

COSMOGONIES MODERNES



RESSONS DE
CIÈNCIA, 4

COSMOGONIES MODERNES

Agnes Mary Clerke

Membre honorària de la Reial Societat Astronòmica

Traducció i notes de Marc Figueras

Títol original: *Modern Cosmogonies* (1905)

1a edició: març de 2026

Aquesta traducció © 2026 per Marc Figueras està llicenciada sota Creative Commons Reconeixement-CompartirIgual 4.0 Internacional.



ISBN: 978-1-291-78849-5

Impressió: LuLu.com

ÍNDIX

Pròleg a aquesta edició	i
PREFACI	1
1. DE TALES A KANT	3
2. LA HIPÒTESI NEBULAR.....	19
3. CRÍTiques A LA HIPÒTESI NEBULAR	35
4. CANVIS I MILLORES A LA HIPÒTESI	53
5. LA FRICCIÓ MAREAL	73
6. LA FISSIÓ DE GLOBUS EN ROTACIÓ	87
7. MONS A PARTIR DE METEORITS	103
8. LA COSMOGONIA AL SEGLE XX	117
9. QUÈ ÉS EL PROTIL?	129
10. FORCES UNIVERSALS	143
11. L'ÈTER INEVITABLE.....	157

12. LES FORMES DE LES NEBULOSES	171
13. L'EVOLUCIÓ DELS SOLS.....	187
14. EL NOSTRE SISTEMA.....	201
15. ROMANENTS I SUPERVIVENTS	217
16. LA VIDA COM A RESULTAT.....	229
Notes.....	247

PRÒLEG A AQUESTA EDICIÓ

En aquest quart volum de la col·lecció «Ressons de Ciència» presentem una obra de l'astrònoma i divulgadora irlandesa Agnes Mary Clerke.

I és que Agnes Mary Clerke va ser, en efecte, una de les grans divulgadores de l'astronomia del segle XIX. Nascuda a Irlanda, va destacar no pas com a observadora pràctica, sinó com a intel·lectual capaç d'ordenar, interpretar i explicar amb claredat els grans avenços de l'astronomia moderna en un moment de transformació profunda de la disciplina. És el moment en què l'astrofísica comença a desplaçar l'astronomia purament descriptiva, i Clerke va saber oferir una visió de conjunt rigorosa i accessible alhora.

Nascuda el 1842 a Skibberen, al comtat de Cork, a Irlanda, va rebre una sòlida formació humanística i científica, i va passar diversos anys a Itàlia, on va ampliar els seus coneixements i va entrar en contacte amb la cultura científica europea. El seu talent principal residia en la capacitat de sintetitzar una enorme quantitat de treballs especialitzats —sovint dispersos i tècnics— i convertir-los en relats coherents sobre l'estat del coneixement astronòmic. Això la va convertir en una autora de referència tant per al públic culte com per als mateixos científics.

La seva obra més coneguda, *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century* (1885), és un exemple paradigmàtic del seu estil: clara, documentada i amb una notable ambició intel·lectual, sempre esquitxada de referències als clàssics grecolatins o als grans autors de la literatura anglesa. El llibre no es limita a enumerar descobriments, sinó que explica com s'han produït, quins debats han generat i com han canviat la manera d'entendre l'univers. Altres obres posteriors, dedicades a les estrelles, a la família Herschel, als fonaments de l'astrofísica o la seva última obra, *Modern Cosmogonies*, que és la que aquí presentem, confirmen la seva voluntat de situar l'astronomia dins d'un marc científic i cultural ampli.

Clerke també va ser una prolífica autora d'articles i entrades enciclopèdiques, especialment per a l'*Encyclopaedia Britannica*, on va contribuir a fixar una visió autoritzada de la història recent de l'astronomia. El seu prestigi va ser reconegut en vida: el 1903 va ser nomenada membre honorària de la Royal Astronomical Society, un fet excepcional per a una dona en aquell moment.

Avui, Agnes Mary Clerke és recordada com una figura clau en la història de la divulgació científica: algú que va saber fer intel·ligible una ciència en ràpida evolució sense simplificar-la en excés, i que va contribuir decisivament a construir un relat modern de l'astronomia contemporània. Les seves obres continuen sent valuoses no només pel que expliquen, sinó perquè permeten fer-nos una idea

dels dubtes i debats que la ciència tenia en aquells moments i per la manera com mostren la ciència com un procés viu, històric i col·lectiu.



Per a aquesta edició hem mantingut les notes bibliogràfiques i comentaris originals de l'autora com a notes a peu de pàgina i hem reservat les notes al final per als nostres comentaris i explicacions addicionals, sovint necessaris quan l'autora fa referència a aspectes avui en dia molt menys familiars o, fins i tot, a teories en aquell moment en discussió però ara totalment oblidades.

Prefaci

Dels setze capítols que constitueixen aquesta petita obra, tretze es van publicar com una sèrie, començada a *Knowledge* i continuada a *Knowledge and Illustrated Scientific News*;¹ als propietaris d'aquestes revistes, pel seu cortès permís per reimprimir-los, ofereixo el meu sincer agraïment. Tres capítols addicionals, equivalents als que ara apareixen, tot i que no idèntics, formaven part integral del pla original del llibre, que ara es presenta al públic amb l'esperança que permetrà als lectors generals seguir, amb el profund interès que hauria d'inspirar, el curs de les investigacions modernes sobre l'origen del món.

El progrés no és de cap manera suau ni fàcil; hom es troba moltes dificultats i situacions perplexes en l'intent d'arribar al principi de les coses. Algunes de les vies que s'havien seguit antigament han estat bandejades pels pioners de la ciència del segle xx, i el procés de construir-ne de noves, que duren més enllà, cap a moments previs ara desconeguts, és lent i laboriós.

En qualsevol cas, la terminal ferroviària a la qual ens dirigim, al bell mig del desert, és un lloc de

pelegrinatge peculiarment suggestiu. A les pàgines següents, el lector trobarà diverses estacions i baixadors situats en punts més o menys indeterminats que l'ajudaran a fer més planer el viatge.

Londres, 16 de novembre de 1905

1

De Tales a Kant

Fins i tot entre les tribus més salvatges, ben poques es conformen a assumir el món tal com és sense especular sobre com ha arribat a ser. Perquè el temps té tres dimensions: passat, present i futur, i no podem restringir els nostres pensaments només a una d'elles, de la mateixa manera que no podem existir corporalment a Planilàndia.¹ Se'ns diu que els abipons i els esquimals es neguen a neguitejar-se per les qüestions referents als orígens, amb el pretext que els feixucs fets de la vida no deixen lloc a discussions ocioses; però fins i tot ells se senten obligats a justificar llur manca de curiositat;² en circumstàncies més amigables, també reclamarien el privilegi completament humà de «mirar l'abans i el després», com tal vegada van fer els seus progenitors oblidats. De fet, costa pensar en l'estructura de la natura sense intentar endevinar, encara que només sigui mitjançant alguna suposició rudimentària, el procés de la seva construcció; estem instintivament convençuts que les condicions no són fixes. Fins aquí, Heràclit tenia raó.

L'experiència ens parla d'un canvi continu en nosaltres mateixos i en tot allò que ens envolta, mentre que la raó ens ensenya que els seus minúsculs efectes momentanis, si es segueixen cap enrere durant un temps indefinit, s'han d'acumular formant un tot prodigiós; és a dir, no es pot posar cap límit a la diferència entre el que és i el que va ser. Tanmateix, el mecanisme que produeix les modificacions s'ha d'haver posat en marxa d'alguna manera. La necessitat lògica prescriu l'existència d'un estat inicial. I aquest inici es va produir segons uns termes concrets: estava «condicionat». Però que estigui condicionat implica un caràcter absolut, normes, un poder promulgador. La inevitabilitat d'aquesta connexió s'ha percebut de manera més o menys obscura sempre que els homes han intentat establir alguna mena d'acord entre els fenòmens i la intuïció, amb uns resultats que es poden apreciar en els contorns vacil·lants de moltes cosmogonies primitives. Només, però, a les escriptures hebrees s'ha assolit la idea de la creació en tota la seva plenitud i llibertat; en altres llocs els déus invocats per dur el món fins a l'existència exigien ells mateixos una història dels seus orígens, i així, una teogonia acostumava a formar el preludi habitual i necessari d'una cosmogonia.

No obstant això, aquestes genealogies originàries representaven «pensaments en imatges» (tal

com s'ha expressat) i res més.* La nit i la foscor van sorgir en formes personificades, i de l'obscuritat de la seva unió van sorgir radiants les criatures de la llum, que, segons una llei d'ordre predeterminada, van endreçar els elements del caos i els van disposar en harmonia còsmica.

Aquesta fase mítica del pensament va acabar, a Grècia, amb l'auge de l'escola jònica de filosofia. Les llegendes immemorials, desacreditades per l'arribada d'una nova saviesa, van assumir una nova vida sota l'aparença d'històries populars; les faules òrfiques van ser deixades als poetes i al poble alhora que el savi de Milet va establir una tradició especulativa, mantinguda fins al llinar de la recent època científica gràcies a una llarga successió de metafísics. Tots eren el que podríem anomenar *evolucionistes*; Tales de Milet no ho era pas menys que Descartes o Swedenborg.³ El seu objectiu principal era trobar una manera pràctica d'evocar una disposició sistemàtica de parts relacionades a partir de la monotonia de la confusió indiferenciada. Ara bé, en intentar aquesta empresa, es van trobar amb dos problemes diferents. Un es referia a la naturalesa de la matèria primordial del món; l'altre, a les operacions a les quals havia estat sotmesa. Els teòrics moderns s'han proposat com a objectiu fonamental exposar el mecanisme del creixement còsmic, el joc de forces que hi participen, les transformacions i la

* Zeller, *History of Greek Philosophy* (trad. S. F. Alleyne), vol. I, pàg. 86.

redistribució progressiva de l'energia que l'acompanya. Ara bé, els primers pensadors podien formular qüestions d'aquesta mena només en una mesura molt escassa, i en conseqüència van dedicar la seva principal atenció a seleccionar un material apropiat per a l'exercici del seu enginy constructiu.

Tales afirmava que totes les coses derivaven de l'aigua, i de fet l'aigua encara és, entre les tribus poc sofisticades, l'*Urstoff* preferit. Anaxímenes la va substituir per l'aire, mentre que Heràclit va donar preferència a l'element mòbil i vital del foc (tal com ell pensava). Anaximandre, en canvi, podria presentar una il·lusòria reclamació de prioritat sobre sir William Crookes pel que fa a la invenció del «protil».⁴ Ell imaginà que la matriu del món era una extensió il·limitada de matèria generalitzada que podia contenir totes les espècies químiques, les quals, diferenciant-se gradualment per mitjà de l'afinitat de les coses anàlogues, formaven, gràcies a llurs contrastos i conjuncions, la suma infinitament variada de les coses. Els successors d'Anaximandre van recórrer a condensacions i rarefaccions sorgides espontàniament com a font principal del desenvolupament. De totes maneres, tots aquests principis més o menys vagues van quedar bandejats ràpidament per la doctrina definitiva i intel·ligible dels «quatre elements» enunciada per Empèdocles i que, garantida amb l'aprovació de Plató, va ocupar un lloc indiscutible durant gairebé dos mil·lennis entre els fonaments de la ciència. Per molt errònia i enganyosa que fos, servia com a mitjà per

metoditzar les aparences i guiar les idees desdibuixades: era un camí a seguir en absència de qualsevol mètode millor d'orientació.

Leucip i els seus deixebles més famosos, Demòcrit i Epicur, van ser els primers que van gosar traçar la història mecànica del cosmos. Els seus àtoms primordials estaven dotats de pes, i era la pesantor, o gravetat, el que en última instància en determinava la disposició espacial i les seves relacions mútues. Rectilinis en el primer esbós de l'esquema, els seus moviments van ser desviats arbitràriament per Epicur; i els girs que en resultaven finalment es van tornar, per dir-ho així, autèntics i precisos en els vòrtexs cartesianes i en el *maelstrom* solar de Swedenborg. La història natural de l'univers de Kant formava una altra branca, completament separada, del llinatge atomístic. Els àtoms de Demòcrit, però, i en menor grau els àtoms kantians, diferien en aspectes essencials dels principis últims de l'anàlisi química postulats per Dalton. Eren un amuntegament, un manyoc, un assortiment incongruent de fragments, i no pas porcions elementals de matèria, indefinidament diverses en mida, forma i massa.

Aquesta diversitat no es va crear com un mer joc; era estrictament necessària per al pla d'acció adoptat. Perquè, si deixem de banda de l'heterogeneïtat és obvi que no hi pot haver desenvolupament. La uniformitat absoluta implica la permanència absoluta; el canvi només es pot originar a través de la desigualtat. Hi ha d'haver una inclinació de nivell

abans que el corrent comenci a fluir; cal alguna causa de predominança per posar-lo en marxa en una direcció determinada. Aquí, sens dubte, hi ha el *quid* inicial de tots els cosmogonistes. Normalment el superen assumint l'ocurrència de condensacions casuais, una solució que no es pot refutar, però que tampoc es pot verificar. La resposta, doncs, obliga a plantejar-se també la mateixa qüestió.

Les teories de la història del món van formar part integral de la filosofia antiga. Cada fundador d'una escola pretenia establir un sistema complet de coneixement, minuciós amb els fenòmens, que abastés totes les coses, des del *primum mobile* de les altures fins a l'herbei que hi ha sota els peus, i que racionalitzés el passat, el present i el futur d'un tot exhaustiu. La ciència moderna és menys ambiciosa. Sense aspirar a una síntesi tan vasta, es conforma a obtenir un coneixement laboriós dels fets de la natura, ponderar-ne les implicacions i, si és possible, reconstruir a partir d'aquesta base que proporcionen la condició de les coses en l'«obscura regressió» del temps il·limitat. És cert que de cap manera es pot arribar al seu inici en cap sentit real; les armes de la inducció s'esmussen molt abans d'arribar al cor d'aquest misteri, però el reconeixement de la seva pobresa ens duu a una certa compensació amb un domini més complet del seu ús ben adaptat. La ciència, així anomenada, era, de fet, fins a l'època de Bacon, una barreja tèrbola de física amb metafísica. Es podria dir que es va intentar

arribar a una solució a partir d'un material insoluble que es negava a dissoldre's i no podia precipitar.

La visió grega de la natura era essencialment panteista. Els pensadors jònics semblen haver suposat el seu poder autoregulator sense insistir-hi expressament. Només Aristòtil va rebutjar emfàticament la doctrina d'una força vital còsmica o de les tendències subscients. En canvi, Plató va acceptar i magnificar la tradició oriental; la noció d'una «ànima del món» li devia la seva vaga esplendor i la seva fascinació perenne. La funció del vice-creador platònic (perquè cal tenir en compte l'ànima del món) era la de modelar la matèria bruta en conformitat amb les idees arquetípiques de la ment divina; això, però, no es va aconseguir de cop d'una vegada per totes, sinó mitjançant una espiritualització progressiva del que per la seva naturalesa era mort i inanimat. L'agent espiritual, en incorporar-se a l'estructura universal, li va prestar una semblança de vida, una sensibilitat obscura i fins i tot alguna mena d'intel·ligència latent; i així l'*anima mundi* va ser forjada i va continuar segle rere segle essent el subjecte i la font de figuracions immensament esbojarrades i fantàstiques.

