

determinizmus.) Sokkal inkább az a véleményem, hogy a kvantummechanika tartalma és szemléleti módja összeegyeztethető minden nehézség nélkül egy eléggé általános filozófia keretében és az a meggyőződés, hogy éppen a dialektikus materializmus ez a filozófia.

(A természettudományok filozófiai problémáival foglalkozó, lipcsei egyetemen tartott nemzetközi kongresszuson elhangzott és a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemen megismételt előadás, 1960.)

G. Heber
(Leipzig)

Üzenetek a világűrből?

Emberöltök óta foglalkoztatja az ifjúsági regények szerzőinek fantáziáját az idegen égitesteken viruló élet, főleg az ottlakó értelmes lények társadalmának lehetősége. Kezdetben a holdbeli ember izgatta a képzeletet. A kietlennek bizonyított Holdról a valamivel lakályosabb Marsra, majd Vénuszra szállt a gondolat. Sajnos, nem nagy valószínűsége van annak, hogy itt fejlett étellel, sőt emberszabású kultúrával találkozunk. Sem a Marson, sem a Vénuszon nem találtak számottevő oxigént, ami földihez hasonló élet kémiai redukálótevékenységének a jele lehetne. (Egyszerűbb lények számára alkalmas életfeltételek természetesen megvalósulhatnak e két bolygón. Különösen izgalmas problémákat rejteget ilyen szempontból a Vénusz, amelynek összefüggő felhőrétegén kívül csak a légkör tetejét látjuk.) A többi bolygó már kívül esik a víz forrponja és fagyponja által határolt bioszférán, amely parányi életadó oázisként veszi körül tüzes Napunkat a világűr kiellen éjszakájában.

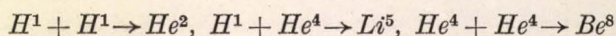
De talán más csillagoknál, kellemes környezetben kialakultak élet- és értelemhordozó bolygók. Van-e lehetőség ilyenre, van-e mód arra, hogy az emberiség, az univerzum Robinson-szerű elhagyatottságban élő kis család magához hasonló élőlényekkel kapcsolatba kerüljön, megismerje azok gondolatait?

K. Kordylewski lengyel és Szu-Su Huang kínai kutatók megvizsgálták az élet keletkezésének fizikai feltételeit. Számunkra elképzelhető élet csak energiasugárzó csillagok közelében, a forrpon és fagypon közé eső átlaghőmérsékletű bioszférában alakulhat ki. Ezt a tartományt a csillag felé az elviselhetetlenül forró, a világűr felé az elviselhetetlenül hideg tartomány határolja. A csillagászati bioszféra a fehér óriáscsillagok nagy tüzhelye körül hatalmas térszerekre terjed ki, sárga Napunknál a Vénusz- és Mars-pálya közé esik, alacsony hőfokú vörös csillagoknál viszont szűk gömbhéjra zsugorodik össze.

Alapvető feltétel, hogy a csillagnak ebben a tartományban bolygóméretű kísérője legyen. Nagyon sok kettős és többszörös égitestet ismerünk, de a mai módszerekkel megfigyelhető legkisebb égitestek is inkább törpecsillagok, mint bolygók. Pl. a 61 Cygni csillag rezgészerű sajátmozgásából egy század Nap-tömegű kísérő léte látszik bizonyítottnak. A közös tömegközéppont körül történő keringés alapján kisebb tömegű kísérő létét a csillag nem árulja el. A kettős és többszörös, igen eltérő tömegű csillagok nagy száma alapján sok csillagász biztosra veszi, hogy ezek a rendszerek egyidőben keletkeztek a presztelláris ködállapotból, így csillagtömeg és bolygótömeg között mindenfajta kísérőcsoport kialakulhatott. Sajnos,

