

NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN

Bioekonomski vidiki entropije*

1. Uvod: Mehanicistična dogma in ekonomija

Človek je v svojem nenehnem boju, da bi razumel, kaj je in kako deluje narava, neprestano iskal oporo v nekem posebnem epistemološkem prepričanju, v neki posebni znanstveni dogmi. Sosledje takih dogem je prekinjalo in bo še naprej prekinjalo evolucijo človeške misli z obdobji epistemoloških mod. V vsakem izmed teh obdobji so si znanstveniki ne le prizadevali akumulirati razvidnost v prid prevladujoče dogme, temveč so tudi suženjsko gledali nanjo kot na edini vir plodnega navdiha. Očitno ponazoritev tega čaščenja dogme in posebno njenih možnih posledic nudi ekonomska veda, ki je dozorela ravno v času, ko je mehanicistična dogma dosegala svoj višek. Ta dogma je izjemno močno prevladovala v znanstveni misli že več kot tristo let. Toda kmalu potem – pred nekako sto leti – jo je prezirljivo zavrnila sama fizika zaradi tej posebni znanosti lastnih razlogov [10, str. 69–122; 4]. Navzlic temu se je še vedno držimo, čeravno nam vdira skoz zadnja vrata. Obstajajo dobri razlogi za to, da človeškega duha tako vztrajno pripisujejo mehaniki, pravzaprav gibanju.

Misel, da mehanika odpira široko pot človekovemu znanju, ima zelo stare korenine. Privlačne ure, ki so krasile številne katedrale in palače, so jo vsak dan napovedovale dolgo pred tem, ko je Leonardo da Vinci v *Macchine per volare* (na začetku 16. stoletja) dokazoval, da bi človek moral biti zmožen reproducirati mehanizem, ki ga predstavlja leteča ptica. Descartes, ki je v naslednjem stoletju v *De l'homme* dokazoval, da »je živo telo stroj . . . nič več in nič manj kot gibanje ure ali kateregakoli drugega avtomata«, je zgolj eksplicitno oblikoval misel, ki je dolgo pred tem za mnoge postala elementaren predmet vere. Toda brez Kopernika, Keplerja, Galileja in Newtona – če omenimo le najzgodnejše arhitekta klasične mehanike – mehanicistična dogma ne bi pridobila tiste prevlade v znanosti in filozofiji, ki jo je tako ostro izrekel Laplace v svoji znameniti apoteozi mehanike [29, str. 4]. Vsaka stvar na svetu – bodisi v preteklosti, sedanjosti ali prihodnosti – je razglasil z ošabnostjo, ki je zrcalila razpoloženje vseh znanstvenih krogov tedanjega časa – je popolnoma določena s temeljnimi zakoni mehanike. Laplace je dejansko priznal, da bi lahko le demiurgični duh uspešno določil začetne pogoje vsakega delca v univerzumu in tudi rešil velikanski sistem enačb, ki vodijo gibanja teh delcev. Ponovljene situacije, v katerih je napoved posameznega dogodka odvisna le od rešitve nekaj enačb, so vedno bolj in bolj spektakularno potrjevale mehanicistično dogmo. Najbolj spektakularen od takih ugodnih dokazov se je

* Prevod iz: Entropy and Information in Science and Philosophy, ur. Libor Kubat in Jifi Zeman, Academia Praga, 1973.

zgodil leta 1846, ko so – v manj kot mesecu dni po tistem, ko je Urbain Leverrier pred francosko akademijo napovedal obstoj novega planeta in njegov verjeten položaj – C. J. Galleova opazovanja iz berlinskega observatorija v *celoti* potrdila Leverrierjeve rezultate na papirju.

Pionirji ekonomske vede, ki so vsi delovali v 19. stoletju, so bili napeljeni, da so – vsak na svoj način in z različnimi stopnjami zavesti – na mehaniko gledali kot na model vsakršne discipline, ki si zasluži ime znanosti. Mnogi so odkrito dopuščali, da ekonomije ne moremo dojeti drugače kot »*mehaniko koristi in samointeresa*« – to je jasno določena oblika, v kateri je to pozicijo definiral Jevons [25, str. 21]. Toda dejstvo, da je glavno telo ekonomije še do danes ostalo popolnoma zvesto stari mehanicistični poziciji, nima enako preprostega upravičenja. Gotovo obstaja dejstvo, na katerem je vztrajal lord Kelvin, da človeški um bolje razume vsakršen pojav, če je prikazan z mehaničnim modelom. Človeška narava je, naposled, taka, da lahko delujemo le s potiskanjem in potegom. Toda te naše pomanjkljivosti za znanost niso razlog, da ostaja vselej navezana na te omejitve. Bolj plavzibilen vzrok epistemološke inerce, ki je značilna za moderno ekonomiko, se zdi hudo napačno postavljena ekonomija uspešnosti. Dejansko je vsak model, ki vsebuje – kot vsi ekonomski modeli – načelo ohranitve¹ in pravilo maksimalizacije, mehanska analogija z najpreprostejšo možno strukturo, analogija s sistemom, reduciranim na njegove kinematične vidike. Večina ekonomskih modelov dejansko niti ni kinematična, ker niso v nikakršni natančni obliki povezani s časom. S temi modeli so bila odprta vrata zlorabam abstrakcije; rezultat je, da je ekonomska teorija postala srečno lovišče za ljubitelje čistih matematičnih vaj. To je največja nesreča, kajti – kot je odkril nihče drug kot nek inženir za potrošnjo [26, str. 111] – matematika lahko tudi služi kot nadomestek za običajno težavno nalogo spopadanja z dejanskim pojavom.

Slepa trdovratnost, s katero so moderni ekonomisti branili svojo skrb za številke, je v analih znanosti enkratna. Moderni ekonomisti so – srečni v svoji lastni niši – v ekonomski znanosti, reducirani na papirnate vaje o ultrasimplificiranih kinematičnih modelih – izgubili vsakršno zanimanje, da bi sledili evoluciji drugih disciplin, vključno s samo mehaniko. Če bi kdorkoli izmed vidnih ekonomistov povedal kakšno misel o poznejši usodi te znanosti, bi ekonomija po vsej verjetnosti že dolgo pred tem doživela svojo odločilno prekretnico. Kajti Jevons in Walras nista dala vedeti za svoje načrte za novo sestro mehanike nič prej, kot so znamenja napovedovala padec mehanicistične dogme.

II. Ekonomija in evolucija

Obstajajo določene pomembne posledice mehanicistične narave moderne ekonomike. Prva posledica je standardna analiza, ki zjaja tržni proces na analogijo z nihalom. Začetni položaj je – ne glede na to, kako se spreminjajo cene ali načrt povpraševanja in ponudbe – vselej v *celoti* znova vzpostavljen, brž ko so te spremembe obrnjene. Vse stvari se ravnaajo po zgodbi znamenite rime gosje matere, v kateri je pogumni yorkški vojvoda gnal svoje trume gor in dol po hribu, ne da bi delal kakršnokoli zgodovino. Alfred Marshall, ki je edini med velikimi vztrajal, da je ekonomija prej sestrskaa znanost biologije kot mehanike, je pokazal, da je ponudba podvržena ireverzibilnim spremembam, če se premakne povpraše-

¹ Takega kot: »Nič ni uničeno ali ustvarjeno, vse je v neki posebni meri spremenjeno«.

vanje [30, str. 808]. Zelo preprosto, za isto ireverzibilnost so tudi pokazali, da jo je moč aplicirati na povpraševanje [12]. Toda modernim ekonomistom je bilo nasploh ljubše, da niso zapletali svojega udobnega kinematičnega okvira s takim evolucijskim pojavom.

Še presenetljivejši simptom kinematične epistemologije je koncepcija ekonomskega procesa kot krožnega toka znotraj popolnoma zaprtega sistema. To potrjuje krožni diagram, povezujoč »produkcijo« in »konsumpcijo«, s katerim je ta proces ponazorjen v skoraj vsakem standardnem učbeniku.² Tej sliki seveda ne ustreza niti cirkulacija denarja, če jo vzamemo izolirano, kajti celo denar (v kakršnikoli obliki) se navsezadnje izrabi in ga je treba spet oskrbeti iz virov, ki so tuji denarnemu toku. Skoraj gotovo je, kajpada, da se je cirkulacija denarja predstavljala in se še predstavlja v temeljnih nazorih skoraj vsakega ekonomista [13, str. 8].

Ta krožni koncept ekonomskega procesa že od začetka zanikuje, da utegne imeti boj človeštva z materialnim okoljem kakršnokoli vlogo v ekonomskem procesu. Če bi ekonomisti prepoznali pravo naravo tega procesa – ki je, kot bom dokazal v tem članku, entropijski in ne kinematičen – bi bil problem onesnaževanja, ki nas je nenadoma presenetil pred nekaj leti, imel drugačno zgodovino; in tako bi bilo tudi z drugo stranjo entropijskega problema, namreč z nepremišljenim trošenjem naravnih virov.