Al darrere hi havia una reflexió important —la de la unitat de la natura—, però el seu significat es va perdre enmig de les exaltades elucubracions neoplatòniques. És aquí on es van inspirar els fervors bàquics de Giordano Bruno, on va trobar el fonament el panteisme de Spinoza. El Demogorgon de Shelley, sentit com «un esperit vivent», vist com

«una foscor poderosa», descendia directament d'aquella estranya essència —informe, inarticulada, desproveïda d'autoconsciència individual— que va animar la filosofia submergida dels temps neopagans amb els ardors estèrils del misticisme.⁵ La doctrina, en la seva versió original i més sòbria, va obtenir una expressió memorable en els melodiosos hexàmetres de Virgili:

*Principio coelum, ac terras, camposque liquentes,
lucentemque globum lunae, Titaniaque astra,
spiritus intus alit, totamque infusa per artus
mens agitat molem, et magno se corpore miscet.*

En la versió en vers de Miquel Dolç:⁶

Des del començ, el cel i la terra i les líquides planes
i l'esfera brillant de la lluna i l'astre titànic,
un esperit els penetra: difós pels membres, agita
tota la massa aquest seny, i amb el cos enorme es barreja.

Kepler no era cap cosmogonista, però aspirava a crear una «astronomia física», i en les seves indagacions per trobar una potència mecànica que pogués ser suficient per regular els moviments dels cossos celestes, va trobar un mode d'acció molt apropiat per explicar-ne l'evolució. La seva ignorància de les lleis del moviment li impedia concebre velocitats constants en elles mateixes i desviades de trajectòries rectes cap a corbes per res més que una atracció central constant. Per tant, es va veure

impulsat a la doble solució de crear un medi rotatori per mantenir les revolucions dels planetes i de suposar que el Sol exercia una «influència magnètica», mitjançant la qual aquelles revolucions es reduïen a òrbites tancades. Aquí, doncs, les forces centrals van fer una entrada definitiva a l'escenari astronòmic, tot i que amb una promesa amb prou feines apreciable del seu brillant futur. El resultat va ser diferent amb la maquinària maldestra que van ajudar a animar. El senzill *modus operandi* de Kepler, adoptat, o més probablement reinventat per Descartes, va ser publicat com un descobriment revolucionari en els seus *Principia Philosophiae* (1644), i amb aquest nou aspecte va assolir una ràpida notorietat. L'àmplia acceptació de la teoria dels vòrtexs fou deguda, almenys en part, a la impressionant amplitud del seu marc explicatiu; Descartes no va deixar-ne res fora. L'enorme abast de les seves especulacions incorporava tot allò que era cognoscible: la natura, animada i inanimada, la vida i el temps:

Els astres i el cel d'éssers pàl·lids ple,
la ment humana i el que alçar-se vol.⁷

Una filosofia, una metafísica i una cosmogonia quedaven unides en un únic pla. El seu autor distingia en la matèria tres gradacions de finesa. La més grossera era la que componia la Terra i altres cossos opacs; els materials més sublimats del Sol i les estrelles venien després; per últim, hi havia la

substància etèria dels cels, tan delicadament constituïda que era lluminosa o luminífera. Aquesta última varietat es considerava d'origen subordinat; representava, de fet, una mena de detritus celeste. L'espai interestel·lar s'havia anat omplint gradualment de pols intangible, producte del desgast molecular entre partícules solars i estel·lars originalment cantelludes. Així, es suposava que l'èter tenia amb la descripció més subtil de la matèria ordinària una relació molt semblant a la que presumiblement tenen els ions amb els àtoms.

Ja hem dit prou coses per demostrar que l'univers cartesià es basava en un atomisme rudimentari. A més a més, el seu mode de construcció evidenciava un menyspreu total dels principis mecànics, malgrat que en aquells moments no era pas difícil assolir un cert coneixement de les lleis del moviment. La primera de les tres, en qualsevol cas, havia estat enunciada inequívocament per Galileu el 1632, i el mateix Descartes va defensar-ne fermament la validesa. Tot i això, va considerar necessari, per mantenir els planetes en moviment, submergir-los en un gran vòrtex rotatori centrat en el Sol; després, cada planeta disposava al seu torn d'un remolí subordinat similar per al manteniment del seu sistema domèstic. Els cometes es van deixar en una posició singularment anòmala; en general circulaven lliurement i se'n reconeixia tàcitament l'exempció de les restriccions planetàries, tot i que aprofitaven cada remolí que trobaven per ajudar-se en el camí cap a la seva destinació.

Entre les faules pseudocientífiques, Delambre va declarar que, si li haguessin ofert l'opció d'escollir, hauria preferit les esferes sòlides d'Aristòtil als *tourbillons* de Descartes. «Les esferes», va comentar, «han demostrat ser útils tant per a la construcció de planetaris que representen de manera general els moviments celestes com per al seu càlcul mitjançant regles aproximades que se'n dedueixen; el sistema de vòrtexs, en canvi, mai no ha servit per a cap propòsit, ni mecànic ni computacional».*

Malgrat tot, el model va assolir una moda brillant i continuada. Els pensadors avançats de l'època de Lluís XIV es vantaven de ser cartesians. La hipòtesi dels vòrtexs era innovadora i semblava atrevida; i tot i que potser no era certa, tenia prou plausibilitat per posar-se de moda. Tampoc mereixia el menyspreu absolut amb què va ser tractada per Delambre. Si fem una ullada al cel potser ens aturarem abans de condemnar-la a l'oblit i el menysteniment. Només dos segles després de la seva promulgació, es va identificar la primera nebulosa espiral a la constel·lació dels Gossos de Caça.⁸ Que els cels són curulls d'objectes semblants és cert, i el seu estatus com a sistemes parcialment desenvolupats és visible en cada aspecte de la seva conformació. El nostre món planetari pot haver passat, o no, l'etapa que aquests objectes il·lustren amb abundància; en qualsevol cas, demostren

* Citat per R. Wolf, *Handbuch der Astronomie*, Bd. II., pàg. 593.

sense cap mena de dubte que entre les formes que assumeixen les masses còsmiques que avancen cap a una disposició ordenada són habituals vòrtexs sotmesos a diverses condicions.

Les cosmogonies místiques pertanyen al període de la infantesa ètnica, però no han deixat de ser actuals. Cal inventar faules del món allà on la capacitat de meravellar-se de les comunitats salvatges és excitada per l'espectacle misteriós de les accions aparentment dissenyades de la Natura i el seu poder irresistible. Però entre els pobles situats a l'avantguarda del progrés van ser substituïdes per cosmogonies filosòfiques en l'època en què Tales va començar a difondre per Jònia la saviesa dels egipcis i els caldeus. Ara bé, els esquemes com els que ell i els seus successors van elaborar deriven del discurs de la raó sense cap mena de restriccions en relació als fets observats; han estat majoritàriament elaborats per homes que, en paraules de Delambre, *«dissertaient à perte de vue, sans jamais rien observer, et sans jamais rien calculer»*.⁹

Els teixits insubstancials que havien peixat van ser invalidats de cap a peus per la metodologia de Bacon i l'imperi de la llei newtoniana; van sobreviure —les formes de pensament moren lentament— però de manera insegura, amb uns fonaments notablement minats. Swedenborg va ser l'últim reaccionari eminent, i la seva restauració el 1734 del medi rotatori cartesiana com a força motora de la màquina solar va ser un fracàs ben palès. No podia ser d'altra manera, ja que la seva idea inicial

havia quedat superada. L'era moderna de la cosmogonia científica era a tocar.

Va ser precedida per alguns intents remarcables de generalització sideral. La cosmologia és la germana gran de la cosmogonia. Cal estudiar el que és abans de poder inferir el que *fou*. Els estats precedents són poca cosa més que visions tret que es puguin vincular estretament a condicions reals i observables. Cap a mitjan segle XVIII, va començar a ser una destacable aspiració aconseguir un esquema intel·ligible de l'univers estel·lar, tal com en aquell moment l'havia revelat el telescopi. I l'empresa de proporcionar el que calia fou duta a terme, de manera independent, per dos homes d'origen obscur i educació imperfecta: un, anglès, i l'altre, alemany.

Thomas Wright, de Durham, era fill d'un fuster de Byer's Green, on va néixer el 22 de setembre de 1711. Durant la seva vida, va patir nombrosos destrets, però va acabar feliçment. Després d'haver lluitat molt per guanyar-se la vida —ara al mar, després de nou a terra ferma com a fabricant de rellotges i almanacs, professor i conferenciant—, finalment va aconseguir, d'una manera una mica inexplicable, la distinció i la riquesa, es va construir una bonica casa al costat de la seva barraca natal i hi va viure, en prosperitat i bona reputació durant un quart de segle. Va morir el 25 de febrer de 1786, només un any després que Herschel hagués descrit a la Royal Society el resultat dels seus primers experiments en «determinació estel·lar». Com a

creador de la teoria del «disc fendit» de la Via Làctia, Wright encara és recordat tal com es mereix, ja que, tot i que és molt probable que aquesta majestuosa estructura estigui dissenyada d'una altra manera, no va ser pas un èxit menor haver iniciat la ciència de la seva arquitectura.¹⁰

Heinrich Lambert va ser un especulador encara més agosarat que el seu inconegut rival anglès. El seu pare era un sastre pobre a Mülhausen, aleshores en territori suís, i va treballar com a aprenent seu. Però el seu talent irrefrenable el va fer destacar i va acabar els seus dies, el 1777, com a membre de l'Acadèmia de Berlín, gràcies al favor de Frederic II. Les seves *Cosmologische Briefe*, publicades el 1761, eren completament originals; van ser redactades sense saber el que ja havien escrit Wright i Kant i, en alguns aspectes, els va superar a tots dos. Tenia una perspicàcia magnífica i va acaronar els límits de la grandesa; i si bé els seus assoliments no van arribar als cims més alts, potser va ser més aviat per manca d'oportunitats que no pas per manca de capacitats. Segons la seva opinió, la Via Làctia descrivia una mena d'eclíptica sideral, i coincidia amb Wright a l'hora de considerar-la un disc d'estrelles acumulades, però amb bretxes i buits que indicaven una multiplicitat de sistemes que, pensava, giraven al voltant d'un centre comú. Tampoc dubtava de l'existència d'altres vies làcties —innombrables, remotes, invisibles— agrupades totes en un conjunt d'ordre superior; més enllà, fins on es podia concebre, s'estenien jerarquies addicionals

de sistemes en una escala ascendent de magnitud i grandesa.

El nostre coneixement dels fets estructurals de l'univers mai pot arribar a ser exhaustiu; a mitjan segle XVIII, abans que Herschel endegués la seva campanya sidereal, amb prou feines es podia considerar elemental.¹¹ Wright i Lambert, per tant, tenien poc material: havien de fer maons amb molt poca palla; tot i això, van fer tot el que podien amb el que tenien a mà. Tots dos van prestar una profunda atenció als cels estel·lars; van buscar amb afany la interpretació veritable de les aparences que se'ls presentaven, i consideraven que era possible, tal com nosaltres encara fem malgrat dificultats cada vegada més grans, harmonitzar innumbrables fenòmens independents en un colossal pla sintètic.

Va ser aquest propòsit de fidelitat a la Natura el que va donar valor a la seva obra i la va convertir en una cosa nova en la història de la cosmologia. Això li va donar prou impuls i va fer que les meditacions d'aquests dos pensadors solitaris tinguessin la vigoria necessària per estimular nous intents que, afavorits per la millora de les condicions, volien comprendre allò que realment existeix i inferir-ne, amb confiança racional, les fonts situades en un passat desdibuixat però innegable.

2

La hipòtesi nebular

L'any 1751, Immanuel Kant encara es trobava en l'etapa precrítica. El seu període de la «raó pura» encara era lluny i podria haver semblat impossible. En aquells moments, les seves distincions les havia guanyat en el camp de la ciència concreta i el món dels fenòmens atreia les seves especulacions de manera més seductora que les subtileses de la lògica. Per tant, la lectura de l'obra *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe* de Thomas Wright, tal com es va presentar resumida en una revista d'Hamburg, va ser una llavor en terra fèrtil. El va dur a pensar, i les seves reflexions van resultar ser de tipus dinàmic. Wright considerava els cels sota un aspecte merament estàtic; va establir el primer esquema concret de la seva construcció, mostrant que les estrelles no estaven disperses a l'atzar, sinó agregades segons un mètode. No era pas poc perquè un ésser humà freturós ho aconseguís sense ajuda.

Però el jove professor de Königsberg no podia quedar-se satisfet amb la contemplació ociosa de

cap mena de disposició perdurable. La seva ment era incapaç d'acceptar les coses tal com es presentaven sense més ni més; anhelava conèixer com es relacionaven les unes amb les altres. A més, estava impregnat de doctrines epicúries, però no en cap sentit reprensible. Tampoc se li podia retreure res ni com a hedonista ni com a ateu. Els seus plaers eren intel·lectuals, la seva moral austera, les seves conviccions ortodoxes. Darrere del vel de l'existència material, albirava el seu suprem Originador immaterial, i la seva percepció de l'activitat en la Natura d'una Primera Causa ordenadora romanía igualment vívida, tant si les seves revelacions es consideraven una creació immediata com si es manifestaven per mitjà de processos tediosos de modificació i creixement. La seva visió àmplia i lluminosa abraçava, a més a més, la importància ètica que presagien aquests processos. La frase següent mostra una apreciació del lloc de l'ésser humà a la Natura més autèntica i profunda que la que tal vegada va assolir qualsevol altre dels seus contemporanis filosòfics: «L'evolució còsmica de la Natura», va escriure en paraules memorables, «continua en el desenvolupament històric de la humanitat i es completa en la perfecció moral de l'individu».*

Tot i així, admetia tenir una afinitat ideològica amb Demòcrit pel que fa a l'origen de l'univers. Lucreti l'havia encisat amb la seva dicció elevada i

* Citat pel doctor Hastie al prefaci de la seva traducció de la *Cosmogonia* de Kant (Glasgow, 1900).

havia conquerit la seva adhesió científica amb les majestuoses imatges dels seus versos; ara, cal dir que amb certes reserves, atès que no estava en la seva línia ser un deixeble dòcil. Va aprofitar, doncs, els àtoms de Demòcrit, però no va admetre de cap manera que la seva participació fos fortuïta. El caos mateix, tal com el concebia, mig amagava i mig revelava l'esbós d'un «pla perfecte». Els seus postulats eren pocs; només exigia una despesa il·limitada de matèria primordial, només animada per les forces de la gravitació i la repulsió molecular, i es va comprometre a generar, a partir d'aquesta idea, un sistema solar viable. L'intent no va ser més que parcialment reeixit. La recerca retrògrada duu, en el millor dels casos, a resultats precaris, i aquesta, en particular, estava viciada per un error fonamental de principi. El seu autor va percebre clarament que el moviment planetari havia de ser el resultat d'un remolí vortical en la matriu nebulosa, però no va veure que no hi havia cap interacció de les seves partícules constituents que hagués posat en marxa aquest remolí.