kettőscsillagoknál igen valószínűtlen olyan stabilis bolygópályák mechanikai lehetősége, amelyek végig a bioszférában haladnak. Az élet feltételeit ezért elsősorban magános csillagok feltételezett bolygóméretű kísérőin kell keresnünk. Urey (a deutérium felfedezője) talált bizonyos empirikus indítékot arra, hogy ilyen bolygóméretű testek az univerzumban léteznek: egyes meteorok gyémántszemcséket tartalmaznak, ami arra utal, hogy ezek valamikor kb. Hold-nagyságú hideg égitestek belsejébe ágyazva nagy nyomás alatt álltak. Otto Struve viszont arra mutat rá, hogy az 1,5 Nap-tömegnél nehezebb fősorozatbeli csillagok igen gyorsan forognak, az 1,5—1 Nap-tömeg táján azonban hirtelen leesik a magas sebességek gyakorisága. Ennek legegyszerűbb magyarázata az, hogy az impulzusmomentumot számunkra láthatatlan bolygók vették át. (Naprendszerünkben is a Jupiter és a külső bolygók keringése köti le a teljes impulzusmomentum 98%-át.) A bolygók direkt megfigyelése a csillag mellett ma technikailag reménytelen feladat, mégpedig a légkör által előidézett káprázatjelenség miatt. A földi légkörön kívül dolgozó megfigyelőállomás volna csak képes ilyen megfigyelés elvégzésére, mégpedig a pontszerű csillag eltakarásával és hosszú expozíciós idővel.

Értelmes élőlények kialakulása azonban nem csak a csillagászati bioszférában tartózkodó bolygó lététől függ. Az élet kibontakozásához elegendő időnek is rendelkezésre kell állnia. A fajok fejlődési sebessége függhet ugyan az uralkodó sugárzásintenzitástól (ez összefüggésben van a nagyenergiájú energiakvantumok által kiváltott mutációk gyakoriságával), de nem valószínű, hogy e tekintetben erősen eltérő körülmények uralkodnának az univerzum különböző helyein. Ezért azt mondhatjuk, hogy értelmes lények megjelenésével csak ott számolhatunk, ahol többmilliárd háborítatlan esztendő állt rendelkezésre az élet kibontakozásához. Ilyen hosszú időre szóló stabilitás kizárólag olyan csillagok környezetében van, amelyek energiaforrása a $H \rightarrow He$ szintézis. Ezek az ún. fősorozatbeli csillagok, amelyek szinte kizárólag H^1 és He^4 izotópokból állanak. A H^1 és He^4 ugyanis két olyan atommag, amelyek kettős ütközései közvetlenül soha nem vezetnek stabil magokat eredményező fúzióra. A



reakciók végtermékei ugyanis még számottevő élettartammal rendelkező instabil magok formájában sem léteznek. Ennek könnyen érthető magfizikai, a

magerők spinfüggéséből és kicserélődési jellegéből adódó okai vannak. Ez azt eredményezi, hogy a $H \rightarrow He$ szintézis sok kerülővel, erősen lelassított formában mehet csak végbe, így a csillag H -tartalmának kimerülése többmilliárd évig eltarthat. A termodinamikai egyensúly törvényei miatt nagyobb-tömegű csillag központi hőmérsékletének magasbban kell állnia, ezért bennük a termonukleáris reakciók vehemensebbek. A $H \rightarrow He$ fúzió által jellemzett fősorozatban való tartózkodás számított időtartama különböző tömegű csillagokra:

| | | | | | |
|-----|------------|-------|-------------|---|--|
| 17 | Nap-tömeg: | 0,008 | milliárd év | | |
| 6 | „ | 0,08 | „ | „ | |
| 3,2 | „ | 0,4 | „ | „ | |
| 1,8 | „ | 2 | „ | „ | |
| 1,5 | „ | 4 | „ | „ | |
| 1,3 | „ | 6 | „ | „ | |
| 1 | „ | 13 | „ | „ | |
| 0,7 | „ | 30 | „ | „ | |
| 0,5 | „ | 70 | „ | „ | |
| 0,3 | „ | 100 | „ | „ | |