Toda če se povrnemo k začetkom ekonomske znanosti, bomo tam odkrili priznanje, da je delo oče in narava mati blagostanja, kot je pridigal sir William Petty, tisti globok preučevalec človeške družbe [24, II, str. 377]. Tem bolj nenavadno je – čeravno se je od takrat naše poznavanje preteklosti povečalo in nenehno širilo – da so moderni študenti ekonomije še naprej ostali ravnodušni do nekaterih kričečih primerov, v katerih je bilo okolje glavni dejavnik zgodovine. Jasen in tudi zelo dobro znan primer je velika selitev, ki jo je povzročilo izčrpanje plodnosti tal v centralni Aziji z dolgo in naraščajočo pašo. Vidne civilizacije – taka kot civilizacija Majev – so izginile iz zgodovine zato, ker njihovi ljudje niso bili sposobni migrirati ali ustrezno ravnati s pojemajočimi viri okolja. Toda nad vsem je dobro znano (in neizpodbitno) dejstvo, da je boj za nadzor nad naravnimi viri celo v moderni in sodobni zgodovini igral prevladujočo vlogo.

Tisti, ki se v znanostih življenja oprijemljejo mehanicistične dogme, ne morejo videti, da je zgodovina evolucijska, to je da poteka na ireverzibilen in celo nepreklicen način; popolnoma reverzibilno je le gibanje v prostoru. Naš planet bi se lahko na primer zelo dobro gibal po ekliptiki v nasprotno smer; torej ne bi bil kršen noben zakon mehanike. Mehanične enačbe sploh niso motene, če časovno koordinato spremenimo iz t v $-t$. Mehanika torej ne more razložiti enosmernosti, po kateri se gibljejo evolucijski pojavi. Ni popolnoma nobenega načina preveritve, ali se film poskakujoče, popolnoma elastične krogle vrti naprej ali nazaj, razen če scena ne vključuje tudi nekega ireverzibilnega procesa. Mehanika tudi ne more razložiti kvalitativne spremembe, ki tvori drug temeljni vidik evolucije. Gibanje predstavlja le spremembo prostora in taka sprememba je lahko vselej reverzibilna. Po drugi strani pa celo najpreprostejše dejanje človeškega bitja – bodisi da sežge kos preмога ali celo zajame sapo – povzroči nepreklicno kvalitativno spremembo v celotnem sistemu (ki sestoji iz te osebe in njenega okolja). Če moderna

² Naj navedem le nekaj najbolj upoštevanih učbenikov: G. L. Bach, *Economics*, 2. izd., Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1957, str. 60; Paul A. Samuelson, *Economics*, 8. izd., New York: McGraw-Hill, 1970, str. 72; Robert Heilbroner, *The Economic Problem*, 3. izd., Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1972, str. 177.

ekonomija ni evolucijska znanost (kot bi morala biti), je to zato, ker so se njeni najodličnejši služabniki oprijeli starega laplaceovskega nauka o svetu, ki je popolnoma določen z mehaniko in le z mehaniko.

III. Entropijski zakon in bioekonomski pojavi

Nekateri ekonomisti so opazili, da človek ne more niti ustvariti niti uničiti materije ali energije [npr. 30, str. 63], resnico, ki izhaja iz načela o ohranitvi, najprej vzpostavljenega v mehaniki, in ki je bilo kasneje sprejeto kot prvi zakon termodinamike. S tem načelom smo torej še vedno v mehaniki in za modernega ekonomista je vse v redu, da dokazuje, da človek lahko producira le koristi zgolj s preurejanjem stvari. Nenavadno je seveda, da se zdi, da ni nihče v tej poziciji odkril očitnega paradoksa: zakaj potem človek ne more preurediti pepela in dima, ki ju ustvarja ogenj, da bi tako rekonstruiral prvotno klado?

Da bi vprašanje postavili v pravo luč, pretresimo ekonomski proces v njegovi celoti in si ga oglejmo zgolj s *popolnoma materialnega* gledišča. Slika je slika delnega procesa, ki je – kot vsi taki procesi – *analitično* opisan z abstraktno, prazno mejo, ki ga zgolj ločuje od ostalega materialnega univerzuma, to je od človeškega okolja. Tisto, iz česar potem *dejansko* sestoji ekonomski proces, je izmenjava materije in energije preko njegovih meja.³ To je tisto, kar nas uči mehanika. Toda ekonomija ni mehanika niti celo čista fizika. Najsilovitejši zagovornik pozicije, da viri okolja nimajo ničesar opraviti z vrednostjo, verjetno ne bi mogel zanikati, da je med tistim, kar vstopa v proces, in onim, kar je njegov rezultat, *kvalitativna* razlika. Razlika očitno ne more biti kvantitativna: to bi kršilo načelo ohranitve.

Neortodokсни ekonomist bi rekel, da so tisto, kar v njem poteka, *koristne oblike materije in energije*, koristni viri, in tisto, kar proces zavrže, so lahko nasploh le *nekoristne oblike materije in energije*, to je odpadek. In – kar je zelo pomembna točka – to razliko sedaj priznava (červavno v različnih okvirih) posamezna (in posebna) veja fizike, termodinamika. Kajti za termodinamiko je materija-energija, ki vstopa v ekonomski proces, v stanju *nizke entropije*, tisto pa, kar je njegov rezultat, je v stanju *visoke entropije*.

Koncept entropije je v vseh svojih podrobnostih tako zapleten, da je neka avtoriteta v termodinamiki prepričana, da ga »celo fiziki stežka razumejo« [19, str. 37].⁴ Da bi bila zadeva še bolj zapletena, pa sedaj kroži termin z mnogimi drugimi pomeni nefizikalne, čisto formalne narave [14, dodatek B]. Nedavna izdaja *Webster's Collegiate Dictionary* (1965) ima pod entropijo tri opise. Še več, definicija, ki se nanaša na fizični svet, je izrecno konfuzna: »mera nerazpoložljive energije v zaprtem termodinamičnem sistemu, ki je v takem odnosu do stanja sistema, da sprememba v meri variira s spremembo v razmerju porasta toplote, vzete pri absolutni temperaturi, pri kateri je absorbirana«. Toda starejša izdaja (1948) ponuja preprosto, pametno definicijo, ki bo – červavno ne more zadovoljiti specialista – zadostovala za splošne namene, kakršni so nameni te razprave: »Mera nerazpoložljive energije v [zaprtem] termodinamičnem sistemu«. Treba nam je le

³ Za podrobno razpravo o analitični predstavitvi problema glej [14, IX. pogl.].

⁴ Razprava o entropijskem zakonu v [21, str. 17] si prizadeva zagovarjati to sodbo. Celo pojem toplote zastavlja nekatera zelo zanimiva vprašanja z rezultatom, da se nekateri fiziki utegnejo motiti tudi glede nje. Glej *Journal of Economic Literature* X (december 1972), str. 1268.

dodati, da energija eksistira v dveh kvalitativnih stanjih: *razpoložljiva* ali *prosta* energija, nad katero ima človek precejšen nadzor (natančneje, ki se jo da spremeniti v delo), in *nerazpoložljiva* ali *vezana* energija, ki je človek sploh ne more uporabljati (ki je ni moč na noben način spremeniti).⁵ Kemična energija koščka premoga je prosta, ker jo človek lahko uporablja za takšen ali drugačen namen. Toda neizmerna količina toplotne energije, razpršene v morjih, je vezana energija. Jadrnice je ne morejo uporabiti; namesto tega potrebujejo prosto naftno ali vetrno energijo.

Da bi obstajala prosta energija, moramo imeti diferencialno raven kot raven vodnega slapa ali raven med temperaturama kotla in hladilnika v parnem stroju. Kot je prvi opazil Nicholas Sadi Carnot v nove poti utirajoči znanstveni razpravi o učinkovitosti parnega stroja (1824): kjer prevladuje ista temperatura, kakorkoli že visoka, ne more delati noben stroj.⁶ Vezana energija je oblika, v kateri energija sestoji iz popolnoma razpršene toplote. Drug način za opis dveh konceptov je pripomba, da prosta energija implicira red – čim toplejša je para v kotlu, tem hladnejša mora biti tekočina v hladilniku; medtem ko je za vezano energijo značilen nered, kaotična razpršitev. Na entropijo torej lahko gledamo tudi kot na indeks nerada. Zaradi tega lahko, na primer, rečemo, da je entropija bakrene pločevine *nižja* kot entropija rude, iz katere smo jo pridobili.

Distinkcija med dvema kvalitetama energije, ki je specifična za termodinamiko, je gotovo antropomorfna. Toda zadeva ne bi smela delati težav nobenemu preučevalcu človeka niti celo preučevalcu inertne materije. Z dejanskostjo ne moremo stopiti v miselni stik razen prek antropomorfnih kanalov. Če je antropomorfizem presenetljivejši v primeru termodinamike, je to zato, ker ležijo korenine te znanosti v običajni razliki med stvarmi, ki imajo ekonomsko vrednost, in tistimi stvarmi, ki so nekoristna izguba. Termodinamika je dejansko zrasla iz Carnotove znanstvene razprave, prvega znanstvenega dela, ki je primerno za ekonomijo primanjkujočih virov. Termodinamika se je tako začela kot fizika ekonomske vrednosti in je ostala taka navzlic svojemu poznejšemu razvoju, ki je abstraktnejše narave.