Els sistemes no poden, per si mateixos, afegir res al seu «moment de moments».¹ No hi canvis de configuració interna que puguin augmentar o disminuir la suma dels productes obtinguts multiplicant la massa de cadascun dels cossos connectats per la seva velocitat areolar projectada sobre un pla comú.² Aquesta suma és de naturalesa algebraica; moviments iguals i oposats es cancel·len entre si, i el total representa només l'excés acumulat de

velocitat en qualsevol direcció. Un sistema amb totes les seves parts en ràpid moviment podria, en conseqüència estar mancat de moment angular. I si aquest fos el seu estat des del principi, hauria de ser el seu estat fins al final dels temps, tret que s'apliqués alguna força externa per alterar-lo. Però és una possibilitat que es pot descartar com a ideal; l'establiment d'un equilibri tan perfecte com el que requeriria no és factible a la pràctica. En el món real, una banda del recompte de velocitat segurament superaria l'altra, encara que fos molt lleugerament, i la més petita predominança seria suficient per posar en marxa una eventual rotació del sistema.

Si Kant hagués estat més familiaritzat amb els principis mecànics, podria haver confiat amb seguretat en els minúsculs punts de partida que proporcionen les desigualtats primitives de moviment i la dissimetria en la distribució existents en el colossal núvol de pols per a l'emergència del moviment rotatori necessari per al seu propòsit; així hauria evitat ensopegar just al llindar de la seva audaç recerca. Reticent, amb raó, a emprar recursos arbitraris, va obstinar-se amb la simplicitat dels seus postulats i, d'aquesta manera, va ser induït a substituir una causa real per una d'imaginària. La hipòtesi que va adoptar va ser que les partícules que formaven la massa incipient inicial s'apilotaven per gravetat, però es desviaven dels cursos rectilinis mitjançant els efectes d'una resistència desigual. I de la combinació d'aquestes trobades multi-

tudinàries va derivar una rotació axial comuna per a tota l'aglomeració. La futilitat d'aquest procediment va ser remarcada per M. Faye el 1885.^{*,3} De fet, les desviacions en qüestió s'equilibrarien exactament entre elles, sense que hi hagués cap raó per la qual el moviment en un sentit prevalgués sobre el moviment en el sentit oposat; en conseqüència, un moviment rotatori general ni tan sols podria començar a afectar la massa agitada, que es condensaria en una rigidesa estèril. Kant hauria d'haver assumit llavors, com va fer Laplace quan li va arribar el seu torn, la rotació com a indispensable per al seu propòsit. Va demanar massa poc a la Natura per una banda i massa per l'altra, amb el resultat que la maquinària que havia dissenyat per posar en marxa acabava aturant-se.

Kant va fer que la llavor del futur Sol consistís en una agregació d'àtoms en el nucli de la nebulosa, que, creixent per successives i innombrables adhesions, proporcionava la força motriu per a la maquinària de construcció planetària. Perquè, tal com hem vist, eren les empentes de les partícules atretes cap al centre d'atracció cada cop més preponderant el que posava en marxa, suposadament, el remolí que finalment es va transformar en les velocitats tangencials dels cossos que acompanyen el Sol. Aquests es van formar, com el Sol, per la perpetuació i l'increment de nuclis subordinats que sens dubte sorgiren en el tumult elemental. Es van

* *Sur l'origine du monde*, 3a ed., pàg. 136.

formar, doncs, no sota la guia d'una llei definida, sinó allà on l'atzar —o el que semblava atzar— afavoria una acreció.

L'augment progressiu de les distàncies planetàries assenyalat per Titius i Bode no podria haver sorgit mai en el sistema kantianà. Tampoc els planetes kantians podrien haver tingut una rotació directa.* En les condicions donades, s'haurien d'haver originat sistemes retrògrads, conseqüència necessària de la manca de coherència dels seus materials. Les partícules que giren independentment les unes de les altres tenen velocitats més petites com més allunyades estiguin del centre de moviment. Si s'aglomeren en un globus, els recorreguts interiors, pel fet de ser els més ràpids, en determinen la direcció de rotació, que en conseqüència invertirà la direcció de la seva revolució orbital. Per tant, depèn de la naturalesa de la seva matèria generadora, no pas menys que del progrés de la condensació central, si els planetes, en els seus arranjaments locals, contravenen o obeeixen la llei més àmplia de circulació que preval en el sistema al qual pertanyen, i la nebulosa de Kant era tal que, sense cap dubte, n'implicava la contravenció.

Tot i això, el seu esquema, amb totes les seves deficiències, duia el segell autèntic del geni, d'un geni imperfectament equipat amb coneixement, però original, penetrant i prescient. El mateix títol de l'obra, *Història natural dels cels*, era audaç i

* Això també s'assenyala a Faye, *op. cit.*, pàg. 150.

implicava un canvi radical de concepció. Va ser en aquest tractat remarcable que els «universos insulars» van fer l'aparició definitiva. És cert que Wright, cinc anys abans, el 1750, havia llançat la idea que les «taques nebuloses» podien ser «creacions externes», però només com un mer caprici de la imaginació científica. Kant s'hi va aferrar sense dubtar-ho, va classificar les nebuloses com a galàxies separades i les va considerar combinades amb la nostra en un sistema rotatori a una escala de grandesa incomparable. Kant també va ser el primer a tenir en compte els efectes de la plasticitat dels cossos celestes sobre el seu propi desenvolupament. El 1754 va publicar en un article a Königsberg, com a pas preliminar de la seva obra *Història natural*, un esbós de l'efecte de la fricció de les marees en el sistema Terra-Lluna. Va veure amb claredat que en el passat havia actuat per alentir la rotació del nostre satèl·lit a la seva velocitat mínima actual, i que fins i tot ara, molt a poc a poc, tendia a retardar la rotació de la Terra. Aquesta brillant previsió va passar desapercebuda durant gairebé un segle.

L'afirmació, però, que la cosmogonia de Kant era una anticipació de la «hipòtesi meteorítica» no té fonament. Només és certa en el sentit que els seus materials de construcció eren pulverulents, no pas «fluids». La nebulosa primitiva de Laplace era una massa coherent que girava com un tot i només es dividia sota una tensió considerable; les seves parts separades tenien unitat individual i es mantenien

unides, per dir-ho així, amb un objectiu de concentració. La matèria elemental de Kant, en canvi, era un agregat poc definit de partícules independents, en què cadascuna seguia el seu camí, pertorbada pels seus veïns però essencialment aïllada d'ells. Eren, en resum, autèntics àtoms lucrecians, destinats a representar els mínims irreductibles de la Natura. El caos que formaven no era de cap manera un «tot meteorític», tret que buidéssim la frase de qualsevol mena de significat distintiu. Els meteorits, lluny de ser unitats primordials, tenen l'aparença de productes còsmics avançats. Plantegen qüestions especials en química, mineralogia, geologia i física, i els experts se n'ocupen en cada una d'aquestes branques. De fet, abans que puguin tenir finalitats explicatives, cal, al seu torn, explicar-los.

Laplace va enunciar la seva hipòtesi el 1796 i la va tornar a publicar amb detalls suplementaris el 1808. Mentrestant, Herschel havia constatat el moviment retrògrad del sistema de satèl·lits d'Urà, una circumstància molt perjudicial per a la validesa de la línia de raonament adoptada; tanmateix, el seu autor es va conformar a deixar-la tal qual. Sens dubte, devia lamentar que la Natura hagués considerat oportú espatllar l'admirable simetria indicadora del seu presumpte pla d'acció, anant en contra dels ensenyaments més clars de la doctrina de les probabilitats. Però va mantenir la seva opinió sobre el tema i va preferir que la posteritat el discutís amb tot detall, tal com s'ha fet; i la posteritat, com a mínim, ha après que els aparents capricis de la Natura

sovint són més instructius que la seva regularitat més harmoniosa, i, a partir de les seves freqüents ruptures de continuïtat, ha derivat un avís contra l'ampliació sense base d'inferències aparentment ben fonamentades.

No obstant això, l'esquema constructiu transmès entre els segles XVIII i XIX no ha estat relegat als llimbs de les coses vanes fins al moment present. Coincidia massa profundament amb realitats indubtables perquè fos desestimat sumàriament. Ningú viu en aquells moments havia estudiat el mecanisme del sistema solar tan atentament, ni coneixia tan íntimament el seu funcionament, com Pierre Simon Laplace. Ningú sabia millor com d'admirables, però fins a quin punt no inevitables, eren els ajustaments pels quals se'n garantia l'estabilitat. Una llarga meditació sobre la seva estabilitat i disposició el va convèncer que les congruències persistents d'aquell arranjament devien tenir el seu origen en un origen comú. Així va adquirir la ferma convicció que el Sol havia engendrat el seu seguici, o que juntament amb ell fou engendrat a partir d'una massa mare. I aquesta veritat pràcticament nova (perquè l'especulació de Kant havia atret una atenció insignificant) va ser exposada per ell amb una franquesa i lucidesa que li van fer guanyar un lloc immediat entre els assoliments permanents de l'intel·lecte humà. Potser ja n'hi ha ben pocs que creguin que la formació planetària va seguir el curs precís establert al *Système du Monde*, però encara n'hi ha menys que dubtin que tot l'àmbit del

sistema solar fou ocupat en algun moment per un sol incipient i que els seus cossos components van sorgir com a conseqüència de la contracció progressiva d'aquest sol.

A favor d'aquest punt de vista, Laplace no podia al·legar cap argument conclusiu; el plantejava únicament per la seva probabilitat inherent. No obstant això, el teorema modern de la conservació de l'energia, aplicat per Helmholtz amb un efecte molt esclaridor per resoldre el problema del manteniment de la calor solar, li ha proporcionat una confirmació inesperada.⁴ Laplace va assumir una temperatura inicial enormement alta; era l'única via que se li oferia, i la va prendre. Ara bé, no és fàcil concebre una nebulosa tan calenta; un estat tèrmic excitat sembla, i probablement és, incompatible amb un alt grau d'atenuació. La clau de l'enigma va arribar amb la demostració que una massa difusa, tot i que freda, podria contenir grans reserves de calor potencial. Aleshores no calia postular cap mena de «boira de foc» primitiva; amb l'energia potencial cedida n'hi havia prou per satisfer els requisits del cas. La temperatura de la nebulosa augmentava a mesura que es contreia per atracció gravitatòria; la contracció i la generació de calor van procedir juntes i, amb tota probabilitat, continuen juntes. La nostra existència depèn en part, o totalment, del col·lapse del Sol. Si les seves partícules deixessin de caure, la seva incandescència es tornaria menys intensa i la vitalitat terrestre es veuria seriosament compromesa.

Tanmateix, com que el seu nombre és finit, la reserva d'energia que poden subministrar en caure fins i tot des d'una distància infinita també és finita. El procés de sustentació solar és, doncs, finit; va tenir un començament i, sens dubte, arribarà a la seva fi. Ara, el *terminus ad quem* és d'una llunyania calculable: es pot situar (tret que es desplaci per processos radioactius) dins de certs límits de temps. En canvi, el *terminus a quo* depèn de massa condicions per ser definit satisfactòriament. El que és cert és que el Sol avui està lleugerament més condensat que fa un any. Fa uns quants mil·lennis podria haver estat considerablement més gran i s'hagués pogut mesurar si els mètodes micromètrics moderns haguessin estat disponibles a l'edat de pedra; mirant cap al passat geològic, discernim un globus cada cop més difús, que omplia l'òrbita de Mercuri quan la Terra potser encara era al roig viu, i després esferes progressivament més àmplies, fins i tot més enllà de la de Neptú. Precisament, un Sol tan difús com aquest és el que correspon a la nebulosa de Laplace. En conseqüència, es pot assolir la situació que imaginava, ja sigui traçant cap endavant l'evolució d'una massa rotatòria tènue, o seguint cap enrere la distensió indicada, incessant i inevitable, del Sol. Per tant, tan bon punt es va reconèixer que l'energia es pot transformar però no es pot destruir, la cosmogonia nebular va assumir un aspecte nou i acreditat.

Però en aquest aspecte els investigadors recents han introduït una advertència que no s'ha

d'ignorar, tot i que es basa en modes d'acció encara d'allò més obscurs. La radioactivitat és una ciència incipient; les seves capacitats, tot i que immenses, amb prou feines estan esbossades. Fins que no quedin demostrades amb més contundència, no seria prudent admetre a què podrien dur. Hi ha idees subversives en els ambients acadèmics; la teoria de la dissociació atòmica va a l'arrel mateixa de les coses i reclama amb força una afirmació. La seva verificació, en revelar la presència a l'univers d'una reserva il·limitada d'energia insospitada, anul·laria tots els càlculs del temps còsmic intentats fins ara i podria allargar indefinidament l'abast radiatiu del sol.

El senyor W. E. Wilson va assenyalar el 1903* que tota la seva producció tèrmica podia ser subministrada per l'alliberament espontani d'energia de 3,6 grams de radi en cada metre cúbic del volum solar; i tot i que no tenim proves de l'existència real de radi al Sol, cal tenir en compte la possibilitat que l'heli cromosfèric representi la desintegració dels elements radioactius solars.** El terreny aquí és ple de paranys. Només podem veure que, tot i que la justificació gravitacional de Helmholtz sobre la llarga història de la vida del Sol continua sent correcta, els resultats que se'n deriven poden quedar profundament modificats per processos coordinats, diversament eficaços en funció de les

* *Nature*, 9 de juliol de 1903.

** Rutherford, *Radio-activity*, pàg. 342.

circumstàncies, que potser podem descobrir però que encara són desconeguts.⁵

L'abast de la hipòtesi nebular s'havia eixamplat prodigiosament quan Helmholtz s'hi va posar a treballar. Cinc anys abans de la seva explicació a París, Herschel va donar a Slough el primer indici d'un esquema equivalent d'evolució sideral. El descobriment d'una estrella nebulosa a Taure (NGC 1514) el va fer reflexionar;⁶ i, com a resultat de les seves meditacions, es va trobar amb el dilema d'o bé concloure que el nucli i la *chevelure* eren igualment estel·lars, tot i que compostos d'estrelles que diferien enormement en magnitud real, o bé admetre que l'estrella posseïa un apèndix voluminós constituït per un peculiar i desconegut «fluid brillant». Va triar la darrera alternativa, i hi afegí l'observació següent: «El fluid brillant podria existir independentment de les estrelles», i «sembla més apte per produir una estrella mitjançant la seva condensació que per dependre de l'estrella per a la seva existència».*

Així, de manera temptativa, i sota la compulsió dels fenòmens més que no pas per una elecció deliberada del seu creador, va sorgir la teoria universal de la gènesi de les estrelles a partir de les nebuloses. Herschel la va modelar definitivament el 1811 i el 1814 en un pla formal per a la interpretació de l'aspecte dels cossos celestes, però d'una manera àmplia i general. No va fer cap intent de comprendre

* *Philosophical Transactions*, vol. LXXXI, pàg. 85.

les particularitats d'un *modus operandi* concebut vagament com a creixement per absorció o assimilació. Ell i Laplace van arribar a les seves propostes de manera independent l'un de l'altre. No hi ha cap prova que haguessin intercanviat punts de vista, en persona o per correspondència, ni tampoc sembla que la seva influència mútua hagi estat apreciable.* Tot i això, Laplace necessitava com a matèria primera per al seu sistema solar precisament el «fluid brillant» que podríem dir concebut per Herschel, en part a través de les revelacions dels seus telescopis, en part com a resultat dels seus raonaments sobre la *chevelure* de l'estrella de Taure. Halley, és cert, per una sagaç intuïció, havia conjecturat la composició de les nebuloses a partir d'un «medi lúcid», però l'exposició poc eficaç va quedar enterada a les pàgines de les *Philosophical Transactions*, i només fa poc ha ressorgit en el corrent de la literatura científica.

