan közös ügy?

Meggyőződése, hogy ma a fizikatanárok egyik kötelessége és előjoga, hogy bemutassa az űrtechnika egzakt tudományos alapjait és felvillantsa annak lehetőségeit. Mind magasabbra emelkedni nemcsak az ismeretlen kaland csábítása miatt érdemes. Fentről lepillantva elhalványulnak a részletek, az országhatárok. Az egységes kép bontakozik ki: légkör, óceán, bioszféra. Az űr kutatást nemcsak kalandorlelkű fiatalok kedvéért találták ki. Férfimunka az, hogy túlélők legyünk ezen a kis bolygón, amely nekünk adatott.

Az űr kutatás a fizika legalapvetőbb törvényeit alkalmazza, jobban, mint más technológiák. Az űr kutatás ragyogóan motivált és izgalmasan realiztikus példákat kínál a fizika minden egyes fejezetéhez. Egyúttal kiváló lehetőséget arra, hogy tanítványainkat új globális felelősségre, globális erkölcsre neveljük.