Bistveni ekonomski naravi entropijskega zakona, alias drugega zakona termodinamike, bi morali dati še močnejši poudarek. Ta zakon je edini, ki razlikuje termodinamiko od mehanike. Dejansko govori, da je univerzum ali kakršenkoli drug zaprt materialni sistem⁷ vselej podvržen ireverzibilnemu (raje nepreklicnemu) procesu, ki se izkazuje z nenehnim naraščanjem entropije sistema. Z drugimi besedami, v vsakem zaprtem sistemu obstaja nenehna težnja proste energije, da bi se spremenila v vezano energijo, urejenih struktur, da bi se spremenile v neurejene. Skratka, vsak zaprt sistem je nenehno podvržen procesu nepreklicne degradacije, katere zadnji rezultat je popolna razpršitev energije v uniformno toploto in urejene materije v nered. Končno stanje univerzuma je – tako se zdi – tako imenovana toplotna smrt, vendar je kaos boljši termin zanj. Naj bo, kakor že utegne biti⁸, iz neizpodbitnih in ponovnih izkušenj vemo, da se bodo

⁵ Tehnično obstaja razlika med prosto in razpoložljivo energijo in, *ipso facto*, med vezano in nerazpoložljivo energijo. Toda ta tehnični detajl se ne tiče pričujočega argumenta.

⁶ Ideja [21, str. 17], da temperatura meri »koristnost« toplote, je torej popolnoma nesmiselna.

⁷ Sistem je zaprt, če prek njegovih meja ni nikakršne izmenjave materije ali energije. Količini materije in energije sta v zaprtem sistemu očitno stalni. Toda stalnost teh količin ne zagotavlja povečane entropije; če obstaja izmenjava, lahko količina vezane energije upade.

⁸ Vprašanje je povezano z neskončnimi polemikami okrog evolucije univerzuma [14, VIII. pogl.].

ledene kocke v kozarcu vode vsaj v našem delu sveta in v zdajšnji kozmični fazi naposled stopile in da bo voda v kozarcu naposled dosegla svoje termodinamično ravnotežje v odnosu do okolice.

Najpomembnejši od vsega sta dve drugi zadevi, ki ju implicira entropijski zakon. Prvič, prosta energija koščka premoga bo naposled degradirana v vezano, nekoristno energijo, četudi premog – namesto da bi ga uporabili – pustimo na tleh. Drugič, ta degradacija je ireverzibilna ali, raje, nepreklicna. Končni učinek je, da ko so se enkrat ledene kocke v kozarcu vode stopile, se ne bodo pod nikakršnimi pogoji spet same od sebe oblikovale. Kajti če bi se, bi entropija padla na prejšnjo, nižjo raven. Lahko kajpada povzročimo, da vsa voda zamrzne, vendar le z degradacijo neke proste energije znotraj večjega sistema, ki vključuje tudi električno centralo, ki oskrbuje hladilnik z elektriko. V tem primeru entropijski zakon zahteva, da entropija tega večjega sistema naraste. To v neposredni aritmetiki pomeni, da bi s padcem lokalne entropije kozarca vode morala narasti entropija ostalega sistema.⁹

Ekonomisti so ponosni na to, ko rečejo, da »ni brezplačnega kosila«, da je treba za vse plačati svojo ceno, tako da sta cena in vrednost vselej uravnotežena. Entropijski zakon nas uči, da človeštvo živi pod ostrejšo zapovedjo: v *mejah entropije* je strošek za kosilo večji kot njegova cena. Zato je obžalovanja vredno, da so napačno razumljena razmerja vodila nuklearne znanstvenike k temu, da so prikrili to resnico. Atomski reaktor, ki s pomočjo nekega atomskega goriva spreminja necepljivo, vendar bogato gradivo v cepljivo, se celo v specialni literaturi imenuje »oplojevalec«. In kar je še več, oplojevalca zdaj hvalijo, da je zmožen »producirati več goriva, kot ga porabi«, opis, ki je primeren za zavajanje neosveščenih ljudi. Ali bi bilo pravilno reči *le*, da tovarna kladiv, na primer, producira več kladiv, kot jih porabi? Kruta resnica je, da ni niti piščančja farma »oplojevalec«; v skladu z entropijskim zakonom še celo tak proces porabi več proste energije, kot jo je v njegovih produktih. Zmeda, za katero se je na tak ali drugačen način dopustilo, da se je razširila med laiki, predstavlja veliko oviro za pravilno razumevanje problema okolja. Gotovo, zdi se, da poziv k »izboljšanju okolja« ki ga tako prestižna organizacija, kot so Združeni narodi, ponavlja v svoji stockholmski deklaraciji o človekovem okolju (junij 1972), pospešuje vtis, da ni v naši moči le zaustavitev delovanja entropijskega zakona, temveč tudi preobrnjenje le-tega.

Nekateri – posebno Henry Bergson [3, str. 245f] – so trdili, da je življenje izjema v zgornji zapovedi, da se izogone entropijski degradaciji. Ali se ne zdi, da v nekem končnem časovnem obdobju ohranjajo vsi organizmi svojo visoko urejeno strukturo nedotaknjeno? Trditev verjetno ne more pomeniti, da lahko življenje porazi entropijski zakon. Kot so drug za drugimi pokazali veliki naravoslovci, življenje, čeravno ni popolnoma razložljivo z zakoni materije-energije, jima verjetno ne more nasprotovati. Kar organizem v celoti dela, je preprosto; kot je Erwin Schrödinger rekel v veliki mali knjigi [33, str. 71 f]: vsrkava nizko entropijo iz okolja (in odpravlja visoko entropijo). Tako si organizem prizadeva kompenzi-

⁹ Tu lahko le mimogrede omenimo, da so vztrajna prizadevanja adeptov mehanicistične dogme mehaniko naposled pripeljala spet v termodinamiko v novi družbi: v družbi z verjetnostjo. V tem procesu so kajpada »verjetnost« napačno obravnavali, kot še nikoli pred tem oziroma doslej. Najpomembnejše dejstvo je, da za *ново* disciplino, za tako imenovano statistično mehaniko, spontano oblikovanje ledenih kock v kozarcu vode ni nemogoče; je le zelo neverjetno. Ta pozicija je pospešila prepričanje, da lahko – ker je dogodek možen – z nekim preprostim sredstvom povzročimo, da se dogodek zgodi, kadarkoli si to želimo, tako kot lahko goljuf vrže »šestico«, kadarkoli si zaželi. Kot duhovito ugotavlja P. W. Bridgman, potem bi lahko »prikrili entropijo« [14, VI. pogl.].

rati nenehen, neogiben razpad svoje občutljive strukture. Očitna podobnost med tem procesom in ekonomskim procesom, gledanim v celoti, je potrdila Marshallovo intuitivno percepcijo njunega sorodstva. Nesporen namen obeh procesov je seveda ohranitev.¹⁰

Prisotnost življenja je kajpada pomembna. Kot kažejo najpreprostejša dejstva: življenje vpliva na entropijsko degradacijo včasih tako, da jo upočasnjuje – kot tedaj, ko zelene rastline preprečijo *neposredno* degradacijo dela sončnega sevanja v razpršeno toploto – včasih tako, da jo pospešijo – kot tedaj, ko se živali hranijo z rastlinstvom ali z drugimi živalmi. V tej poziciji ni nikakršnega surovega vitalizma. Kajti – zadeva, ki je vredna velikega poudarka – entropijski zakon ne vsiljuje niti določene hitrosti niti posebnega vzorca entropijske degradacije. Vse, kar pravi, je, da je taka degradacija neizogibna in nepreklicna. Ravno zaradi te entropijske svobode dejanskih pojavov si lahko življenje privzema neskončno različnost oblik in ravno zato lahko pospešimo entropijsko degradacijo okolja v skladu z ekonomskimi načrti po naši izbiri [14, str. 12, 194 f].

V življenjskem procesu bi bilo kajpada nesmiselno videti le spremembo nizke v visoko entropijo, virov okolja v odpadek. Odpadek je le materialni stranski produkt takega procesa. Njegov resnični rezultat je uživanje življenja, ki se ga popolnoma zavedamo in ki mora eksistirati kot entropijski tok na vsaki biološki ravni. Po drugi strani pa bi bilo enako nesmiselno popolnoma ignorirati – kot delajo ekonomisti – kontinuirano in nepreklicno izkoriščanje virov okolja kot tudi nenehen tok onesnažujočih odpadkov. Ti niso le ireduktibilni vidiki ekonomskega procesa, temveč tudi dejavniki, ki oblikujejo njegovo evolucijo. Človek, odkar je odkril svoje industrijske zmožnosti, si je prizadeval odkriti nove oblike proste energije kot tudi učinkovitejša sredstva za njihovo izkoriščanje ravno zaradi nezadostnosti virov, ki so potrebni za ohranitev človeške vrste.