Fins a les acaballes del segle XVIII, la construcció del món havia estat una empresa purament especulativa. Li mancava realitat; feia referència a processos que es consideraven pertanyents exclusivament a un ordre de coses passat, ara acabat i completament fora de l'abast de l'experiència. Gràcies a la síntesi de Herschel, però, aquests processos amb

* Herschel va conèixer Laplace durant una visita a París el juliol de 1801, però el que es van dir no ha quedat registrat. A la sisena edició, però, de l'*Exposition du Système du Monde*, Laplace es va referir a les observacions de Herschel de les nebuloses com a confirmatòries del seu esquema genètic.

prou feines compresos van quedar a la vista com a evolucions diverses, actives fins i tot ara en diferents parts del cosmos, incipients en algunes regions, molt avançades en altres, en alguns casos amb les deixalles que mig emmascaraven l'edifici en construcció, mentre que en altres llocs els signes de decadència i esgotament aportaven un presagi evident d'una fi predeterminada. I aquesta visió magnífica d'un univers en formació no ha desaparegut davant l'escrutini crític. No és un teixit oníric, no es pot dissoldre en un no-res eteri; es basa en un substrat ferm de realitat. Els propòsits incommensurables de la saviesa creativa només es compleixen en part, però. S'ha convertit en l'estrany privilegi de la humanitat contemplar des del seu petit escull de temps el flux oceànic de la seva evolució. Així, el pensament de Laplace va ser atrapat i vitalitzat en el vaivé de les eres; ell mateix amb prou feines era conscient del seu moviment. Va identificar de manera molt imperfecta, si és que va arribar a fer-ho, el seu compromís envers l'estrella nebulosa de Herschel. Els seus mitjans eren insuficients; el seu camp de visió, estret; el seu coneixement, tot i que corresponent al del seu temps, no estava a l'altura del que exigia la seva tasca il·limitada. En alguns aspectes, el seu mode de procediment era defectuós; les seves previsions han estat desmentides i el comportament que imputava a una nebulosa com la que va idear és qüestionable, si no impossible. Però amb l'instint d'una intel·ligència consumada, va encertar el «moment psicològic» i, en endevinar la

importància genètica d'harmonies estructurals evidents a la percepció però de difícil interpretació, va establir amb una simplicitat magistral el pla bàsic d'una estructura que probablement podria mantenir la seva integritat substancial malgrat innombrables addicions i rectificacions.

3

Crítiques a la hipòtesi nebular

La teoria de Laplace era una concepció perfectament definida. En això residia el seu mèrit distintiu; i en això també la seva especial susceptibilitat a ser atacada. Aquí no es tractava de condensació al voltant dels nuclis que sorgien a discreció enmig de les enormes possibilitats d'una confusió elemental il·limitada, sinó d'una successió ordenada d'esdeveniments, inevitables per l'acció constant de les lleis mecàniques, i que harmonitzaven, en el seu resultat, amb la sèrie de fenòmens visibles i ben constatats en el sistema planetari. En conseqüència, aquests van deixar de ser considerats arbitraris o casuals i van quedar vinculats entre ells en el present i amb el passat com a productes conjunts d'un gran esquema evolutiu. El mode d'origen dels cossos que exhibien aquests fenòmens els explicava, segons afirmava el seu creador, d'una manera senzilla i exhaustiva; com a mínim, les

proposicions fonamentals que ell havia establert no podien ser refutades.

Sens dubte, la unanimitat dels moviments planetaris no és resultat de l'atzar; representa, de manera força òbvia, la persistència del remolí general d'una massa incipient, que ocupava en els seus inicis tota l'esfera identificada d'influència solar. Les ambigüitats només apareixen quan es consideren els detalls. La nebulosa generadora ideada per Laplace estava proveïda d'una vasta reserva de calor i un lent moviment de rotació; per tant, el refredament, la contracció i l'acceleració avançaven *pari passu*, aquesta última com a conseqüència de la llei mecànica per la qual la suma algebraica de les àrees descrites per qualsevol nombre de cossos al voltant d'un eix determinat, multiplicada per les seves diverses masses i projectada sobre un sol pla, roman constant fins a la fi dels temps. En altres paraules, per repetir el que s'ha dit unes pàgines enrere, el moment angular d'un conjunt de partícules no pot augmentar ni disminuir a causa dels efectes de les seves interaccions mútues, per molt variades i perllongades que siguin.

La nebulosa va accelerar el seu ritme fins que es va assolir una etapa en què la velocitat centrífuga ja no podia quedar compensada per la gravetat; la separació es va fer inevitable i es va desprendre un anell equatorial que, a partir de llavors, va girar per sí sol amb un període que correspon a la massa en el moment de la seva separació. Aquesta va ser la primera de moltes crisis d'inestabilitat posteriors,

cadascuna de les quals va acabar amb el despreniment d'un anell nebulós. Aquests anells, però, podem considerar-los només formes de transició. Van sobreviure, gairebé amb finalitats il·lustratives, al sistema saturnià; en altres llocs es van trencar en fragments que finalment es van agrupar en globus que no eren res més que planetes embrionaris. Tot i així, hi havia un problema en la línia argumental, problema que no va escapar a l'agudesia del geòmetra francès. La direcció del moviment axial impartit als membres de la família solar depenia essencialment de les velocitats relatives de les porcions de matèria reunides per a la seva construcció. Si les seccions interiors de la massa es moguessin més ràpid que les exteriors, la rotació resultant hauria d'haver estat retrògrada; si fos més lenta, s'hauria produït una rotació directa. Ara, en un anell com el de Saturn, format per partícules discretes, la velocitat lineal disminueix de manera contínua cap a l'exterior, i cadascun dels seus constituents més petits obeeix independentment la llei de períodes i distàncies de Kepler. Una formació d'aquesta mena, com que per força hauria produït planetes amb rotació retrògrada, no hauria estat adequada per al propòsit previst, i Laplace, en conseqüència, va substituir-la per un anell dotat d'una quantitat considerable de cohesió i capaç de girar com un sòlid amb un únic període. És cert que aquesta unanimitat de moviment era incompatible amb les altres condicions postulades, però l'anomalia va passar desapercebuda durant més de mig segle.

A més a més, el professor Darwin ha assenyalat que un anell de matèria distribuït amb alguna aproximació a la uniformitat s'ha de concentrar, si és que ho fa, al voltant del seu propi centre de gravetat.*¹ En conseqüència, hauria de col·lapsar sobre el cos original i ser-hi reabsorbit. Si fos marcadament asimètric i desequilibrat, el seu material podria certament acumular-se en un punt interior més o menys allunyat del centre; però en cap cas podria el focus de condensació estar situat en cap part de la circumferència anular, on el situava Laplace.

Tant si era viable com si no, el pla evolutiu que va traçar era estrictament regulat; els seus passos estaven marcats amb una precisió característica. Tanmateix, per aquesta mateixa determinació, era hostatge del seu propi futur. S'havia d'enfrontar a comprovacions que dissenys esbossats més vagament podrien haver evitat. El criteri principal de la seva certesa era la prevalença del moviment concordant en tot el domini solar. Els corrents en sentit contrari quedaven formalment exclosos; la seva possibilitat ni tan sols es contemplava. Per tant, el descobriment dels sistemes retrògrads d'Urà i Neptú va contravenir rotundament les seves pretensions d'acceptació incondicional. Amb menys proves, però amb la mateixa certesa, la hipòtesi de Laplace, interpretada d'una manera estricta,

* Discurs presidencial a l'Associació Britànica, Johannesburg, 30 d'agost de 1905.

implica que cada planeta circula en el mateix temps emprat per la rotació de la nebulosa indivisa just abans que la inestabilitat en provoqués la separació. Cadascun dels períodes planetaris hauria de tenir, per tant, una certa proporció, prescrita per una llei mecànica inexorable, amb el període real de rotació del Sol. De fet, però, els períodes en qüestió són molt més curts del que correspon a la necessitat de conservació del moment angular del sistema. La discrepància va ser advertida fa gairebé mig segle pel senyor Babinet que, el març de 1861,^{*} va demostrar que el moviment axial de la massa solar, quan s'estén per omplir l'esfera de Neptú, hauria d'haver estat, segons la llei de les àrees, tan excessivament lent que haurien calgut més de 27.000 segles per completar una sola rotació, mentre que, fins i tot quan la nebulosa estigués delimitada per l'òrbita terrestre, el període encara havia d'allargar-se fins als 3.181 anys. En aquestes circumstàncies, la força centrífuga no hauria desequilibrat mai l'atracció central; no es podria haver separat cap anell ni es podria haver format cap planeta.²

No fa gaire, el senyor F. R. Moulton, de Chicago,^{**,3} ha reconsiderat el tema en el transcurs d'una discussió acurada i franca sobre les dificultats que assetgen la cosmogonia nebular vista des del punt de vista de la ciència moderna, i arriba essencialment a la mateixa conclusió. Els seus càlculs, tot

^{*} *Comptes Rendus*, volum LII, pàg. 481.

^{**} *Astrophysical Journal*, vol. XI, pàg. 103.

i que basats en dades expressament escollides per donar a la teoria clàssica el benefici de tot dubte, van deixar perfectament clar que el moment angular del sistema planetari embrionari hauria d'haver superat el seu valor actual en no menys de 213 vegades si, quan s'estenia fins a la distància de Neptú, girava amb el que ara és el període de Neptú. Però el moment angular és una constant, un lapse de milions d'anys és irrellevant; no està, com l'energia, sotmès a «dissipació»; no pot haver augmentat ni disminuït de valor des que el cel va ser tacat per primera vegada amb la «l'alè» destinat a condensar-se en el nostre sol, que, com a mínim en aquest aspecte, ha d'haver mantingut la immutabilitat en cada etapa de la seva evolució posterior. D'altra banda, tenint això en compte, el moviment rotatori primordial hauria estat massa lent per permetre l'aparició de situacions d'inestabilitat. La gravetat hauria mantingut sempre la seva supremacia sobre les forces que tendeixen a la disrupció fins que la nebulosa s'hagués contret a menys de la mida de l'esfera mercuriana, i el seu col·lapse en aquell moment hauria estat massa tardà per a l'origen de qualsevol dels orbes germans de la Terra. És cert que aquests resultats depenen, en part, del mode de variació de la densitat que s'atribueixi a la nebulosa en contracció progressiva; però la llei adoptada pel senyor Moulton té un consens d'autoritats al seu favor. Tampoc la seva desviació de l'exactitud —si és inexacta— podria ser suficient per explicar les

enormes discrepàncies que els càlculs que s'hi basen han posat de manifest.

La hipòtesi nebular estipula, a més, que els satèl·lits han de girar més lentament que la rotació dels seus cossos primaris. La raó és evident: en el període d'un cos separat per acceleració centrífuga es perpetua la velocitat de gir de la massa original, si la teoria és vàlida. La contracció subsegüent tendeix a accelerar, i molt, la rotació del planeta, mentre que el període de revolució del satèl·lit es manté inalterat com a registre permanent del que va ser el període conjunt. Aquesta relació pot quedar modificada pels efectes de la fricció mareal, però és força dubtós que es pugui revertir. És, doncs, un tret característic del mode d'evolució descrit per Laplace que cap mes, per dir-ho així, pugui ser més curt que el dia corresponent. Aquesta regla es compleix a gairebé totes les parts del sistema solar. No obstant això, no fa gaire se n'han manifestat dues violacions flagrants, que difícilment es poden explicar amb hipòtesis suplementàries. La primera anomalia constatada d'aquest tipus es va trobar en el ràpid període de revolució de Fobos, el satèl·lit interior de Mart, que completa tres revolucions i entra en una quarta mentre el planeta que acompanya gira una sola vegada sobre el seu eix. El fet és molt desconcertant, i la convicció que la fricció mareal solar serviria per eliminar la dificultat no ha demostrat estar ben fonamentada. Cal destacar que la fricció de les marees solars actua com una força externa sobre els sistemes subordinats sotmesos a la seva influència.

Dins dels seus límits, podia anul·lar el moment angular i tendia a derogar la llei de conservació; per tant, la suposició factible era que la rotació de Mart, al llarg dels segles, s'havia alentit considerablement a causa de l'efecte retardador de les marees solars. De totes maneres s'ha demostrat que l'acció és insuficient per a la tasca que se li havia assignat.

La reducció del moment de rotació de Mart a aproximadament una vint-i-cinquena part de la seva quantitat original hauria comportat altres conseqüències, una de les quals, com a mínim, clarament no es va produir.* En una fase inicial del procés, Fobos hauria d'haver estat reintegrat a la massa del seu planeta primari.** L'atracció de la petita onada mareal provocada sobre la superfície d'aquell cos hauria estat dirigida cap enrere des de l'instant en què l'equilibri dels períodes s'inclinés, per compulsió solar, en una direcció contrària a la que hauria pres de manera natural; la pèrdua de velocitat resultant hauria d'haver comportat el descens del petit satèl·lit al llarg d'un camí en espiral fins a una perdició inevitable. La seva existència, doncs, tanca aquesta via d'escapament pel que fa a la dificultat plantejada a causa de la brevetat del seu període. El senyor Wolf va recórrer a un subterfugi explicatiu diferent.*** Creia que Fobos podria tenir l'origen en una de les «deixalles el·líptiques» de matèria nebulosa de Roche precipitades en la

* Moulton, *Astrophysical Journal*, vol. XI, pàg. 110.

** Nolan, *Nature*, vol. XXXIV, pàg. 287.

*** *Bulletin Astronomique*, vol II, pàg. 223.

proximitat immediata del planeta en procés de re-fredament des de la vora de les regions polars de l'esferoide marcià distès i en rotació, a causa de la seva baixa velocitat lineal. L'explicació, tot i que enginyosa, és massa abstrusa per ser satisfactòria; la ment no s'hi aferra i evadeix una comprensió clara.

El sistema saturnià presenta un cas similar, però encara més desconcertant per als plantejaments especulatius. El sistema d'anells de Saturn sempre ha atret els pensadors com un sorprenent tema de reflexió en el desenvolupament nebular. Per força va captar l'atenció de Kant, el qual n'esbossà la història del seu origen seguint una línia de raonament que anticipava l'adoptada per Laplace per al sistema solar en la seva totalitat. El mateix Laplace considerava l'estructura saturniana com l'única relíquia supervivent de l'etapa anular de formació planetària, un testimoni del passat fosc cap a un estat de coses transitori a tots els altres llocs del sistema. Tanmateix, aquest testimoni ha actuat en contra del que s'esperava i ha capgirat tota la situació. L'anell saturnià més intern té un període massa curt per ser compatible amb els requisits de la teoria; els seus constituents meteòrics, que gràcies a proves espectroscòpiques se sap que giren cadascun pel seu compte, completen les seves òrbites en un període d'entre cinc i sis hores, mentre que el planeta necessita deu hores i mitja per a la seva rotació axial. A més, la fricció mareal és molt menys clara aquí que a Mart; però no s'ha pogut apreciar cap altre agent retardant. La situació de punt mort

en què ens trobem sembla definitiva i desesperançadora.