Ebből az következik, hogy a 1,5 Nap-tömegnél nehezebb csillagok körül keringő bolygókon nem lehetett elegendő idő értelmes élet kivirágzására. (A csillag egy vagy két milliárd éven belül kimeríti hidrogén-készletét, középponti anyaga összesűrűsödik, felhevül, megindulnak a nehezebb magok gyors fúziós reakciói, amelyek rövid idő, néha millió év alatt változó állapotba hozzák a csillagot. Sokszorosára fokozódik a csillag fényessége, a sugárnyomás miatt a csillag külső rétegei a bolygópályáig kiterjednek, esetleg el is nyelik a közeli bolygókat.) 0,5 Nap-tömegnél kisebb csillagok környezetében pedig az alacsony szinten álló kisugárzás miatt olyan szűk a bioszféra, hogy alig van remény odaeső pályájú bolygó előfordulására. Látjuk tehát, hogy ha elfogadjuk a bolygók és élet keletkezését, mint kellő feltételek mellett szükségszerűen bekövetkező folyamatot, az univerzumban uralkodó viszonyok közt miénkhez hasonló értelmes lényeket csak Nap-típusú csillagok közelében kereshetünk.

A legközelebbi csillag, az a Centauri 4,3 fényév távolságban levő háromszoros rendszer, ennél mechanikailag igen valószínűtlen, valószínűleg lehetetlen bioszférába eső stabilis bolygópálya matematikai léte. 17 fényéven belül 40 csillag van Napunk szomszédságában. Közülük azonban mindössze kettő felel meg a mondott fizikai feltételeknek. Egyikük, az ϵ Eridani nem esik biztosan a fősorozatba. Legkedvezőbb szempontunkból a τ Ceti, téli éjszakáinkon a déli éggömbön látható csillag. 10,8 fényév választja el tőlünk. Természetesen nagyobb távolságokra nő a számbajövő csillagok száma.

Ezekután felvetődik a kérdés: mi annak a lehetősége, hogy kapcsolatba lépjünk ezen távoli csillagok feltételezett bolygóinak esetleg hozzánk mérhető, netán bennünket túlszárnyaló értelmű lakóival? A közvetlen látogatás nem volna könnyű feladat. A mai mesterséges égitestek 1 óra alatt megkerülik a Földet, de 100 000 évig tartana útjuk a τ Cetiig. Az egyedüli utazási lehetőséget nyújtó fotonrakéta, mint egy

korábbi cikkünkben olvasható volt, még a nagyon is bizonytalan távoli jövőben, erősen az elvi fizikai lehetőségek határán rejlik.

Sokkal könnyebben realizálhatónak tűnik a rádiókapcsolat felvétele. Ez ma a szakemberek körében élénk vita és konkrét tervezgetés tárgyát képezi. A MASER-ek ma lehetővé teszik a rádiókészülék instrumentális zajainak szinte tökéletes megszüntetését. Elkerülhetetlenül számolnunk kell azonban a külső eredetű rádiósugárzással. Az ionoszféra reflektáló volta miatt elsősorban a deciméteres hullámok jönnek számításba. 1 m hullámhossz felett a galaktikus zaj, 1 cm alatt az ionoszféra erős sugárzása reménytelenné teszi a csillagászati értelemben vett távolsági összeköttetést. A deciméteres tartományban a háttérsugárzás kisebb, mint ami $20^\circ K$ hőmérsékleten uralkodó termikus sugárzásnak megfelelne. Azonban még az is nagy egy földi adó több fényév távolságban észlelhető intenzitásához viszonyítva. Ha azonban igen erősen leszűkítjük a használt frekvenciasávot, a természetes zajnak ide csak igen kis hányada jut, viszont belemegy az egész leadott jelteljesítmény. Így e szűk sávon belül a jel kibukkan a zaj fölé. Mik a mai technika lehetőségei? A Millstone Hill 370 m^2 felületű antennájával hoztak létre radarvisszhangot a Vénuszról. A MASER $10^\circ K$ hőmérsékletnek megfelelő zajú. A kisugárzott teljesítmény 10^{10} watt. Ha $\Delta\nu = 10$ hertz sáv szélességet fognak ki ($\nu \sim 10^{10}$ hertz mellett ez 10^{-10} -es precizitás!) és ugyancsak 1 hertz pontossággal tudják stabilizálni ezt a frekvenciát 100 sec időtartamra, akkor az adás hasonló eszközökkel 8,7 fényév távolságból vehető!