IV. Entropijski zakon in ekonomsko pomanjkanje

Glavna korenina ekonomskega pomanjkanja poganja iz entropijskega zakona. Kot ni noben živ organizem nesmrten, tako tudi ne more nobena urejena struktura trajati večno – to je ravno zaradi tega zakona. Res je, vsaka urejena struktura je lahko ponovno ustvarjena, vendar le z dodatnim degradiranjem proste energije, tako da mora končno ravnotežje pokazati entropijski porast. Ker pa se sama prosta energija lahko uporabi le enkrat, lahko isto rečemo tudi za vsako urejeno strukturo.

Predstavlajte si, nasprotno, da bi bakrena streha na zgradbi trajala neomejeno in da bi lahko prosto energijo tone premoga znova in znova uporabljali. Potem človeštvu ne bi bilo treba kontinuirano ohranjati izkopa bakra in premoga, temveč le v obsegu, v katerem bi se pojavile *nove* potrebe po teh virih. Pomanjkanje virov okolja bi se torej lahko pojavilo le, če bi bila njihova količina omejena; v tem primeru bi bilo pomanjkanje istovetno z dejanskim pomanjkanjem ricardovske zemlje (tj. zemlje kot čistega prostora). Ricardovsko zemljo – čeravno je omejena – lahko uporabljamo znova in znova brez omejitev. V tem domišljijem svetu bi bilo število prebivalstva ob vsakem času omejeno s celotnim *fondom*

¹⁰ Obstajajo določene druge obravnave, ki popolnoma podpirajo nazor, da je ekonomski proces razširitev biološkega [14, str. 307f, 348f].

virov, vendar pa življenjski lok človeške vrste ne bi poznal nobenih omejitev. V dejanskem svetu pa seveda entropijski zakon postavlja končno mejo tudi temu življenjskemu loku (VI. raz., spodaj). Fiziki, kot H. von Helmholtz, in biologi, kot J. B. S. Haldane, so znova in znova opozarjali svoje soljudi, da je najbolj gotova usoda človeštva taka, kakršna je usoda vsake druge vrste: izginitiv.

Ta sklep gotovo žali človekovo samopripisano višje dostojanstvo. Človek je vselej imel neko notranjo silo, da je o sebi razmišljal kot o enkratnem, izjemnem bitju, ki je nad zakoni, ki jih je moč aplicirati na druge vrste. V Genezi se je razglasil za podobo samega boga. Včasih je verjel, da se okrog njegovega nepomembnega bivališča giblje celoten univerzum, pozneje, da to dela le sonce. Nekoč se je ukvarjal z mitom perpetualnega gibanja prve vrste, ki bi povzročilo, da bi bil domala neodvisen od vsakršne zunanje sile, kajti potem bi lahko do konca znova in znova uporabljal isto količino energije. Pozneje se je oklepal mita perpetualnega gibanja druge vrste, v katerem se lahko prosto energijo pretvarja med toploto in delom v obe smeri brez kakršnekoli degradacije. Oba mita še živita v razširjeni, čeravno negotovi zvestobi možnosti »prikrivanja entropije«. Soroden mit je prišel na dan z zdajšnjimi kontroverzami okrog grožnje onesnaževanja in energetske krize. Po tem mitu bo človek vselej uspešen v odkrivanju novih in obilnih energetskih virov in v odkrivanju vedno učinkovitejših sredstev za njihovo izkoriščanje.

Nič več ne moremo dvomiti, da standardna slika ekonomskega procesa popolnoma ignorira dejavnik okolja ravno zato, ker ekonomisti nasplošno ta mit sprejemajo. Kajti sedaj, ko so sterilnost te slike pokazali tako dogodki kot kritiki, so standardni ekonomisti postavljeni pred eksplicitno obrambo tega mita za vsako ceno. Tisti, ki so vselej zasramovali vsakršen institucionalni ali zgodovinski pristop v ekonomiji, si zdaj pri obrambi standardnega okvira ne pomišljajo klicati na pomoč preteklih človekovih tehnoloških uspehov [2; 28; 39]. W. Beckerman, na primer, se kot pijanec plota drži dejstva, da se ekonomska rast ni nehala že od starih časov sem [2, str. 332 f].¹¹ Težava je, da zgodovinski argument v primeru enkratnega vzorca, kakršen je za nas človeštvo, ni prepričljiv. Nekoga lahko napade rak navzlic temu, da je bil prej popolnoma zdrav. Zgodovinski argument lahko dejansko spodreže obe poti. Zgodovina tudi kaže, da so se viri, ki oskrbujejo življenje, izčrpali, in nekatere velike skupnosti so klonile pred pojemajočo oskrbo. V take vrste situaciji utegnejo biti za kazanje tega, na kateri strani je resnica, zanesljivejši drugi premisleki.

Naša vesoljska ladja – zemlja – plove, kot plove, znotraj kozmične zaloge proste energije. Na nesrečo je človeku dostopen le infinitezimalni del te energije. Kajti človek bi ostal omejen na drobec kozmičnega prostora, četudi bi lahko potoval v prostoru s svetlobno hitrostjo; da bi si zgolj ogledal sosedstvo najbližjega sonca in poizvedoval za kak možen, še negotov, zemlji podoben satelit, bi potreboval devet let. Medzvezdna potovanja nimajo ekonomskih upov [8, str. 28].

¹¹ Na zgodovino se sklicujejo tudi mnogi drugi naravoslovci, za katere se zdi, da delijo mit nesmrtnega človeštva [1]. Toda reakcije ekonomistov imajo druge vidike pripovedovanja zgodbe. Standardni ekonomisti sedaj že leta in leta povzdigujejo ekonometrični model kot edino zanesljivo orodje znanstvenega napovedovanja. Domala ekskluzivno so uporabljali tudi modele s stalno stopnjo rasti in, še več, pridigali, da je ekonomski načrt uspešen le, če lahko ohrani eksponentno rast. Standardni ekonomisti so sedaj napadli sedanje poročilo rimskega kluba [31] zaradi uporabe teh pravih orodij njihove trgovine. In to še celo ni vse. Visoko cenjeni pisci in publikacije si niso pomišljali zateči se k poluciji sramotitev, odkriti ali prikriti, proti tistim, ki so – kot »čudežni otroci iz MIT-a« [2, str. 327] – skušali opozoriti na ekološki problem.

Človekova biološka narava postavlja energiji, s katero lahko ravna, celo bližje meje. Previsoka ali prenizka temperatura je nezdržljiva z njegovim preživetjem. Tako je tudi z mnogimi sevanji. Na kratko, tako prostor kot količina proste energije, ki nam je na razpolago, sta končna. *Torej*, človeška vrsta se mora končati. Te usode ne moreta spremeniti nobena količina zaupanja v človekovo naravo in nobeno zagotovilo s profesionalnega stola, da se bo ekonomska rast neomejeno nadaljevala [2, str. 344].

Tako kot v primeru posameznega organizma bo naravni konec dosežen z zelo počasnim procesom staranja, ki se včasih utegne kazati z neko vidno krizo. Toda vrsta, kot je naša, gotovo ne bo klonila pred prvo krizo. Niti ne bo vsaka kriza trajala morebiti nekaj let, temveč stoletja ali, raje, tisočletja. Dejavniki, odgovorni za proces staranja, delujejo neprestano, celo tedaj, ko noben otipljiv simptom ne izdaja njihove prisotnosti. Še več, njihovo delovanje je enosmerno in nepreklicno. Živo bitje – kot je pripomnil jainistični filozof – začinja umirati ob rojstvu. Zdajšnje polucijske katastrofe in grozeča energetska kriza so zelo verjetno prvi jasni namigi starosti. Vendar to ne pomeni, da je konec blizu niti celo na vidiku. Trenutno nimamo sredstev niti za napoved njegovega verjetnega nastopa. Zaradi tega lahko kdo krivi poročilo rimskega kluba za napoved, da bo človeštvo doseglo katastrofalno krizo, točko brez vrnitve, v naslednjih štirih desetletjih [31]. Toda poročilo ima navkljub temu zaslugo, da sistematično raziskuje nekatere temeljne vidike človeškega počasnega korakanja v propad. Nesmiselni so tudi poskusi, da bi ga postavili ob stran, tako da bi pogledali le nekaj desetletij nazaj in bili zmožni skleniti, da rudni viri zadostujejo za vzdrževanje prevladujoče ravni obilja v ZDA [npr. 18].