Una objecció igual de formidable, i fins i tot més fonamental, va ser la plantejada per Kirkwood el 1869. El material nebulós no condensat del Sol devia ser, al principi, extremadament tènue. El nostre aire atmosfèric seria, en comparació, una substància densa i massiva; tanmateix, cap persona raonable podria atribuir a la matèria aèria el més mínim poder de resistència als esforços sobre ella impartits. Sabem perfectament que una esfera d'aire en rotació, i, *a fortiori*, una esfera de matèria milers de vegades menys compacta que l'aire, es desintegraria de manera continua per la seva superfície amb l'augment de l'acceleració. La pertorbació i la restauració de l'equilibri serien pràcticament simultànies; no hi podria haver acumulació d'esforç intern i, en conseqüència, no hi hauria èpoques clarament separades d'inestabilitat. En el primer esforç, en el primer instant en què la velocitat centrífuga obtingués un avantatge sobre la gravetat, se n'haurien separat volutes nebuloses, un despreniment que hauria continuat sense pausa. L'espai s'hagués omplert de les deixalles de la nebulosa en condensació i hagués provocat un vast núvol de pols còsmica, no una majestuosa disposició d'esferes en rotació.

A més, la possibilitat de la seva emergència a partir d'anells preexistents no està garantida en absolut. Fins i tot si el material nebulós hagués posseït la fabulosa cohesió indispensable per a la seva divisió en anells voluminosos amb amplis espais buits

intermedis, és probable que no s'hagués assolit mai la seva aglomeració final en globus planetaris de cap manera efectiva. Kirkwood fa molt de temps que ja va qüestionar la viabilitat del procés; el senyor Moulton ha fet un llarg camí per demostrar que el resultat hauria de ser fallit, i el professor Darwin afirma que el seu inici, exceptuant-ne condicions especialíssimes, resulta impracticable.

Una altra objecció greu a l'esquema de Laplace es basa en les claríssimes desviacions que es poden apreciar en el sistema solar respecte a la conformitat amb un pla de moviment fonamental. A menys que hi actuïn influències difícils d'imaginar o explicar, tots els planetes haurien de recórrer òrbites al llarg de l'equador del sol i girar respecte a eixos perpendiculars a aquest. Només cal mirar al nostre voltant per percebre que la natura és molt lluny de complir això. Devem els canvis de les nostres estacions a la inclinació de l'eix de rotació de la Terra; tot i això, no és gens fàcil entendre com el pol del seu equador es troba orientat en la direcció de la cua de l'Óssa Menor, mentre que el pol de l'eclíptica està immers en els plecs del Dragó; si haguessin seguit les regles simples de la recepta nebular en la creació i el modelatge dels planetes, haurien d'haver coincidit. I el cert és que la disposició de la Terra no és que sigui excepcional. L'equador saturnià i els anells saturnians tenen una inclinació encara més alta, mentre que en els sistemes d'Urà i Neptú —si podem interpretar així les seves revolucions retrògrades— l'angle supera el límit d'un quadrant.

Aquestes i altres discrepàncies semblants demostren que el mecanisme solar s'ha d'haver originat per un mètode més complex que el que va imaginar Laplace, i una hipòtesi que hagi d'invocar l'ajuda d'una munió de mecanismes auxiliars per a sortir de les dificultats acumulades cau, en conseqüència, sota la sospita de no valer la pena de rescatar-la; en qualsevol cas, perd qualsevol mena de pretensió d'elogi per la seva franquesa i simplicitat.

La cosmogonia que es va elaborar a París ha demostrat, doncs, ser vulnerable en diversos punts; malgrat això, tots els cops que ha rebut no han tingut un efecte tan letal com els que acabem d'esmentar. Alguns han caigut sense provocar cap dany o bé s'han deixat de banda sense pensar-hi gaire. Un argument hostil, en particular, que durant un temps semblava insuperable, ha estat completament enderrocant per la lògica dels fets i mereix ser esmentat només com a curiositat històrica. Cap a mitjan segle XIX, el progrés de l'astronomia sideral semblava dur-nos a mostrar de manera ben clara que totes les nebuloses tenien composició estel·lar. Amb els grans reflectors de lord Rosse, molts d'aquests objectes es podien resoldre, alguns de manera genuïna i altres més enganyosament, en estrelles, mentre que els efectes il·lusoris quedaven confirmats amb les observacions de Bond mitjançant el merescudament cèlebre refractor de quinze polzades que Merz havia construït recentment per al Harvard College. D'aquí es va arribar a la precipitada conclusió que la resolució era només una qüestió de

potència òptica i que no hi havia cap distinció real entre els regnes estel·lar i nebular. El «fluid brillant» de Herschel va assumir un aire mític, els «universos-illa» es van posar de moda i gairebé tots els pensadors, excepte uns pocs, sostenien que les nebuloses i els cúmuls es diferenciaven simplement pel grau de llunyania. Però si l'espai només contenia estrelles completament desenvolupades i cap estrella en formació —ni bressols estel·lars ni protoplasma estel·lar—, aleshores la història evolutiva que se suposava del nostre sistema quedava en l'aire, desproveïda fins i tot dels suports més fràgils del fets observats.

D'aquesta posició precària va ser rescatada, en part pels raonaments convincents de Whewell i Herbert Spencer i, al final i triomfalment, pel descobriment espectroscòpic de sir William Huggins del gas còsmic anomenat «nebuli».⁴ Des de l'agost de 1864, no hi ha hagut cap possibilitat de negar que els cels contenen grans reserves del tipus de material que Laplace desitjava, tot i que si aquest gas tenia exactament el paper que li va assignar i actuava de la manera que ell suposava és una qüestió que s'ha de respondre amb reserves cada cop més profundes.

Una objecció presentada no fa gaire contra la hipòtesi nebular des del punt de vista de la teoria cinètica dels gasos té un gran interès especulatiu. Una nebulosa gasosa amb la mateixa massa que el sol i els planetes, i prou estesa per omplir l'espai fins a l'òrbita de Neptú, hauria estat, suposant que

l'opinió prevalent sigui correcta, sotmesa a una ràpida dispersió cap a l'espai dels seus ingredients més lleugers. La teoria ens diu que l'hidrogen i l'heli, haurien d'haver desaparegut, però el cert és que no hi ha manca de cap dels dos elements al Sol del segle xx. Cal admetre que la conservació d'aquests elements és, d'acord amb les condicions de la hipòtesi, difícil d'explicar. La «velocitat crítica» a la superfície límit de la suposada nebulosa hauria estat de 4,8 milles per segon. De fet, això és, a la distància de Neptú, una velocitat parabòlica;⁵ el planeta mateix, si pogués assolir-la, trencaria els lligams que el vinculen al sol i buscaria la seva fortuna sota una lleialtat diferent. De la mateixa manera, qualsevol partícula de la nebulosa primitiva així accelerada s'hauria convertit en un vagabund irrecuperable.

La velocitat mitjana de les molècules d'hidrogen a zero graus centígrads és d'unes 1,2 milles per segon, però arriba, en els casos extrems, a més de set milles. La nebulosa solar no podria haver retingut permanentment l'hidrogen, com tampoc l'heli, l'escapament del qual s'hauria produït un xic més lentament. Tanmateix, aquests resultats, tot i que semblen inevitables, no es van produir en la realitat, ja sigui perquè el cos generador estava constituït de manera diferent del que s'ha suposat, o perquè es van exercir influències contraposades. Per exemple, no és pas descabellat que la condició dinàmica dels gasos es pugui modificar a causa d'una rarefacció duta a un grau que supera de llarg el rang que

hem assolit amb les investigacions experimentals. El progrés de la ciència ofereix molts advertiments contra la confiança implícita en la regla de la continuïtat. Les corbes de canvi poques vegades conserven indefinidament un caràcter uniforme; les parts inexplorades poden incloure peculiaritats amb alteracions força inesperades. És una possibilitat que soscava seriosament la confiança en les inferències que depenen de l'«extrapolació». La presència d'hidrogen i heli en el nostre sistema no es pot incloure, doncs, entre els fets incontestablement contradictoris amb la hipòtesi nebular.

L'avenç concertat de l'astronomia matemàtica durant el segle XVIII es va dur a terme amb la serenitat confiada d'un poder irresistible. Un rere l'altre, els obstacles que en barraven el camí van caure davant d'atacs repetits i hàbils, la successió ininterrompuda dels quals confereix una certa monotonia exultant a la història de l'era heroica de l'anàlisi matemàtica. La *Mécanique Céleste* era testimoni d'una «victòria en tots els fronts». No hi havia més mons per conquerir dels quals en Laplace en tingués coneixement; el regnat de la llei gravitatòria estava fermament establert a tots els dominis solars; les possibles revoltes havien estat apaivagades i les anomalies, eliminades; cap observació existent ja no alterava la perfecta harmonia entre el que era i el que s'havia predit. La natura, per un moment, es va sotmetre amb facilitat a les restriccions que li imposava el pensament humà; aparentment, les seves complexitats ja no eren cap repte a l'hora de

desxifrar-les; els seus modes de procediment semblaven senzills i intel·ligibles. Tal com es jutjava que eren en el present, es podia suposar que ho havien estat en el passat; i la temptació d'aventurar-se a especular cap enrere era irresistible, inferint condicions inicials a partir del producte elaborat que quedava exposat a l'escrutini.

Fou una època de renovacions imperioses. La fórmula de la igualtat prometia regenerar la societat; s'havia trobat una panacea política amb la creació d'una república «una i indivisible»; i l'èxit de la guillotina per a garantir-ne la supremacia va ser gairebé superat pels triomfs de l'anàlisi matemàtica a l'hora de reivindicar el domini incontestable de la gravitació.

La humanitat havia endegat un nou començament; la ciència també ho havia de fer. L'esperit ardent d'un món rejuenit animava totes les formes de l'esforç humà. Però, ai las! fa temps que ha desaparegut. Les esperances confiades d'un segle enrere han estat esclafades, l'esdevenidor de la civilització es presenta ombrívol i la seva incertesa compromet el futur del coneixement. Però nosaltres, si més no, ja no ens enganyem amb la idea que aquell qui va més ràpid pugui llegir els secrets de l'univers. Hem après, per experiència convincent, fins a quin punt, i de quantes maneres, «la subtileza de la natura ultrapassa la subtileza dels sentits i de l'intel·lecte»;⁶ tenim ben viva la consciència que no hi ha cap recepta única ni senzilla per a la «cosmificació» del caos.

El sistema imaginat per Laplace ha deixat d'ésser satisfactori. La seva simplicitat, d'entrada tan seductora, el posa en desavantatge davant la complexitat dels efectes que pretenia fer palesos. Les relacions que exigeixen una explicació s'han multiplicat amb l'avenç de la recerca. Les d'ordre dinàmic foren les úniques ateses pels geòmetres del segle XVIII, i fins i tot aquestes s'han mostrat rebels, mentre que les de caire físic i químic han resultat del tot ingovernables. De fet, ha quedat prou clar que la sèrie d'operacions descrita per Laplace amb prou feines s'hauria pogut dur a terme, ni tan sols en les circumstàncies més favorables; es més, en un medi nebulós i tènue hauria estat del tot impossible. La cosmogonia nebular no ha resistit, doncs, «tots els vents que bufaren». ⁷

Les seves torres i baluards s'han ensorrat sota les tempestes de la crítica adversa. Sobrevisqué només com un derelict, amb els trets distintius esborrats, tot i que amb la vella bandera onejant al capdamunt de la torrassa. En el capítol següent ens proposem de fer un repàs de les obres que s'han encetat per a reconstruir-la.

4

Canvis i millores de la hipòtesi nebular

Les «restauracions» sovint arriben molt lluny; les coses es poden millorar fins a fer-se irreconeixibles o, més encara, fins a desaparèixer. Així ha succeït amb la hipòtesi nebular. *Stat nominis umbra*;¹ en resta el nom, però amb connotacions indefinidament diversificades. El tema original amb prou feines és recordat per la multitud de variacions que hom hi ha interpretat al damunt. Impera una llibertat de tractaments sense fre. Les línies estrictes i senzilles de l'evolució establertes per Laplace han estat esborrades o submergides. Alguns dels sistemes proposats pels cosmogonistes moderns són, en essència, retorns a la *Història natural dels cels* de Kant; en d'altres, hi reapareixen, amb l'esclat d'una falsa novetat, els vòrtexs cartesianes, llargament rebutjats i menyspreats; tampoc falten teories o especulacions que evocuen fins i tot els impactes cometaris de Buffon. A més, s'ha posat de moda la confusa pràctica

d'aparellar Kant amb Laplace com a coinventors del majestuós i ordenat pla d'evolució que hom anomena habitualment «hipòtesi nebular». Aquesta pràctica ha estat, i encara és, font de no poques confusions nocives. Car llevat de la idea fonamental — i que de cap manera era llur patrimoni exclusiu — d'atribuir una unitat d'origen al sistema planetari, els mètodes evolutius de Kant i de Laplace tenien ben poc en comú. Els seus postulats distaven molt d'ésser idèntics; empraven matèries còsmiques d'una espècie radicalment diferent, i aquestes matèries eren sotmeses, en cada cas, a processos del tot dissemblants.

Tanmateix, sovint s'assumeix tàcitament que defensar o renovar un sistema és tant com rehabilitar-ne l'altre. A cobert de la vaguetat intel·lectual així fomentada, hom pot, en veritat, discernir una reculada del pensament cap al punt de vista del filòsof de Königsberg. Se'n fa recomanació, no tant pel veredict favorable de la ciència com per l'àmplia llibertat de perspectiva que ofereix. La guia imperativa de Laplace, que d'antuvi confortava, menà a revoltes posteriors. Kant, en canvi, és d'allò més complaent; hom pot apartar-se'n llargament sense deixar, en darrer terme, de seguir la traça de les seves concepcions; aquestes són prou vastes i indefinides per avenir-se amb les novetats, tant d'imaginació com d'experiència, i així es presten amb facilitat als canvis que el progrés reclama.

El 1873, el difunt Édouard Roche de Montpeller, va fer un notable intent de reconstruir la hipòtesi

de Laplace sense subvertir-la. Aquest home extraordinari visqué i morí com a ciutadà de províncies; només uns pocs estudiosos dispersos han tingut un contacte directe amb la seva obra, mentre que la seva fama, sempre tènue, ja comença a semblar remota. Tanmateix, fa uns quants anys, encara feia de professor a l'institut de secundària de la seva ciutat nadiua. Les aigües de l'oblit s'han tornat, potser, més tèrboles que en altre temps. Segui com sigui, Roche de Montpeller és recordat, només vagament i per una part del públic especialment instruïda, com aquell qui fixà un límit dins del qual un satèl·lit no pot orbitar intacte.* Més a prop del planeta rector que 2,44 vegades el radi mitjà d'aquest, el satèl·lit no podria —si hom deixa de banda condicions improbables de densitat— mantenir una figura globular substantiva sota l'efecte disruptiu de les forces de marea. En efecte, totes les llunes fins ara descobertes en el sistema solar orbiten fora del «límit de Roche»; i és lícit afirmar que els anells de Saturn, que hi jeuen dintre, deuen a tal circumstància la seva condició pulverulenta. El professor Darwin, consegüentment, considera que el coneixement d'aquesta condició data de 1848, l'any en què Roche publicà la llei que la comporta com a control·lari.**

Roche fou el precursor de Poincaré i de Darwin en aquelles profundes investigacions sobre les figures d'equilibri dels cossos fluids en rotació que han

* *Mémoires de l'Académie de Montpellier*, vol. I.