Már konkrét kivitelezés alatt áll egy OZM A nevű berendezés, amely alkalmas a τ Ceti távolságából hasonló teljesítménnyel kisugárzott jelek vételére. (A név OZ-ből, a mesebeli ország nevéből, és a MASER szó kezdőhangjaiból van felépítve.) A tervek szerint a vevő felváltva a kiszemelt csillag irányából, ill. a mellől, az égbolt nem kitüntetett helyéről érkező jeleket fogja regisztrálni.

Egy másik terv szerint Struve a greenbanki rádiótávcsövön jeleket kíván küldeni bizonyos időközönként egyes kiszemelt csillagok felé, a néhány évtized múlva visszaérkező válasz reményében.

Természetesen itt számos érdekes probléma merül fel. Elsősorban a szűk sáv szélesség miatt nem szabad erősen modulált hullámot alkalmazni, így egy jel átvitele több másodpercig tart ($t > \frac{1}{\Delta\nu}$). Ez nem baj, hiszen van idő, legfeljebb nem televíziós közvetítéssel kezdjük a kapcsolat felvételét.

A másik kérdés: hogyan kell megválasztani az adás és vétel igen keskeny sávját a milliárd lehetőség közül, hogy némi esélye legyen a feltételezett értelmes lények által használt frekvenciasáv megtalálásának? Ezzel kapcsolatban ötletes javaslat született meg. Ismeretes módon van a hidrogénatomnak egy 21 cm hullámhosszú, igen éles színeképvonala, amely akkor emittálódik, ha az alapállapotú atomban az elektron spinje a protonéhoz viszonyítva átugrik. Ez a hullámhossz igen intenzív tanulmányozás tárgyát képezi a földi rádiócsillagászok körében, ezzel térképezik fel a Tejútrendszer hidrogénfelhőinek helyzetét, mozgását, a spirális karok rendszerét. Feltehetően foglalkoznak

vele a feltételezett idegen bolygó feltételezett csillagászai is. Ezért azt kellene megpróbálni, hogy az üzenetvivő frekvenciasávot a 21 cm-es hidrogénvonalától különböző, de ahhoz igen közeli spektrumtartományban jelöljék ki.

És mik legyenek azok a jelek, amelyet elsőnek küldünk ismeretlen, de talán létező és üzenetünket felfogó testvéreink felé? Valami olyan jelle volna szükség, amelyik egyszerű, intenzív háttér mellett is világosan fogható, tehát minimális információtartalmú. Mégis félreérthetetlenül tanuskodik arról, hogy útnakindítói értelmes és választ váró emberek,

nem pedig valamilyen ismert vagy ismeretlen, spon-tán bekövetkező természeti tünemény. Csak egy javaslatot említek meg: az első prismszámok Morse-jeleit.

Lehet, hogy 21 év múlva válasz érkezik majd a τ Ceti irányából, mondjuk a Ludolf-féle szám jegyei kettes számrendszerben? Igen kicsiny matematikai valószínűségű események kedvező összetalálkozására volna ehhez szükség. Mostani fizikai tudásunk szerint azonban többet ezirányban nem nagyon tehetünk, és elvégre az egész fizikailag nem eleve lehetetlen.

M. Gy.

Fényhullámok dinamikájáról*

Newton, a fény általa felállított részecskeelméletében, — amint az jól ismeretes — a következő gondolatmenet alapján kísérte meg a fénytörés jelenségének értelmezését. Tegyük fel, hogy egy törőközeg sík határfelületét a beeső „fényrészecskék” párhuzamos nyalábjába éri. Jelöljük egy fényrészecske impulzusát a vákuumban \mathbf{P}_0 -lal, a közegbe való behatolás után pedig \mathbf{P} -vel. Newton feltette, hogy a fényrészecskékre a törőközeg felületén az n belső normálissal párhuzamos erő hat. Ez az erő a fényrészecske impulzusának n -nel párhuzamos összetevőjét változtatja meg; az n -re merőleges összetevőt változatlanul hagyja:

$$(\mathbf{P}_0 \times \mathbf{n}) \times \mathbf{n} = (\mathbf{P} \times \mathbf{n}) \times \mathbf{n},$$

vagy

$$P_0 \sin \alpha = P \sin \beta. \quad (1)$$

Itt α az \mathbf{n} és \mathbf{P}_0 , β pedig az \mathbf{n} és \mathbf{P} vektorok közbezárt szögét jelöli. Newton feltételezte, hogy a P_0 és P impulzusok, valamint a megfelelő sebességek között a részecskék mechanikájából ismert alakú összefüggések állnak fenn:

$$P_0 = mc, \quad P = mv, \quad (2)$$

ahol c és v a vákuumbeli, ill. a közegbeli fénysebességet jelöli, m pedig a fényrészecske tömegét. Az (1–2) egyenletekből m , valamint P/P_0 kiküszöbölése útján a Snellius–Descartes-féle törési törvényt kapjuk:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad (3)$$

ahol

$$n = \frac{v}{c}. \quad (4)$$

A közegbeli v fénysebesség közvetlen meghatározására végzett mérésekből azonban kiderült, hogy a (4) egyenlet nem helyes. A szereplő mennyiségek között ehelyett a következő összefüggés áll fenn:

$$v = \frac{c}{n}. \quad (5)$$

A fény hullámelméletének általános sikere után a fenti okoskodást, melyben fényrészecskékre történik hivatkozás, — úgy vélhetnénk — teljes egészében el kell vetnünk. A következőkben azonban látni fogjuk, hogy a fényhullámok (hullámcsomagok) dinamikai viselkedését figyelemmel kísérvé, a fenti okoskodáshoz bizonyos fokig hasonló módon, a fénytörés törvényére dinamikai magyarázatot adhatunk.

Most következő megfontolásaink azért is érdeklődésre tarthatnak számot, minthogy összefüggenek azzal a több mint fél évszázados vitával, mely akörül folyik, vajon Abraham vagy Minkowski energia-impulzus-tenzora tükrözi hűvebben az elektromágneses tér dinamikai viselkedését polárizható közegben. A két energia-impulzus-tenzor különbözősége lényegében annak folyománya, hogy Abraham, ill. Minkowski eltérő kifejezéseket javasoltak az elektromágneses tér polárizható közegben érvényes impulzussűrűségére.

Max Abraham azt a feltevést tette, hogy az elektromágneses tér \mathbf{G} impulzussűrűsége a törőközeg belsejében az \mathbf{E} elektromos és a \mathbf{H} mágneses térerősségnek ugyanolyan alakú kifejezése, mint vákuumban:

$$\mathbf{G}^A = \frac{1}{4\pi c} \mathbf{E} \times \mathbf{H}. \quad (6)$$

Hermann Minkowski ehelyett egy más kifejezést javasolt, mely az előbbitől az $\epsilon\mu$ szorzóban különbözik:

$$\mathbf{G}^M = \frac{\epsilon\mu}{4\pi c} \mathbf{E} \times \mathbf{H}. \quad (7)$$

Itt ϵ a dielektromos állandó, μ a mágneses permeabilitás; feltételezzük, hogy a közeg homogén, izotrop és nemdiszpergáló.

Síkhullám esetén (6)-ból a következő kapcsolat adódik a \mathbf{G} impulzussűrűség, az $u = (\mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2)/8\pi$ energiasűrűség, valamint a v terjedési sebesség között ($v = c/n$, $n = (\epsilon\mu)^{1/2}$):

$$\mathbf{G}^A = \frac{u}{c^2} v \mathbf{e}. \quad (6a)$$

Ha viszont (7)-et vesszük alapul, ehelyett a

$$\mathbf{G}^M = \frac{u}{v} \mathbf{e} \quad (7a)$$

* Megjelent: American Journal of Physics, 28 (1960) 85.