V. Sončna energija proti zemeljski energiji

Preprosta pripomba, da je naše okolje končno, samo oplazi ekonomski problem človeštva. Vse vrste živijo v omejenem okolju. Praktično vsaka vrsta – vključno s človekom – tudi neposredno ali posredno izpeljuje svojo biološko eksistenco iz sončnega sevanja, ki dosega naš planet. Človek je enkrat v tem, da poleg endosomatskih organov (organov, s katerimi je organizem biološko obdaren) uporablja tudi eksosomatske organe (artefakte, ki so običajno družbeno producirani). Eksosomatski organi človeku dovoljujejo, da uporablja druge oblike proste energije kot sončno sevanje, namreč prosto energijo, spravljeno v zemljinih nedrjih. Njihova produkcija pa spet zahteva uporabo različnih mineralnih virov. Zaradi razširitve endosomatske evolucije v eksosomatsko evolucijo človek lahko leti, čeravno njegovo telo nima kril in lahko plava pod vodo, čeravno njegovo telo nima peruti in škrč [14, str. 307 f]. In kar je od vsega najpomembnejše, človek lahko dela vse te stvari ob porabi le zelo majhne količine svoje biološko proste energije, to je, ne da bi čutil veliko neudobje, ki običajno spremlja fizičen napor. Dejstvo je, da je tako človeška vrsta postala navajena na industrijsko ugodje, in iz vsega, kar vemo o evoluciji, je taka vdanost nepreklicna. Dejansko si je težko predstavljati, da bi se človeštvo lahko vrnilo v ekonomijo nabiranja plodov.

Z eksosomatsko evolucijo je eksistenca človeške vrste postala odvisna od dveh različnih vrst proste energije, izmed katerih vsaka prihaja iz različnega vira – zemeljske in sončne energije. In odločilna točka za ekonomijo virov je, da ta dva vira predstavljata nize presenetljivih asimetrij.

Prvič, zemeljska energija je *zaloga*; sončna energija nas doseže kot *priliv*. Razlika bo dobro označena. Premog v zemlji je zaloga zato, ker ga lahko vsega porabimo (domnevno) v enem letu ali v več stoletjih, če želimo. V nasprotju s tem pa ne moremo danes rabiti nobenega dela jutrišnjega sončnega sevanja, nič bolj kot ne moremo uporabiti prihodnjih uslug, recimo, zgradbe [14, str. 226 f]. Medtem ko v veliki meri obvladujemo ritem, v katerem lahko uporabljamo zemeljsko nizko entropijo, je obrok sončnega sevanja onstran našega nadzora. Ta tok je striktno določen s temeljnimi koordinatami našega sončnega sistema, najbolj z velikostjo krogle. Ricardovska zemlja ima ekonomsko vrednost zato, ker je mreža, ki ujame najvrednejše stvari – sončno sevanje – in, dodatno, njena velikost je nespremenljivo fiksirana.¹²

Drugič, sončna energija, nad katero človek nima nadzora, je tista, ki je nepogrešljiva za vse življenje na zemlji. Po drugi strani pa bi človek lahko verjetno živel brez izkoriščanja energije, ki jo lahko nadzira. Res je, človek lahko poveča svojo korist od sončne energije – tako kot z uporabo moči vodnih slapov ali sončnih baterij prisili zemljo, da daje večji pridelek – praviloma le s pomočjo nekega dotoka iz zemeljske dote.

Tretjič, za sončno energijo (kot tako ali v kaki prikriti obliki) človek neprestano tekmuje, včasih in nekeje celo kruto, z drugimi vrstami. V tem tekmovanju je tudi človek sledil zakonu džungle, ki ga je s svojimi visoko sofisticiranimi eksosomatskimi orožji naredil manj neusmiljenega. Človek si je očitno prizadeval iztrebiti zajce, volkove, slabotne živali, insekte, mikrobe itn. – vrste, ki bodisi kradejo njegovo hrano bodisi se z njimi prehranjuje. Njegov boj za hrano je nekatere vrste (dober primer je kit) privedel na rob propada, medtem ko so druge ogrožene z njegovim hrepenenjem po ekstravagantnosti. Še pomembnejše – ker je bilo opravljeno diskretno – je počasno iztrebljenje nekaterih vprežnih živali, kot sta vodni bivol in percheronski konj. Ker kmetje niso bili več sposobni producirati dovolj hrane *in* krme na vedno bolj naseljeni zemlji, so odpravili vodne bivole in namesto tega začeli uporabljati traktorje.

V primerjavi s tem človek nima nobenega pomembnega tekmeca pri izkoriščanju mineralnih virov. Toda druge vrste lahko ravno tako ogrozi industrijska dejavnost kot človek. Gotovo, človek mora gledati, da se pri tem izogne nepotrebni škodi in da so vrste, ki so mu koristne, zaščitene. Toda nekateri ekologi pretiravajo z argumentom preko vseh razumnih meja, ko zahtevajo, na primer, da je treba severnoameriške lose ohraniti celo za ceno neogrevanih bolnišnic in domov. Preprosto ne obstaja nikakršen evlucijski zakon, ki pravi, da neka vrsta ne bi smela iztrebiti druge. Res je nasprotno. Če gre za preživetje, se nobeno živo bitje ne bo preprosto uleglo in umrlo in tako pustilo živeti drugim; vsa bitja si bodo prizadevala preživeti ne glede na druge.

Četrtič, kot nas uči entropijski zakon, onesnaževanje je neizogiben stranski produkt vsakršne industrijske dejavnosti, ki uporablja nizko zemeljsko entropijo. Vsako onesnaževanje je – v različnih stopnjah – življenjsko škodljivo. Sestoji se iz nekaterih neizogibnih kemičnih ali atomskih sprememb okolja in – v vseh primerih – iz povečanja temperature okolja.¹³ »Večji in boljši« hladilniki, avtomobili, jumbo

¹² Tisti, ki kot Carl Kaysen [28, str. 663] vztrajajo, da »novo zemljo lahko ustvarimo z novimi investicijami«, preprosto bežijo od zgorajne resnice.

¹³ Termalno onesnaževanje je najodločilnejše. Toplota, izpuščena iz atomske centrale, lahko dvigne temperaturo reke Hudson za okrog 4 °F ob najboljši ureditvi, sicer za približno 7 °F. Kje zgraditi novo centralo in potem še naslednjo, je velikanski problem. Temperatura okolja lahko tudi naraste – ob večji akumulaciji ogljikovega dioksida v ozračju –

jeti itn. ne pomenijo nujno le »večjega in boljšega« izčrpanja izčrpljivih virov, temveč tudi »večje in boljše« onesnaževanje. Človeštvo je podobno gospodinjki, ki uporablja stvari iz omejene shrambe in meče neizogibne odpadke v omejen smetnjak. Dejstvo, da smo prišli do ugotovitve problema onesnaževanja, vendar še vedno nismo voljni videti korelativnega pojava (izčrpanja zemeljskih virov), je razumljivo. Onesnaževanje je površinski pojav; še več, povečini ga čuti generacija, ki ga ustvarja.¹⁴ Izčrpanje vključuje količino in praviloma prizadeva nekoliko oddaljena prihodnje generacije.

V nasprotju z nizko zemeljsko entropijo pa sončna energija *ne onesnažuje*. Sončna energija, ki doseže zemljo in ni porabljena s fotosintezo ali se ne spremeni v zračno gibanje ali v vodno izparevanje, se naposled spremeni v razpršeno toploto. Toda ta toplota je izjemno koristna; vzdržuje termalno ravnovesje med zemljo (pri primerni temperaturi) in zunanjim prostorom. Položaj se ne spremeni, če se sončna energija spremeni v delo. In ker je razpršena toplota edini odpadke take spremembe, ne bo izkoriščanje sončnega sevanja ustvarilo sploh nikakršnega onesnaževanja.¹⁵ Toda obstajajo še močnejši razlogi, zakaj mora sončna energija dobiti življenjsko vlogo v daljnosežni ekonomiji človeštva.

Petič, razlika med velikostjo zemeljske zaloge in sončnim tokom proste energije je astronomska. Sonce letno seva 10^{14} Q za ceno masne izgube 131×10^{12} ton. Od te fantastične količine (en sam Q je enak 10^{18} BTU) doseže zemljo le okrog 5300 Q. Toda za naše razmere je celo ta zadnja količina ogromna. Fotosinteza na celotni zemlji porabi le 1,2 Q; celo celotna energija, ki jo človeštvo letno porabi, zdaj ne doseže nič več kot 0,2 Q. Še več, sonce bo še naprej sijalo s praktično isto intenzivnostjo še nadaljnjih pet milijard let (preden bo postalo rdeči velikan, ki bo popolnoma požgal zemljo pri 1000 °F). Človeštvo nedvomno ne potrebuje vsega tega obilja za življenje. Nasprotno je res za zemeljske vire. Če bi naenkrat sežgali doto človeštva, ki jo predstavlja fosilno gorivo in ki je v začetku dosegala 215 Q, bi ustvarili le dva tedna sončne svetlobe!¹⁶ Take mršave rezerve ne morejo trajati več kot nekaj desetletij, če se bo povpraševanje še naprej povečevalo po zdajšnji stopnji.