** *The Tides*, pàg. 327.

obert camins nous i han revelat possibilitats encara no assajades dins l'astronomia evolutiva. A més a més, les seves recerques entorn de l'origen del sistema solar constituïren un reforç de primera importància per a la solidesa de la posició de Laplace.* De fet, potser en fou el defensor més eficaç i oportú; arribà al rescat just quan la seva solidesa es trobava greument compromesa, en reparà les bretxes i hi afegí bastides hàbilment construïdes. Adoptant les mateixes premisses, gairebé arribà a les mateixes conclusions que Laplace, tot modificant-les enginyosament per tal d'eludir certes objeccions i, durant un temps, fer callar els crítics menys obstinats. Els seus resultats eren, en veritat, gairebé tan difícils de refutar com ho havien estat d'obtenir. Hi arribà feixugament i legítima per mitjà de grans operacions analítiques; els seus raonaments sobreviuen amb tot el crèdit, tot i que les condicions inicials de les quals partien tinguin ara un cert aspecte d'irrealitat. Així, la creació de les *trainées elliptiques* no fou sols una resposta útil a una emergència argumentativa, sinó que encara resta com a complement accessori dels processos còsmics.² És indubtable que l'anellament polar pot haver tingut un paper en la formació planetària; en definitiva, no se'n pot negar la possibilitat.³

Els «ròssecs el·líptics» estudiats a Montpeller eren enormes estrats nebulosos, despresos de les regions polars de l'esferoide primitiu, els quals,

* *Mémoires de l'Académie de Montpellier*, vol. VIII.

enduent-se amb ells la baixa velocitat de rotació pròpia d'aquella posició, tendien, uns, a constituir anells equatorials interiors, i altres, a aglomerar-se amb la massa central.⁴ Ara bé, la seva incorporació hauria hagut de tenir per conseqüència —atès que la llei de les àrees és inviolable— una acceleració de la rotació angular en tota la nebulosa. La llei de les àrees, cal explicar-ho, no és sinó un nom abreujat de la llei de conservació del moment angular, la qual prescriu —tal com sabem— que la suma total de les àrees escombrades, en un temps donat i sobre un pla determinat, pels membres o partícules constituents d'un sistema en rotació, multiplicades per les seves masses respectives, roman constant sota qualssevol circumstàncies concebibles de rearranjament o de pertorbació mútua. Per consegüent, l'aproximació al centre, com que estreny el radi, ha de fer augmentar la velocitat de rotació. Una línia curta que ha d'escombrar el mateix espai que una de més llarga obliga al seu extrem en moviment a anar més ràpid en la proporció pertinent. Així doncs, si el Sol embrionari engolís una de les *traînées elliptiques* de Roche provocaria un escurçament immediat del període de revolució, tant del nucli com de l'atmosfera, un augment de força centrífuga que produiria una inestabilitat sobtada i, en conseqüència, la separació d'un anell equatorial.

Amb aquest recurs subtilment concebut, Roche pretenia explicar la dificultat relativa als amplis intervals entre els planetes. Car, segons ell imaginava, aquests no havien sorgit en el curs regular de la

condensació, sinó mitjançant pertorbacions sorgides de sobte i de manera excepcional. Allò que ell anomenava la «superfície límit» de la nebulosa podia ésser descrit també com a límit atmosfèric. Corresponia a l'extensió més ampla possible d'una veritable atmosfera; els seus confins eren fixats a la distància lleugerament més enllà de la qual un satèl·lit pot circular lliurement amb el període axial del seu cos primari. Ara bé, la superfície límit, si la contracció hagués prosseguit d'una manera uniforme, hauria de recular contínuament a mesura que el moviment axial s'accelerava, amb un retrocés acompanyat pel despreniment de prims rierols de matèria supèrflua. Ara, amb la introducció de les *trainées elliptiques*, l'estabilitat —mantinguda artificialment, per dir-ho així, al llarg de molt de temps— quedava ensorrada només per enfonsaments catastròfics des de les «espatlles» de l'esferoide nebulós, quan, amb l'abreujament sobtat del període axial, la superfície límit es replegava amb igual promptitud, i restava, com a residu independent, l'anell tènue destinat a coagular-se en un planeta. Un singular i inexplicat encert de l'anàlisi de Roche consistia en la simetria de les relacions temporals que establia. Els successius naixements dels planetes es seguien els uns als altres a intervals iguals i d'aquesta manera semblava viable una mena de traducció de la llei de Bode de les

distàncies (estesa per ell als sistemes de satèl·lits) en termes de la hipòtesi nebular.*

Aquesta hipòtesi, en la seva forma original, tal com s'ha explicat en el capítol precedent, produïa planetes amb rotació retrògrada —és a dir, que giraven en sentit oposat al de llur moviment—. Per tal d'abolir l'anomalia, Kirkwood, l'any 1864, acudí al recurs de la fricció mareal solar; i fou seguit, sens dubte de manera independent, per Roche, i pel seu intèrpret, C. Wolf de París.** Les objeccions contra qualsevol mode particular de formació planetària, basades en el fet que el resultat havia d'ésser un moviment axial invertit, perdien la seva validesa —remarcaven— quan hom considerava que la fricció mareal solar hauria estat capaç de redreçar la incongruència. Car la seva acció alentidora només hauria cessat en el moment que s'assolís el sincronisme amb el període de revolució —és a dir, quan el planeta, com sembla fer Mercuri, avancés en la seva òrbita mostrant sempre la mateixa cara vers el centre de revolució—;⁵ aleshores ja hauria quedat establerta la rotació directa, que, essent accelerada per la contracció, hauria de conservar perennement la direcció impresa per la fricció de les mareas provocades pel Sol. Aquesta opinió assolí un cert aire de versemblança pel fet que els dos únics sistemes planetaris retrògrads es troben situats molt més enllà del possible abast de cap mena d'influència

* C. Wolf, *Bulletin Astronomique*, vol. I, pàg. 596.

** *American Journal of Science*, vol. XXXVIII, pàg. 3.

semblant, de manera que es pot suposar que han conservat inalterat llur primitiu sentit de gir.⁶

El difunt senyor Faye fou menys fidel a la tradició que no pas el savi de Montpeller. La publicació, l'any 1884, de la seva obra *Sur l'Origine du Monde* donà el senyal d'inici a una renovada activitat i a una major llicència en l'especulació cosmològica. Ara ben poques vegades se sostenen les opinions conservadores sobre l'afer; la majoria ha abandonat definitivament el vell solc i la recerca esdevé cada cop més individual i menys constreta per la tradició. La reforma de Faye, tanmateix, no fou, en declaració expressa, de caràcter revolucionari. Ell no va fer cap taula rasa de l'obra del seu gran predecessor com a pas previ per a desplegar el seu propi pla més perfecte; tanmateix, les seves esmenes foren profundes.

La nebulosa de Laplace era d'una consistència gasosa i mantenia una veritable relació atmosfèrica amb la condensació central, és a dir, les seves capes gravitaven les unes damunt les altres i eren sotmeses a pressió hidrostàtica. Faye, però, establí les coses d'una altra manera. La matriu nebulosa que ell postulava era una vasta conjunció de partícules en moviment independent que formaven un sistema regit per un únic període, en el qual tant la gravetat com la velocitat creixien en proporció directa a la distància al centre. Doncs bé, els globus formats pel mètode de l'anellament (admetent que fos factible) a partir de materials així disposats, haurien hagut de posseir, *ab initio*, una rotació directa; llur gir

axial hauria estat en el mateix sentit que el seu desplaçament orbital. I fou això el que suggerí a Faye l'adopció d'una estructura meteòrica per al sistema solar naixent. Ara bé, la llei de força senzilla que el regia a l'inici hauria sofert, a poc a poc, una alteració essencial; la llei de l'invers del quadrat, que tan familiar ens és per llarga consuetud de pensament, hauria començat a substituir-la tan aviat com s'hagués afermat l'existència d'un Sol pròpiament dit. Els planetes retrògrads, Urà i Neptú, segons la suposició de Faye, haurien, tanmateix, pres forma sota aquest règim més modern; foren creats, doncs, amb posterioritat a la Terra i a la resta dels seus orbes germans. Aquesta inesperada inversió de l'ordre reconegut de les edats planetàries comportava la conseqüència ulterior que la prole prenatal del Sol —si és que podem designar-la així, no sense un cert aire paradoxal— hauria d'haver-se acostat a ell a mesura que el seu poder d'atracció augmentava, mentre que només Urà i Neptú, entre tot el seguici, conservarien l'abast original de llurs òrbites.

El sistema de Faye, si bé no complia tots els difícils requisits del problema que afrontava, serví, en tot cas, per il·lustrar ben vigorosament la diversa varietat de camins pels quals l'evolució nebular podia avançar cap al seu terme. El que ell escollí, certament, no era exempt d'entrebancs. En la seva preocupació per suprimir, de la hipòtesi de Laplace, el defecte relatiu a la rotació planetària, el senyor Faye en descartà el mèrit cardinal d'explicar les secessions de material per mitjà de l'augment de la

força centrífuga. No al·legà cap raó suficient, ni cap podia ésser-ne al·legada, perquè la nebulosa remodelada s'hagués de separar en anells.* El procés implica condicions precises i singulars i testimonia una causa d'acció rítmica. Laplace posà en joc una causa d'aquesta mena; Faye l'abolí, i els seus anells, en conseqüència, assumeixen un aspecte fictici. És cert, sens dubte, que en les nebuloses s'aprecia comunament una estructura anul·lar, però suposar que les espirals nebulars tenen res en comú amb els anells a partir dels quals es formen els planetes és, de fet, eludir una qüestió de les més àrdues.

Aquestes formacions, probablement, mai no haurien estat esmentades si no fos per l'exemple saturnià. És fàcil copiar un patró, és temptador adoptar una idea clarament factible, i una demostració pel principi de *solvitur ambulando* no pot sinó resultar convincent. Però, i si no es pot fer que els anells s'uneixin en glòbuls? La dificultat d'aquesta transformació es fa més palesa com més se'n cerquen els detalls. Invertida en la seva direcció, potser trobaria un millor lloc dins l'ordre de la Natura. «L'anàlisi sembla indicar», escrivia Kirkwood l'any 1884, «que els planetes i els cometes no han estat formats a partir d'anells, sinó els anells a partir dels planetes i els cometes».** Aquest procés no és només possible segons la teoria, també queda ben il·lustrat pels fets. Dècada rere década es pot veure

* G. H. Darwin, *Nature*, vol. XXXI, pàg. 506.

** Proceedings of the American Philosophical Society, vol. XXII, pàg. 109.

que els eixams meteòrics es dispersen sota la influència dispersiva del Sol i dels planetes, i tendeixen, de manera inconfusible, a quedar més o menys uniformement distribuïts al llarg de tota la volta de llurs òrbites. La seva evolució es dirigeix, no pas vers la condensació, sinó cap a la desagregació; i amb sorprenent rapidesa.

La teoria de Faye fou desfaiçonada per una incongruència encara més palesa. Res, en l'estructura planetària, no sembla més evident que la zona dels asteroides marca una divisió entre dos estats fortament dissemblants de la nebulosa solar. És un indret de repòs visible. Sembla clar que una sèrie d'esdeveniments arribà a la seva fi, i hi hagué un interval abans que comencés la següent. Durant aquell interval, durant la suspensió parcial d'activitat que seguí a la producció de l'Àjax dels planetes,⁷ s'abocà una multitud de planetoides per omplir l'espai buit. Aquí, més que en cap altre lloc, la Natura canvià de mà i assajà un mètode nou. El desplaçament per part de Faye de l'escena del canvi cap a les regions transsaturnianes és, doncs —com molt encertadament percebé el senyor Wolf—, antinatural, i soscava el crèdit de tota la hipòtesi.

D'altra banda, tenia el mèrit d'ésser prou elàstica per incloure-hi la gran família cometària. Kant també, si bé d'una manera insatisfactòria, els havia fet lloc, però Laplace no tingué altra opció sinó considerar-los com a intrusos ocasionals vinguts de l'espai, l'admissió dels quals com a nadius del seu domini ben ordenat hauria menat a la subversió de

tota la seva harmònica reglamentació. Les recerques modernes, tanmateix, proven de manera decisiva que els cometes no són pas aquells hostes vagabunds que Laplace suposava, sinó que són de la mateixa estirp —per més remotament rastrejable que sigui— que els planetes, i que reconeixen la mateixa obediència. Errant amb el Sol, formen part del seu seguici en el llarg i irrevocable viatge en què es troba embarcat, i no poden, si no és per accidents pertorbadors, separar-se definitivament de la seva companyia. Els problemes de l'origen planetari i cometari són, doncs, inseparables; les dues classes de cossos són conciutadans d'un mateix reialme. Els cometes només esdevenen cosmopolites errabunds d'estrella en estrella si hi són obligats.

Hi hagué encara un altre motiu i una aparença de justificació per a la reforma de Faye de la hipòtesi nebular. El descobriment de la conservació de l'energia completà molt encertadament, com ja hem vist, la mecànica d'una nebulosa en condensació, en resoldre satisfactòriament l'enigma de la radiació solar. Helmholtz pogué així, l'any 1871, esbossar l'evolució còsmica com, en essència, un procés termodinàmic a l'escala més grandiosa. Tanmateix, l'aliança concertada, per més fecunda i fortificant que fos, duia aparellada una dificultat accessible. Calia ara tenir en compte el temps. En les cosmogonies de Kant, Herschel i Laplace, els eons passaven sense mesura; com que el ritme del canvi restava indeterminat, hom podia permetre que transcorreguessin *ad libitum*. Però el cas era diferent

quan es definí una força motriu. La «conservació de la força» implica la mesurabilitat de la força; no es pot establir cap equivalència si no hi ha límits determinables. El coneixement, doncs, de la font de la calor solar portà amb ell la certesa que aquesta font no era pas inesgotable. La reserva d'energia disponible gràcies a la contracció d'un estat primitivament difús fins al seu estat compacte actual era enorme, però no il·limitada. La tasca esdevingué, doncs, imperiosa per als cosmogonistes: provar-ne la suficiència o bé suplir-ne les mancances.⁸

El problema és alhora retrospectiu i prospectiu. Mirem enrere cap al naixement del Sol, i endavant cap a la seva fi; i cadascun d'aquests fets s'ha de situar, si és possible, dins la nostra escala temporal. Helmholtz assignà terminis de vint-i-dos milions d'anys cap al passat i disset milions cap al futur per a l'esplendor del nostre astre amb la seva intensitat actual. Els geòlegs i biòlegs, tanmateix, reclamaven un període molt més extens per a la successió de fenòmens que s'han produït en el nostre planeta, i els esforços dels físics per satisfer llurs exigències amb prou feines aconseguiren apaivagar, sense eliminar-la, la discrepància. Aleshores arribà l'ajuda del senyor Faye. La seva proposta, que la Terra s'hagués format quan el Sol era encara nebulós, fou concebuda per conciliar les demandes d'aquells que requerien gairebé l'eternitat per a l'acumulació lenta, a través de variacions infinitesimals, de diferències específiques. D'aquesta manera, la Terra obtingué un avantatge inicial respecte del Sol; els

preparatius per al sorgiment de la vida en el nostre planeta començaven molt abans que s'iniciés la gran emissió de radiació destinada a nodrir-ne el desenvolupament. La Terra, de fet, es configurava per al seu destí abans de l'època en què el temps començava a comptar per al Sol.