Upanja so se naravnala v mnoge smeri, najprej pa k atomskemu gorivu. Toda celo rezerve urana 235 ne bi trajale veliko dlje, če bi ga uporabljali v običajnih reaktorjih. Mnogi upi so postavljeni na oplojevalni reaktor, ki lahko uporablja tudi bogate, vendar necepljive elemente (uran 238 in torij 232). Nekateri avtorji celo trdijo, da je tovrstna energija »v bistvu neizčrpana« [36, str. 412]. Zdaj ni na voljo nobene ocene rezerv, celo grobe ne. Poučeni smo le, da velika področja Združenih držav, na primer, pokrivajo črni skrilavci ali granit, ki vsebujejo 60 g naravnega urana na metrsko tono [22, str. 226 f]. Miniranje in drobljenje teh skal bi preskrbelo veliko goriva za oplojevalne reaktorje, ki lahko od 2000 do 3000 krat povečajo količino, ki jo vsebuje prvotni fosilni gorivni vir. Veliki Weinbergov in Hammondov načrt [36; 37] predvideva zgraditev okrog 4000 od obale oddaljenih atomskih »parkov«, od katerih bi imel vsak osem oplojevalnih reaktorjev. Vendar

intenzivira rastlinski učinek na ozračje. Če bi se stopile velike ledene gore, bi prišle pod vodo velike kontinentalne površine. Če naj zaupamo specialistom [34, str. 56–58; 7, str. 152], je problem daleč od tega, da bi bil to »star strah«, kot ga odpravlja Beckerman [2, str. 340].

¹⁴ Za razlago različnih tipov onesnaževanja, ki so dokumentirani s presenetljivimi fotografijami, glej Young [38].

¹⁵ To ne izključuje možnosti klimatskih sprememb, ki bi bile posledica obsežnih sprememb v distribuciji toplote na zemlji, tako imenovanih učinkov toplotnih otokov.

¹⁶ Ti izračuni temeljijo na podatkih, ki jih je dal Hubbert [22]. Bralec bi moral opaziti, da se nekateri podatki od enega do drugega avtorja zelo razlikujejo, vendar ne toliko, da bi se tikali tu predstavljenе splošne slike.

odgovorni forumi zdaj dopuščajo, da oplojevalec še vedno predstavlja tveganje radioaktivne katastrofe; še več, problemi varnega spravila radioaktivnih odpadkov in kumulativnih učinkov sevanja so daleč od tega, da bi bili rešeni za kakršnokoli razširjeno uporabo atomske energije [15; 16]. Načrt zastavlja še neštivilne druge probleme – na primer, problem klimatskih sprememb, ki bi jih povzročilo tako veliko število toplotnih otokov (ki ga priznavajo celo predlagalci).

Nadzorovana termonuklearna reakcija ostaja sen fizika. Devterijtritij reakcija uporablja litij 6. Ker je tega elementa bolj malo, bi lahko reakcija prinesla le okrog 200 Q, tj. približno enako količino energije, kot je količina energije prvotne zaloge fosilnega goriva.¹⁷ Zato ne more povzročiti kakršnegakoli ognjevitega upanja, čeravno ima več možnosti za uspeh, ker zahteva nižjo temperaturo kot fuzija samega devterija. Ta reakcija ima drugačno zgodbo. Če bi uporabili le en odstotek devterija v oceanih, bi prinesel 10^8 Q, količino, ki bi zadostovala za preskrbo pet krat večje stopnje energetske porabe, kot je zdajšnja, in to za sto milijonov let. Navzlic vztrajnim prizadevanjem za nadzorovanje fuzije pa uspeha žal ne napovedujejo niti eksperti. Reakcija, sorodna pravemu viru sončne energije, lahko poteka le pri temperaturi, ki je višja od 0,2 milijard °F, višja kot temperatura sončeve notranjosti. Zato fuzije ne moremo nikoli izkoristiti znotraj materialnega kontejnerja.¹⁸ Dejansko imamo primere energije – taka kot je¹⁹ energija dinamita – ki je lahko uporabljena le kot bomba.

Da bi bili popolni, bi morali omeniti tudi tokove geotermalne energije in energije plime in oseke. Čeravno njuna celotna količina (0,1 Q letno) ni zanemarljiva, so situacije, v katerih te tokove sploh lahko izkoristimo, zelo omejene.¹⁹

Povzemimo, energije zemeljskega izvora, na katere se lahko učinkovito opremo, eksistirajo v zelo omejenih količinah; tiste, ki eksistirajo v večjih količinah, spremljajo bodisi velika tveganja bodisi brezupne tehnične ovire. V nasprotju s to sliko pa obstaja, po našem merilu, neznanska količina energije, ki jo prejemamo od sonca. Res je, neposredna uporaba sončne energije praktično še ne predstavlja kakega velikega deleža. Toda njena možnost je dokazano dejstvo. Sončno energijo uporabljamo že v mnogih situacijah; desideratum pa je še vedno le ekonomska učinkovitost njenega obsežnega delovanja. Glavna ovira je, da je sončna energija, ki doseže zemljo, zelo razpršena in tudi zelo spremeljiva. To je podobno temu, kot če bi turbina – namesto da bi zajemala vodni slap – morala delovati z zajemanjem kinetične energije ekvivalentne količine deževnih kapljic.²⁰ Novice o obetajočih rezultatih pa seveda prihajajo iz različnih strani.²¹

VI. Ekonomija naravnih virov

Obstajajo določeni razlogi, zakaj običajnih ekonomskih obravnav ne moremo aplicirati na naravne vire. En razlog je povezan z ekonomistovim kredom, da »so viri ustrezno merjeni v ekonomskih in ne fizikalističnih mejah« [28, str. 663],

¹⁷ Gotovo ne more ponuditi energije, ki bi svetu zadostovala za 120 milijonov let, kot trdi Holdren [21, str. 108].

¹⁸ Za kratek pregled sedanjih tehničnih težav glej [32]. Pripomniti bi tudi morali, da postavlja razpršena toplota – medtem ko je fuzija domala popolnoma brez radioaktivnosti – celo večje probleme kot fizija.

¹⁹ Za ustrezno razlago vseh energetskih virov glej [23; 24; 35].

²⁰ Kinetična energija deževnih kapelj, vodnih slapov in vetra seveda izvira iz sončne energije.

²¹ Na osnovni ravni sta A. B. Meinel in njegova žena Marjorie uspela pretvoriti sončno energijo v elektriko s 30% učinkovitostjo [20; 23, str. 66f; 35, str. 677–681]. P. Glaser umešča nove upe v uporabo umetnih satelitov za zajemanje intenzivnejšega sončnega sevanja v zunanjem prostoru [17; 35, str. 681]. Za razvoj v ZSSR glej Borissov [5].

kredom, ki so ga sprejeli domala vsi drugi, ki pišejo o virih. Toda cene, daleč od tega, da bi imele moč celo povzročanja ustvarjanja zemlje, energije in materialov, ki jim jo pripisujejo ekonomisti, so ozko ekonomski dejavniki. Edini relevantni način gledanja na oskrbo s prosto energijo v daljšem obdobju je v realnih okvirih: življenja zmožna je vsaka tehnika, predpostavljajoč, da lahko ustvari večjo količino *izkoriščene* energije, kot jo porabi. Nesmiselno je, jasno, računati na nafto v skrilavcih, če iz tega vira ne more nobena metoda izveliči več nafte, kot jo porabi. Po drugi strani pa utegne tehnika za izkoriščanje sončne energije, ki je zdaj ekonomsko neučinkovita, postati v prihodnji konstelaciji cen zelo učinkovita, predpostavljajoč, da je učinkovita (kot je večina takih tehnik) v realnih – v nasprotju z monetarnimi – okvirih. Rezultat je, da ekonomija virov ne more ignorirati sončne energije. Sončna energija je najpomembnejši dejavnik v daljnoročni sliki. Sončna energija je navzlic praktičnim namenom prosto blago; še več, z njo celo nimamo nobenih stroškov z zaščito proti kvarjenju okolja.

Daljnoročno gledano je zemeljski vir energije tisti, ki je pomanjkljivejši, kratkoročno pa sončni vir. Dejstvo, da sta tako tokovna stopnja sevanja kot velikost mreže, ki jo zajema, nespremenljivo fiksirana, postavlja mejo »količini življenja«, vključno s številom prebivalcev, ki lahko kadarkoli eksistirajo na zemlji. Na to mejo seveda vpliva še mnogo drugih dejavnikov, kar še posebno velja za velikost človeške populacije.