Aquesta suposada relació de precedència no es pot, en realitat, sostenir amb fermesa; fou concebuda per salvar una situació difícil i denota un disseny més aviat acadèmic. Tanmateix, la solució fou significativa pel que fa a l'efecte de la introducció, en el pensament modern, del principi de la conservació de l'energia. Donà precisió i una mena de solidesa a l'especulació, en eixamplar la base sobre la qual descansava. Alhora, obligà a ajustaments entre les exigències de les diverses ciències i posà en relleu incompatibilitats aparents, que només es podien eliminar mitjançant investigacions prolongades, d'abast ampli i connexions intrincades. En poques paraules, la cosmogonia moderna, tot i haver ampliat els mitjans de què disposava, havia de fer front a unes exigències que s'havien multiplicat. Tanmateix, no fa gaire, alguns exponents autoritzats de la ciència geològica i biològica han manifestat una disposició satisfactòria a «accelerar els seus fenòmens», de manera del tot independent de la insuficient edat del Sol.* En conseqüència, d'una banda i de l'altra ja no s'insisteix en les pretensions

* De Vries, *Die Mutationstheorie*, Bd. II., pàg. 714.

irreconciliables del passat, i sembla que es podria assolir un compromís amb facilitat.

Una teoria de l'evolució planetària amb alguns trets nous fou exposada amb gran competència pel senyor Du Ligondès l'any 1897.* Dissenyada per millorar, tot simplificant-lo, el pla de Faye, reduïa els postulats al mínim i deixava el marge més ampli possible a la «indeterminació original».** El món embrionari de Du Ligondès era un tumultuós embull de partícules que es movien a l'atzar, sense ordre determinat. Les seves topades, tanmateix, no eren ni podien ser exactament equilibrades, i la petita desigualtat que en resultava bastava per oferir una base per a l'evolució harmoniosa. El moviment es regularitzava mitjançant les col·lisions, els contracorrents de velocitat quedaven eliminats poc a poc i les partícules que seguien cursos excèntrics o retrògrads, aturades tard o d'hora, queien cap al centre i s'acumulaven en el Sol, mentre que la resta, que viatjava en la direcció prevalent al llarg de trajectòries circulars, acabava constituint els planetes. Aquests no es formaven a l'atzar, sinó gràcies a zones de densitat màxima, causades per les variacions de la gravetat dins el disc cap al qual havia col·lapsat l'esferoide primitiu; i cadascun, en prendre forma, es convertia en una font d'influència pertorbadora sobre els seus veïns desenvolupats posteriorment, mitjançant la qual les inclinacions dels

* *Formation Mécanique du Système du Monde*. Vegeu també *Le Problème Solaire*, de Th. Moreux, pàg. 63 ss.

** *Revue des Questions Scientifiques*, gener de 1904.

seus plans orbitals i les de llurs eixos de rotació quedaven alterades de diverses maneres. Les zones planetàries, a més, es contreïen amb l'avenç de la condensació, de manera que els planetes ja madurs ocupaven posicions molt més pròximes al Sol que no pas les corresponents al material en estat incipient. El *modus operandi* emprat, en resum, s'adaptava amb lloable facilitat a les diversitats de la Naturalesa.

Sir Robert Ball coincideix amb Du Ligondès en considerar l'origen del sistema solar sobretot des del seu aspecte mecànic. Com Helmholtz i Faye, tria treballar amb materials pulverulents; la seva nebulosa és una «nebulosa blanca». Ara bé, retrocedint encara més en el temps, hi discerneix com a mare una «nebulosa verda» irregular, els moviments confusos de la qual, en caure a poc a poc dins d'un ordre establert arran de les topades, s'anava aplanant fins al «pla de les àrees màximes», el pla fonamental al qual s'ajusta cada cop més un sistema a mesura que es gasta la seva energia. Ball prescindeix del procés feixuc de l'anellament i fa néixer els seus planetes virtualment pel mètode de Kant de la condensació nuclear accidental.* A més, tota la nebulosa adoptaria una estructura espiral a causa de la propagació gradual cap enfora de l'acceleració central deguda a la contracció.

Ara bé, realment s'hauria contret? Havia arribat, segons la suposició, a l'estadi d'una aproximada

* *The Earth's Beginnings*, pàg. 247.

uniformitat en el moviment. La gran majoria dels seus cossos constituents circulaven en la mateixa direcció, gairebé en el mateix pla i, presumiblement, en òrbites que no devien apartar-se gaire de la circularitat. El seu estat conjunt es podia considerar, doncs, com a permanent i estable. La massa central, en conseqüència, ja no seria alimentada per l'engoliment de partícules dutes al repòs a causa de llurs impactes mutus; i, en tal situació, no es podria generar calor. D'aquesta manera, la transformació imaginada d'una formació meteòrica en forma de disc en un Sol i planetes ja no seria possible.

Podem preguntar-nos quin és, doncs, el resultat d'aquests diversos esforços de reconstrucció. Estableixen, certament, la unitat irrefutable del món solar; i per *món solar* cal entendre no només el Sol i els planetes, sinó també els cometes i els meteors cometaris. Els arguments que afavoreixen aquesta unitat han guanyat molta força gràcies als descobriments moderns. Car els que depenien de coincidències estructurals i d'harmonies de moviment han estat reforçats per altres d'una naturalesa del tot diferent, proporcionats per la doctrina de la conservació de l'energia i pels ensenyaments de l'anàlisi espectral. El Sol és calent perquè antigament estava expandit; l'energia potencial que en altre temps pertanyia a les seves partícules ha proveït, de manera incontestable, una gran part, si no el total, de la seva energia tèrmica actual; i això equival a dir que, en temps reculats, el nostre sistema encara incipient omplia una esfera d'extensió indefinida. La

conclusió que aquest sistema sorgí d'un tot indivís mitjançant la diferenciació gradual de les seves parts queda ratificada, a més, per la identitat de la química solar i la terrestre. D'aquesta manera, guanya força l'afirmació que la Terra fou part integrant, en altre temps, de la substància que forma el Sol; i el que és cert de la Terra no és menys cert dels seus planetes germans.

Tanmateix, quant a la manera i la forma del canvi còsmic, no hi ha consens d'opinió. Faye feu un esforç digne de menció per concebre un procés que pogués resistir les proves modernes de versemblança, però la seva teoria ha estat gairebé feta miques per la crítica adversa. Du Ligondès, per la seva part, aconsegueix escapar d'algunes de les objeccions, però no de totes, que resultaren fatals al seu predecessor. Tothom està d'acord que al començament hi hagué una nebulosa solar; però si era gasosa o pulverulenta, si brillava amb llum interrompuda o contínua, com esdevingué ordenada i organitzada, com s'endreçà en esferes deixant extensos espais buits, sobre tot això els més savis es troben perplexos per arribar a una decisió.

El senyor Moulton conclou, a partir del seu acurat examen del tema, que «la nebulosa solar fou heterogènia en un grau mai abans considerat com a probable, i que pot haver estat en una condició» que s'assemblava al que mostren les fotografies recents de nebuloses espirals.* Però, fins i tot si no

* *Astrophysical Journal*, vol. XI, pàg. 130.

tots els fets concorden amb aquesta temptadora analogia, hi ha pocs motius per dissentir de la seva opinió implícita que «la hipòtesi laplaciana és no-més parcialment certa, i encara no coneixem el mode precís d'evolució del sistema solar».

5

La fricció mareal com a agent cosmogònic

Els efectes de la fricció mareal són d'una complexitat gairebé infinita. La manera com actua en cada cas particular no es pot predir amb lleugeresa; és un afer que exigeix una indagació detallada. Cal tenir en compte influències mútuament contràries, i no és fàcil assolir un equilibri. La direcció de la seva inclinació pot, en efecte, dependre sovint de qualitats i relacions dels cossos implicats que romanen fora de l'àmbit d'allò que es pot determinar amb claredat. Tot el que hom pot esperar, doncs, és arribar a estimacions del paper representat per les forces de marea en la formació dels astres, unes estimacions que no siguin enganyoses per una exactitud exagerada ni tampoc tan vagues que resultin completament inútils.

La suposició que els astres s'atreuen mútuament com si la massa de cadascun estigués concentrada en el seu centre és una d'aquelles ficcions convenients sense les quals els passos sempre en progrés de

la ciència quedarien entrebancats per bardisses de refinaments il·lusoris i elaboracions supèrflues. Aquesta ficció correspondria als fets només si els globus fossin veritablement esfèrics, i només podrien ser-ho si fossin idealment rígids. Ara bé, els cossos còsmics —sols i planetes— són en realitat esferoides plàstics; sens dubte, es poden tractar sense error sensible com a punts d'atracció quan llurs distàncies són molt grans en relació amb els seus diàmetres, però en un acostament més estret apareixen desigualtats en les accions. Les parts components de les masses gravitatòries responen, cadascuna de manera individual i en certa mesura independent, a les atraccions que s'exerceixen sobre elles. És en aquesta situació que les forces de marea comencen a produir efectes diversos.

La seva importància històrica fou en part conjecturada per Kant; la intuïció d'un secret tan recòndit és veritablement sorprenent. Un jove i esforçat pedagog en una província prussiana remota, profundament instruït tot i que només hàbil a mitges en coneixements tècnics, veié per intuïció allò que escapà a l'agudesia de tots els grans geòmetres del segle XVIII; és a dir, que la Lluna mostra sempre la mateixa cara vers la Terra perquè la seva rotació primitiva fou aturada per la fricció de les marees provocades per la Terra. A més, percebé que una acció recíproca del mateix tipus havia d'afectar la Terra, i que continuarà afectant-la fins que el dia coincideixi en durada amb el mes. Tampoc no deixà d'assenyalar que, en un estat líquid dels globus, el

procés avançaria amb una rapidesa comparativa-ment més gran. Per tant, a un sol pensador li fou ja evident el 1754 que les marees oceàniques, en cosmogonia, són d'importància negligible en comparació amb les marees dels cossos.*

No hi ha cap substància a la natura que no canviï de forma sota un esforç prolongat, i ho fa amb més facilitat com més s'acosta a l'estat fluid. L'amuntegament de les aigües a la superfície de la Terra en funció de la posició de la Lluna és, doncs, un efecte diferencial. Els continents s'elevan i s'enfonsen igual que els oceans, encara que no pas amb la mateixa magnitud. L'augment mesurable de l'altura de l'aigua serveix per avaluar les mobilitats relatives del globus sòlid i del seu embolcall líquid. Si el primer no cedís gens a l'atracció que tan fàcilment obeeix el segon, les marees serien més grans del que realment són, en la proporció aproximada de tres a dos, proporció que indica per a la Terra una rigidesa efectiva almenys igual a la de l'acer.** Si no hi hagués cap discrepància de rigidesa entre les diverses parts del nostre món terraquí, les marees no serien perceptibles. L'oceà i el llit oceànic s'elevarien i baixarien plegats i amb la mateixa magnitud. En un passat remot no hi havia tal discrepància; la Terra viscosa prenia, en el seu conjunt, la forma momentàniament impresa per les atraccions desiguals del Sol i de la Lluna sobre les seves seccions a diferents distàncies, amb el resultat de portar l'any,

* *Sämmtliche Werke*, Bd. VI., pàg. 5-12, 1839.

** G. H. Darwin, *Encyclopædia Britannica*, article «Tides».

el mes i el dia a relacions tan familiars que ara semblen inevitables.

La fricció mareal no actua únicament com a fre de la velocitat de rotació. Un element de moviment dins d'un sistema no es pot alterar sense que s'hi produeixi algun canvi compensatori en els altres; estan connectats entre si com un conjunt d'engrenatges. Segons el principi de conservació del moment angular, sabem amb certesa que una pèrdua en una direcció ha de quedar compensada per un guany en una altra. La fricció mareal tingué, doncs, conseqüències reactives, assenyalades per primer cop per Julius Robert Mayer l'any 1848 i destacades en la sèrie d'investigacions iniciades pel professor Darwin el 1879.* El moment angular que s'eliminava de la Terra a causa del fre provocat per una ona de deformació circulant havia de reaparèixer, sense cap mena de dubte, en alguna altra part del sistema. I així és: fou restituit —excepte el percentatge dissipat en forma de calor— mitjançant l'eixamplament de l'òrbita lunar.** Alhora que la rotació axial de la Terra s'alentia, la Lluna s'allunyava de la seva superfície, empesa per l'ona mareal que sempre es trobava una mica avançada respecte a la seva posició. Això restablia l'equilibri mitjançant l'augment del moment angular orbital, mentre que, alhora, disminuïa la velocitat lineal de la Lluna. La importància d'aquest efecte friccional secundari en

* *Dynamik des Himmels*, pàg. 49.

** Darwin, *Philosophical Transactions*, vol. CLXXII, pàg. 528.

la història del sistema Terra-Lluna fou, en essència, el descobriment del professor Darwin.

Aquest sistema ocupa una situació crítica dins del seguici solar. Els planetes més interiors no tenen satèl·lits; els planetes més exteriors (Neptú probablement només és una excepció aparent a la regla) en tenen dos o més.¹ La Terra, en canvi, és realment binària; i la Lluna no només n'és l'única companya, sinó que és, amb diferència, el cos acompanyant més gran en relació amb la massa del seu primari que podem trobar dins els límits del domini solar. Aquestes circumstàncies no són, certament, independents les unes de les altres, i és evident que depenen d'una causa comuna. La fricció mareal solar n'ha estat el factor determinant. Sens dubte, el repartiment de satèl·lits entre els diversos planetes quedà prescrit en gran mesura per la magnitud del poder retardador que les marees solars exercien sobre el moviment axial en els seus cossos encara plàstics. Per això, la velocitat de rotació disruptiva necessària per a la separació de satèl·lits no fou mai assolida ni per Mercuri ni per Venus; quedaren sense llunes per sempre, i exposats, a causa de la reducció de la seva velocitat rotacional, a extrems de temperatura sense cap mena de compensació. El destí de la Terra, en tots dos aspectes, restà durant molt de temps en un equilibri incert; predir-lo amb encert hauria exigut, en efecte, una perspicàcia poc comuna en un hipotètic observador intel·ligent d'algun altre món. Encara que el fre solar actuava sobre la rotació terrestre amb només una

onzena part de la força que exercia sobre la de Venus, bastà, tanmateix, per impedir, al llarg d'innombrables eons, que l'acceleració arribés al punt que hauria comportat la inestabilitat.