Problem velikosti svetovnega prebivalstva je brezupno zapleten. Za večino razprav o tem problemu so sedaj značilne poenostavitve. Nekateri pisci so trdili, da zemlja lahko prehrani 45 milijard ljudi, če bi na vsak akter aplicirali najboljše obdelovalne metode [6, str. 35]. Weinberg in Hammond trdita, da njun načrt lahko oskrbi 20 milijard ljudi ob življenjskem standardu, ki sedaj prevladuje v ZDA [36, str. 415 f; 37]. Nedavno pa je avtoritativni vir trdil, da lahko isto dosežemo celo za 3000 milijardno populacijo [28, str. 664]. Vse te projekcije zanemarjajo odločilno dejstvo, da problema velikosti ni moč zvesti na problem preproste spremembe lestvice [14, str. 105–107]. Desetkratno povečanje ponudbe hrane sploh ne zagotavlja, da lahko eksistira desetkrat večja populacija. Onstran določene meje se organizacija družbe srečuje z vedno večjimi težavami, ki so po naravi sorodne entropiji. Zdi se zelo dvomljivo, ali bi lahko dosegli urejeno organizacijo, ki je tako kompleksna in učinkovita, kot to zahteva domnevno mnogoteri produktivski raven. Take težave bodo spremljale celo populacijo, ki naj bi bila dvakrat večja od sedanje, kar je v skladu s treznejšimi analizami maksimalna meja, ki jo je moč tolerirati [8, str. 13; 11, str. 100]. Kajti telmični napredek in povečana populacijska gostota sta preobrnila resnico stare arabske legende. Dandanes je lažje premakniti goro k Mohamedu, kot prepričati Mohameda, da gre k gori. Odločilna težava pa je, da mora nek Mohamed iti k gori, da bi jo premaknil.

Morali bi tudi pripomniti, da nobena od teh projekcij ni obravnavala veliko bolj življenjskega vprašanja za prihodnost človeštva: Kako dolgo se lahko ohrani določena svetovna populacija, pa naj šteje milijon ali pa sto milijard prebivalcev?²² V luči tega vprašanja postanejo razvidna nekatera pomembna vprašanja.

Med mnogoterimi vidiki človekovega tekmovanja za omejen tok sončne

²² Weinbergov in Hammondov načrt utegne predstavljati izjemo v tem, da se 20 milijardno prebivalstvo utegne ohraniti tako dolgo, kot bo trajala ustreza preskrba z atomskim gorivom – milijonkrat dlje kot preskrba s fosilnim gorivom [37].

energije z drugimi bitji je dejstvo, da je število ljudi, ki so lahko kadarkoli nahranjeni, odvisno (med množico drugih dejavnikov) od tega, kakšno število vprežnih živali uporabljajo v kmetijstvu. Vprežne živali je treba tudi nakrmiti; zato se pridelek hrane lahko poveča le na račun razpoložljivega kmetijskega zemljišča. Organsko kmetijstvo, ki uporablja le moč vprežnih živali in obnavlja zemljo le z gnojem, prinaša *ceteris paribus* najmanjši pridelek hrane na kakršnemkoli določnem področju. Da bi dosegli maksimalen pridelek hrane, moramo preiti na mehanizirano kmetijstvo in na nove visokorodne vrste. Razlika med dvema tipoma je odločilna. Ker so vprežne živali pretvorniki sončne energije, potrebuje organsko kmetijstvo le majhen dotok zemeljskega vira (za različna dopolnila). V nasprotju s tem pa potrebujejo mehanizirano kmetijstvo in visokorodne vrste zelo velik dotok zemeljske energije in materialov; korist od sončne energije je omejena le na fotosintezo (ki je gotovo večja).

Sklep, presenetljiv – kot se utegne zdeti – je, da predstavljata mehanizacija kmetijstva in uvedba visokorodnih vrst korak, ki nasprotuje pridelovanju hrane, če gre za daljnosežno ekonomijo virov. Tisto, kar je praktično prosto blago, nadomeščata s pomanjkljivimi viri.²³ Premik je bil, kajpada, neizogiben zaradi vedno večjega populacijskega pritiska na letno količino hrane. Navzlic temu, kar lahko zelo pogosto slišimo, pa igra velikost populacije enkratno vlogo v človekovem boju z okoljem. Tu lahko na hitro raziščemo le nekatere posledice.

Četudi bi neposredna uporaba sončne energije povzročila popolno neodvisnost človeštva od vsakršne zemeljske energije, bi druge prvine človekove zemeljske dote še vedno obdržale omejen vpliv na količino človeškega življenja. Zaradi naše eksosomatske evolucije smo odvisni od kontinuirane oskrbe različnih elementov – železa, bakra, kalcija, fosforja itn. Toda ustrezni viri so omejeni. Po drugi strani pa so ti viri podvrženi delovanju entropijskega zakona; se neizogibno trošijo in to trošenje je bistveno poudarjeno s tem, da jih uporablja človek. Res je, stopnjo trošenja lahko upočasnimo z reciklažo. Toda reciklaža ni niti prosta niti popolna. Reciklaža porablja substancialno količino energije in drugih virov, ki morajo postati neomejeni, če postane operacija intenzivnejša. S stališča entropijskega zakona je težko misliti, da lahko reciklaža popolnoma zaustavi trošenje. Lahko spet zberemo vse bisere strgane ogrlice, vendar verjetno ne bi mogel noben dejanski proces znova združiti vseh atomov izrabljenega kovanca. Zato bi se z najboljšo reciklažo zaloga kakršnegakoli elementa v rabi še vedno izčrpavala z nekim stalnim faktorjem.²⁴ Nekateri elementi so žal tako potratni da celo reciklaža ne pride v poštev. Najslabši je položaj elementov, katerih količina je – dodatno – majhna. V to kategorijo spada vsaj en življenjski element – fosfor [18]. Energija nam lahko pomaga, da dosežemo globlje plasti mineralov in še naprej izkoriščamo površinske vire, vendar doslej nimamo nobenega razloga za trditev – kot to počneta Weinberg in Hammond [36, str. 412 f; 37] – da je energijo moč pretvoriti v večino življenjskih potreb. V ekonomiji virov moramo torej materijo obravnavati vzporedno z energijo.

Označimo preprosto agregatno zalogo *mineralnih virov* s *S*. Če je *s* povprečna *neto* količina, letno porabljena za vsako živo osebo, potem je *S/s* količina človeških let oziroma količina človeškega življenja, ki jo lahko oskrbuje *S*. Če je *P*

²³ Zadeva zavrta nesmiselnost misli, da bo obsežna produkcija proteinske hrane iz mineralnega olja popolnoma rešila problem hrane.

²⁴ Nekateri podatke, ki se tičejo reciklaže, najdemo pri Cloudu [8, str. 14].

povprečna populacija, potem je vsako leto porabljena količina $r = Ps$, $t = S/r$ pa predstavlja »izračunano« trajanje eksosomatskega življenja človeštva v letih [13, str. 12 f; 14, str. 304].²⁵ Večja kot je letna dekulacija r , manjše je to trajanje. R se lahko poveča zaradi dveh razlogov. Prvič, lahko se poveča povpreček prebivalstva, kar pomeni, da prej odpišemo prihodnja življenja. Drugič, s lahko naraste zato, ker enaka populacija uporablja vires za zadovoljevanje umetnih človekovih potreb, ki so običajno ekstravagantne potrebe. Čeravno je ta slika grobo izrisana, sta nespodbita dva sklepa.

Prvič, grobo govoreč, otrok bo, ne glede na to, ali je rojen zdaj ali deset tisoč let kasneje, izkoriščal omejeno zalogo S s približno enako količino. Količina življenja, ki jo oskrbuje S , torej ni prizadeta, če P variira znotraj meje, ki jo vsiljuje oskrba s hrano. Ti dve dejstvi razlagata razširjeno zmoto, da pomanjkanje naravnih virov izvira – nasprotno – iz kontinuirane populacijske rasti. Rast je bila dejansko odgovorna za nekatere sedanje nespodbite simptome tega pomanjkanja. Dejstvo je tudi, da so avtorji *Mej rasti* pokazali na stalno stopnjo rasti kot na krivca za napovedano ekološko katastrofo in so zato videli rešitev v ničelni rasti populacije [31, str. 163–175]. Drugi so tudi, vendar ne nujno iz istih razlogov, videli rešitev v starem pojmu nespremenljivega stanja Johna Stuarta Milla [8, str. 9; 9; 36]. Celo ničelna rast prebivalstva ne more povečati tistega, česar je dokončno malo. Trditev, da ima tehnologija v nespremenljivem stanju več časa za svojo prilagoditev izčrpanju virov [31, str. 166], je veljavna le, če je pritisk populacije, ki postavlja hitrost izkoriščanja, nizek. Enako velja za trditev, da ima neko onesnaževanje več časa, da ga odstranijo naravni dejavniki. Nekdo utegne verjetno tudi dokazovati, da mora sistemu rasti vsaka generacija izobraziti večjo generacijo, kot je sama, in zanjo akumulirati kapital; to bi zanemarjalo dejstvo, da vsaka generacija deluje s povečanimi podedovanimi sposobnostmi (kar je prava prednost sistema rasti).²⁶ Temeljna resnica je, da ničelna rast prebivalstva verjetno ne more povečati tistega, kar je po količini omejeno. Nekateri argumenti v prid ustaljenega stanja dejansko neposredno vodijo k sklepu, da je najbolj zaželeno upadanje prebivalstva. Naj bo, kakor utegne biti, nespremenljivo stanje ni združljivo z dejanskim svetom, kjer neprestano izčrpanje energije in materialov prisiljuje človeštvo, da se včasih v svoje dobro včasih v svojo škodo prilagaja spreminjajočemu položaju.

Drugi sklep se glasi, da vsak Cadillac, vsak Rolls-Royce in celo vsak Zim, če pustimo na miru orožja, pomeni manj plugov za neke oddaljene generacije. Ekonomski razvoj prek fantastičnega industrijskega obilja je lahko ugodnost za nas in tiste, ki ga bodo uživali v bližnji prihodnosti, vendar pa nasprotuje interesu človeške vrste kot celote.

Običajna ekonomija je bila pogosto definirana kot preučevanje upravljanja s primanjkujočimi viri. Zdaj vidimo, da bi morali dodati: »med aktivnimi člani iste generacije«. Ekonomija virov, nasprotno, zastavlja problem njihove distribucije med vsemi generacijami. Kajti ob tem problemu nam trg ali načrt običajne

²⁵ Podoben koeficient uporablja Cloud [8, str. 9], ki ga imenuje »demografski koeficient«.

²⁶ Zadnji argument se lahko nanaša na Dalyjevo pozicijo [9], da bi v nespremenljivem svetu materialno rast nadomestila moralna rast – zelo zaželena, vendar nedokazana napoved. Še posebej moramo biti previdni, da se ne bi ujeli v najresnejšo zanko, ko se v prid nespremenljivega stanja sklicujemo na Prigogineovo termodinamično načelo. Načelo pravi, da – ob nekaterih posebnih domnevah – entropija, ki jo producira nek odprt termodinamični sistem, doseže svoj minimum, ko postane sistem nespremenljiv. Omenjenih domnev pa ne ustrezno zadovoljujejo niti biološki organizmi [27, str. 227–235]. Aplikacija na ekonomijo človeštva je čista fantazija.

ekonomije sploh ne utegneta pomagati. V trgu ali v ekonomskem načrtu ni niti povpraševanja niti ponudbe prihodnjih generacij. Najdlje segajoči pogled v sedanjih ekoloških kontroverzah se je v splošnem ustavil na koncu tega stoletja. Odkrivanje sredstev, s katerimi bi navedli povpraševanje prihodnjih generacij v sedanosti, kljubuje še tako dobro pripravljeni domišljiji. Problem se zgoščuje v to, da bi vsakega posameznika prepričali o redukciji njegovega sedanjega visokega življenjskega standarda na tako nizko raven, da bi generacije čez milijon let tudi uživale isto udobje. Ko bo in če bo sončna energija postala edini vir energije, se bo ekonomsko diktatorstvo sedanjih nad prihodnjimi generacijami zmanjšalo, vendar ne bo popolnoma izginilo. Mogoče pa je usoda človeške vrste, naposled, taka, da mora imeti kratko, vendar docela razburljivo in ekstravagantno življenje. Naj imajo manj ambiciozne vrste mirno, vendar dolgo življenje, tako da lahko naseljujejo zemljo in še naprej uživajo moč sijočega sonca!

Prevedel Božidar Kante

- [1] Philip H. Abelson: Limits to Growth, Science (17. marec 1972), str. 1197.
- [2] Wilfred Beckerman: Economist, Scientists, and Environmental Catastrophe. Oxford Economic Papers XXVI (1972), 327-344.
- [3] Henry Bergson: Creative Evolution. H. Holt and Company, New York 1911.
- [4] R. J. Blin-Stoyle: The End of Mechanistic Philosophy and the Rise of Field Physics. In Turning Points in Physics (R. J. Blin-Stoyle et al. ur.). North-Holland, Amsterdam 1959, 5-29.
- [5] Oleg Borissov: Sun-raised Energy Warms Up. Energy International IX (junij 1972), 25-27.
- [6] Collin Clark: Agricultural Productivity in Relation to Population. V: Man and His Future (G. Wolstenholme, ur.). Little, Brown, Boston 1963, 23-35.
- [7] Preston Cloud: Mineral Resources from the Sea. V: Resources and Man. W. H. Freeman, San Francisco 1969, 135-155.
- [8] Preston Cloud: Resources, Population, and Quality of Life. V: Is There an Optimum Level of Population? (S. F. Singer, ur.). McGraw-Hill, New York 1971, 8-31.
- [9] Herman E. Daly: The Stationary-State Economy. Distinguished Lecture Series No. 2, Department of Economics, University of Alabama 1971.
- [10] Albert Einstein in Leopold Infeld: The Evolution of Physics. Simon and Schuster, New York 1938.
- [11] David M. Gates: The Flow Energy in the Biosphere. Scientific American CCXXIV (september 1971), 89-100.
- [12] Nicholas Georgescu-Roegen: The Theory of Choice and the Constancy of Economic Laws. Quarterly Journal of Economics LXIV (1950), 125-138. Ponatisnjeno v Nicholas Georgescu-Roegen: Analytical Economics: Issues and Problems. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1966, 171-183.
- [13] Nicholas Georgescu-Roegen: The Entropy Law and the economic Problem. Distinguished Lecture Series No. 1 (lekcija z dne 3. decembra 1970), Department of Economics, University of Alabama. Ponatisnjeno v The Ecologist II (julij 1972), 13-18.
- [14] Nicholas Georgescu-Roegen: The Entropy Law and the Economic Process. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1971
- [15] Robert Gillette: Nuclear Safety: Damaged Fuel Ignites a New Debate in AEC. Science (28. julij 1972), 330-331.
- [16] Robert Gillette: Reactor Safety: AEC Concedes Some Points to Its Critics. Science CLXXVIII (3. november 1972), 482-484.
- [17] Peter E. Glaser: Power from the Sun: Its Future. Science (22. november 1968), 857-861.
- [18] H. E. Goeller: The Ultimate Mineral Resource Situation. Proc. Nat. Acad. Sci. USA LXIX (oktober 1972), 2991-2992.
- [19] D. ter Haar: The Quantum Nature of Matter and Radiation. In Turning Points in Physics (R. J. Blin-Stoyle et al., ur.). North-Holland, Amsterdam 1959, 30-44.
- [20] Allen L. Hammond: Solar Energy: A Feasible Source of Power? Science (14. maj 1971), str. 660.
- [21] John Holdren in Philip Herera: Energy. Sierra Club, San Francisco 1971.
- [22] M. King Hubbert: Energy Resources. V: Resources and Man. W. H. Freeman, San Francisco 1969, 157-242.
- [23] M. King Hubbert: The Energy Sources of the Earth. Scientific American CCXXV (september 1971), 61-70.
- [24] C. H. Hull, ur.: The Economic Writings of Sir William Petty. 2 zv. The University Press, Cambridge, Angl. 1899.

- [25] W. Stanley Jevons: *The Theory of Political Economy*. (1871), 4. izd. Macmillan, London 1921.
- [26] Reginald O. Kapp: *Towards a Unified Cosmology*. Basic Books, New York 1960.
- [27] A. Katchalsky in Peter F. Curran: *Nonequilibrium Thermodynamics in Biophysics*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1965.
- [28] Carl Kayser: *The Computer that Printed Out $W^+O^+L^+F^+$* . *Foreign Affairs* L (1972), 660-668.
- [29] P. S. Laplace: *A Philosophical Essay on Probability* (1814). John Wiley and Sons, New York 1902.
- [30] Alfred Marshall: *Principles of Economics*. 8. izd. Macmillan, New York 1924.
- [31] Donella H. Meadows et al.: *The Limits to Growth*. Universe Book, New York 1972.
- [32] William D. Metz: *Fusion: Princeton Tokamak Proves a Principle*. *Science* (22. december 1972), str. 1274 B.
- [33] Erwin Schrödinger: *What is Life?* The University Press, Cambridge, Angl. 1945.
- [34] Edward Teller: *Energy Pattern of the Future. V: Energy and Man: A Symposium*. (Courtney C. Brown, ur.). Appleton-Century-Crofts, New York 1960, 55-72.
- [35] Kenneth F. Weaver: *The Search for Tomorrow's Power*. *National Geographic* CXLII (november 1972), 650-681.
- [36] Alvin M. Weinberg in R. Philip Hammond: *Limits to the Use of Energy*. *American Scientist* LVIII (1970), 412-418.
- [37] Alvin M. Weinberg in R. Philip Hammond: *Global Effects of Increased Use of Energy*. Članek, predstavljen na 4. mednarodni konferenci o miroljubni uporabi atomske energije, 7. septembra 1971.
- [38] Gordon Young: *Pollution, Threat to Man's Only Home*. *National Geographic* CXXXVIII (december 1970), 738-781.
- [39] *Limits to Misconception*. *The Economist* CCXLII (11. marec 1972), 20-22.
- [40] *The fragile Climate of Spaceship Earth*. *Intellectual Digest* II (marec 1972), 78-80.