El nostre planeta embrionari feia ja molt de temps que havia deixat de ser nebulós, i, de fet, s'havia encongit per refredament gairebé fins a les seves dimensions actuals abans no es va llençar el dau decisiu. Finalment, els efectes acceleradors de la contracció prevalgueren sobre l'alentiment degut a la resistència mareal, la velocitat axial superà l'equilibri i l'esferoide es dividí. Ara bé, els globus que ja han assolit aquest grau de condensació solen dividir-se d'una manera menys desigual que els globus en una fase més primitiva; i per això la Lluna, en néixer tardanament, fou de gran mida. La seva massa és $1/81$ de la de la Terra; les masses de Tità i Saturn, en canvi, mostren una proporció d'1 a 4.600, mentre que el tercer i més gran satèl·lit de Júpiter conté només $1/11.300$ part de la matèria englobada en el cos progenitor. A més a més, el professor Darwin ha deixat ben clar que els satèl·lits de Júpiter i Saturn giren avui en òrbites no gaire allunyades de les que recorrien de bon començament, mentre que, per contra, la Lluna començà la seva trajectòria gairebé, si no del tot, en contacte rasant amb el seu cos primari. A causa d'aquestes dues circumstàncies excepcionals —la seva massa comparativament alta i la seva gran proximitat inicial— la Lluna exercí sobre la Terra una influència mareal incomparablement més poderosa que la que

pogués exercir cap dels seus homòlegs dins del regne solar.

El sistema Terra-Lluna ofereix, per tant, un exemple únic, entre els que viuen sota l'imperi del Sol, d'una parella de globus les relacions mecàniques dels quals han quedat establertes en la seva forma actual per l'acció predominant de les mareas internes. Constitueix també l'únic cas en què fou possible l'origen per fissió. La comunicació del professor Darwin a la Royal Society l'any 1879 provocà, en aquest punt, una remarcable desviació de les idees. Els anells de Saturn foren reconeguts per fi, gràcies als seus raonaments, com a il·lustratius només d'un entre molts modes possibles d'evolució còsmica i quedà clar que un mètode únic i rígid no podia donar resposta a la varietat infinita de finalitats del disseny creatiu. L'anellament podia haver servit en el seu moment, però hi havia alternatives. S'assolí, gairebé, un nou punt de vista, i l'extens horitzó que obrí ja comença a estendre's de manera temptadora davant la mirada dels investigadors.

Però, tant si la Lluna va emergir de la Terra com una protuberància com si en fou expulsada en forma d'un anell equatorial irregular, el cert és que, quan comença el nostre coneixement teòric d'ella, ja girava en un període no inferior a dues hores ni superior a quatre, ben a prop de la superfície terrestre, mentre que la rotació gairebé isòcrons de la Terra es produïa amb una velocitat quasi disruptiva. La situació és tan suggeridora que només cal fer un salt a les palpentes, curt i més o menys segur,

per arribar a la conclusió que les dues masses havien estat una de sola fins feia ben poc. Amb la seva separació, en una època estimada en uns seixanta milions d'anys enrere, començà el procés pel qual la Lluna fou empesa al llarg d'un recorregut espiral creixent fins a la seva posició actual, mentre que el moment angular de rotació de la Terra que havia desaparegut reapareixia en el moment angular orbital de la Lluna. La transformació, almenys en teoria, encara continua.²

La fricció mareal ofereix encara més possibilitats; la transferència de moment angular d'una part d'un sistema a una altra és només el més obvi entre la munió dels seus resultats, i amb prou feines hi ha cap element de moviment que escapi a la seva influència. Com a regla general, l'excentricitat orbital augmenta; la més petita desviació inicial respecte a la circularitat creix, a causa de la desigualtat de l'acció acceleradora que se'n deriva, fins a una ovalitat ben marcada. D'aquesta manera es pot explicar la de l'òrbita lunar. A més, és molt probable que al mateix temps es desplaçés el pla orbital de la Lluna, sota l'acció de la mateixa influència, des de la seva coincidència original amb el pla equatorial de la Terra fins al que ocupa avui. L'obliqüitat de l'eclíptica és, en part, explicable pel mateix principi. «El moviment actual dels dos cossos», per citar les paraules del professor Darwin, «queda completament coordinat per la teoria que la fricció mareal fou el poder rector en la seva evolució». Amb aquest fil conductor, podem remuntar-nos als inicis de la

seva existència dual i seguir les modificacions poc apreciables mitjançant les quals el seu estat fou modelat fins a la seva forma actual.

Això no és possible en cap altre sistema satel·lital. Cap lluna, llevat de la nostra, posseeix una reserva de moment angular orbital prou gran per permetre-li suggerir una història anàloga. Els acompanyants planetaris en altres indrets viatgen gairebé seguint llurs camins originals; les ondulacions fluïdes que aixecaven a les superfícies dels seus primaris no tenien prou força per desplaçar-los de manera sensible. La seva pròpia rotació, de fet, sembla haver estat completament destruïda, en relació amb el cos destructor, és clar. Hi ha la certesa que alguns —i la probabilitat molt forta que tots— els satèl·lits jovians i saturnians giren mostrant sempre la mateixa cara envers llurs primaris. Giren amb el mateix període de llur revolució, exactament com fa la nostra Lluna, i com a conseqüència de la mateixa causa. En qualsevol cas, la fricció mareal sembla haver estat en la resta un factor secundari en el modelatge de les relacions dinàmiques d'aquests sistemes.

Aquesta acció no pot, doncs, servir en tots els casos com un *deus ex machina*, atès que no és indiscriminadament eficaç. Cal distingir delicadament els modes en què actua en cadascun dels sistemes considerats. L'etapa de desenvolupament assolida pels cossos afectats, el seu grau de viscositat, la seva massa i volum, les seves formes de moviment... tot això influeix profundament, i potser de manera

incalculable, en la modificació del resultat. La facilitat de caure en l'error en aquest tipus d'estimacions queda il·lustrada per l'observació del professor Darwin, segons la qual la magnitud de la força generadora mareal és només un dels factors del producte; l'altre és el moviment relatiu.* Ara bé, en el cas de la Lluna, el primer (la força generadora) augmentava, retrospectivament, de manera contínua, mentre que el segon (el moviment relatiu) minvava. El poder generador mareal varia en proporció inversa al cub de la distància; en temps antics, doncs, quan la Terra i la Lluna giraven molt properes, les distorsions que es produïen mútuament eren, sense cap mena de dubte, d'una magnitud extremadament gran. Tanmateix, a causa de la quasi coincidència dels períodes dels dos globus, devien haver estat gairebé inoperants pel que fa als efectes de la fricció; el desplaçament de la matèria acumulada sobre les superfícies era massa lent per conferir-li gaire eficàcia com a fre per fricció. Això ens duu a creure que les ones insignificants generades pel Sol eren, a causa del seu ràpid moviment relatiu, més influents en aquell primer període per frenar la rotació terrestre que no pas les colossals, però gairebé estacionàries, ones produïdes per la Lluna.

Els càlculs numèrics, quan són factibles, ofereixen l'única guia segura en aquest camp de recerca tan intricat. No n'hi ha prou a mostrar que l'acció mareal hauria estat del tipus requerit —és a dir, que

* *Philosophical Transactions*, vol. CLXXI, pàg. 876.

s'hauria exercit en la direcció correcta— per tal de produir algun resultat aparentment anòmal; cal aportar, a més, la demostració que hauria estat d'una potència suficient. Les suposicions plausibles en aquest àmbit poden resultar del tot fal·laces; la maquinària, fins i tot si ha estat correctament construïda per assolir la finalitat proposada, pot resultar massa feble en el seu funcionament per arribar-hi. Se'ns assegura, per exemple, que cap dificultat relacionada amb el sentit de la rotació planetària no hauria d'impedir l'acceptació de la teoria de l'origen planetari a partir d'anells independents, ja que, fins i tot si els globus embrionaris haguessin girat en la direcció equivocada en un principi, la fricció mareal solar els hauria dut ben aviat a la conformitat amb el sentit general del moviment. Això és cert en principi, però pot resistir una investigació quantitativa? Moltes hipòtesis prometedores han fracassat sota el pes de les xifres; resta encara per veure si aquesta en concret és prou sòlida per sobreviure'n l'aplicació. De fet, n'estem segurs de la validesa quant a Mercuri, però l'eficàcia de la fricció mareal disminueix amb la sisena potència de la distància, i la rotació de Venus planteja un enigma prou pertorbador com per desanimar l'examen de les seves condicions anteriors, que percebem només entre penombres. Pel que fa a la Terra i als planetes exteriors, la qüestió només podria ser resolta amb l'ajut d'una informació que, de moment, no tenim.

La circumstància inesperada que la novena lluna de Saturn, tot just descoberta, circuli d'est a oest

només pot ser provisionalment explicada invocant aquest mecanisme de canvi. Si admetem (com sembla que estem obligats a fer) que els satèl·lits són la descendència dels planetes que acompanyen, no hi ha manera d'evadir la conclusió que el petit cos en qüestió fou expulsat d'un primari dotat d'una rotació oposada a la que ara posseeix. I la inversió hauria d'haver-se completat abans que sorgís el vuitè satèl·lit, Jàpet. El problema és extraordinàriament difícil; no hi ha altra sortida per afrontar-lo que considerar els efectes de les marees solars sobre la rotació planetària, i això és el que ha fet el professor W. H. Pickering, el descobridor de Febe.* Ara bé, una causa pot ser certa sense ser suficient i caldran càlculs detallats per determinar com són realment les coses en aquest cas particular.³

Les investigacions del professor Darwin foren fèrtils precisament perquè eren concretes. Van demostrar, d'una vegada per totes, les diverses facultats de la fricció mareal com a agent cosmogònic i van indicar amb claredat els àmbits del canvi cosmogònic en què podia actuar. A més, van servir per determinar, en el cas del sistema Terra-Lluna, la quantitat de treball efectivament realitzada per la fricció mareal en aquests diversos àmbits, i per demostrar el seu gran excés respecte a la producció corresponent en qualsevol altre subsistema observable per nosaltres. Aquest digníssim resultat suggereix que la nostra llar terrestre podria ser

* *Harvard Annals*, vol. LIII, pàg. 58.

singular, no sols en la seva història evolutiva, sinó també en els innumbrables ajustaments que la fan adient per ser l'habitable de la vida.

Les relacions entre la Terra i la Lluna insinuen, i gairebé res més, les influències físiques que s'exerceixen mútuament nombrosos globus bessons de l'espai estel·lar, els uns sobre els altres. La fricció mareal arriba a la seva capacitat màxima en sistemes formats per masses iguals. En aquest sentit, les masses de les estrelles dobles rarament són gaire dispar*s* i, a més, la majoria, si no totes, foren en un principi veïnes molt properes, de manera que la seva simetria devia quedar alterada per deformacions mareals ben conspícues. Els resultats sobre la seva evolució han estat exposats amb detall pel doctor See. Un dels més remarcables és l'alta excentricitat mitjana de les seves òrbites. Les dobles visuals, amb poques excepcions, descriuen el·lipses força allargades, mentre que les dobles espectroscòpiques, en general, segueixen camins aproximadament circulars. L'argumentació del doctor See, que l'excentricitat dels sistemes més espaiosos fou adquirida sota la influència de la fricció mareal durant el llarg procés de separació progressiva, és gairebé irresistible.⁴

És cert que aquesta línia d'explicació no està del tot lliure d'obstacles i incongruències; tanmateix, és probable que es puguin qualificar més com a complicacions que no pas com a contradiccions. La teoria de la fricció mareal no és un dissolvent universal de les dificultats que es troben en l'estudi de

les estrelles dobles. Ara bé, es pot considerar segur que el mode d'acció que descriu va tenir una participació no menyspreable en la regulació de llurs relacions mecàniques, si bé la potència, i potser fins i tot el mode d'acció, han variat moltíssim d'un sistema a un altre. Allò que va produir exactament en cadascun resta fora de l'abast de la nostra determinació. Les dades disponibles sobre la viscositat, la densitat i els moviments axials de les parelles estel·lars embrionàries seran sempre massa escasses i insegures per a servir de base a càlculs rigorosos. El misteri del temps remot no es podrà dissipar mai del tot. Ja és molt que el puguem contemplar a través d'un vidre que enfosqueix, però que no deforma, els objectes presentats en el seu camp de visió.

6

La fissió de globus en rotació

Poques persones necessiten que se'ls digui que una massa fluida en rotació té una forma molt semblant a la d'una taronja: adopta la figura d'una esfera aplatada. I la raó d'aquest aplanament és òbvia: la força de la gravetat, en ser parcialment neutralitzada per la tendència centrífuga deguda a la velocitat axial, disminueix progressivament des dels pols, on aquesta velocitat té un valor nul, fins a l'equador, on arriba al seu màxim. En aquest punt, doncs, els materials del cos en rotació són a efectes pràctics més lleugers que en qualsevol altre lloc i, per tant, s'allunyen més del centre. La «figura d'equilibri» que així es constitueix és un esferoide, un cos amb dos eixos desiguals. Dit d'una altra manera, el seu contorn meridional —el que passa pels pols— és una el·lipse, mentre que el seu equador és circular.

Sabem no només que una esfera en rotació esdevé un esferoide, sinó també que l'esferoide es fa

més oblat com més ràpid gira. El disc aplanat de Júpiter, per exemple, comparat amb l'arrodoniment de Mart, suggereix de seguida una diferència en la velocitat de gir. Però hi ha d'haver un límit a aquest increment del bombament, ja que l'esferoide, accelerat *ad infinitum*, acabaria per deixar d'existir en tres dimensions. Evidentment, cal anticipar aquest resultat impensable; en algun punt determinat el procés de deformació ha de quedar interromput. Entra aleshores en joc una discontinuïtat i el tren és desviat cap a una via secundària. I no costa gaire endevinar, de manera general, com passa això. L'equilibri, sens dubte, es trenca quan la rotació arriba a una certa velocitat crítica, que depèn de les circumstàncies, i l'esferoide o bé altera fonamentalment la seva forma o bé es desintegra.

Això ens ensenya el sentit comú més elemental; però la determinació precisa del curs dels esdeveniments és una de les tasques més àrdues amb què mai s'han enfrontat els matemàtics. El senyor Poincaré ho va intentar l'any 1885;* poc després, de manera independent, també ho va emprendre el professor Darwin;** i el tema ha estat investigat durant divuit anys, principalment per aquests dos homes eminents, amb una alternança molt interessant d'avenços: l'un reprenia el fil deixat per l'altre, i cadascun aconseguia penetrar una mica més dins del laberint. Els resultats, tanmateix, no són encara

* *Acta Mathematica*, vol. VIII, Estocolm, 1885.

** *Proceedings Royal Society*, vol. XLII, LXXI; *Philosophical Transactions*, vol. CXCVIII, CXCIX, sèrie A.

concloents; insinuen, més que no pas dicten, la gènesi dels sistemes. Certament, hi projecten una llum intensa; però, en seguir-la, cal tenir ben presents les limitacions de la recerca. Les principals són, en primer lloc, que l'esferoide suposat és líquid; en segon, que és homogeni. Però cap d'aquestes condicions és realment habitual a la natura, de manera que les inferències que s'hi basen només es poden acceptar amb reserves. Foren adoptades, no per elecció, sinó per necessitat, atès que no hi havia possibilitat de tractar matemàticament cossos en un altre estat que no fos el líquid. L'equilibri dels globus gasosos desafia qualsevol mena de tractament, llevat que sigui sota restriccions d'allò més arbitràries.* Tampoc no podem afrontar les complexitats de càlcul introduïdes per les variacions de densitat interna. Les masses còsmiques, tal com existeixen realment, són molt heterogènies; per això, en el millor dels casos, només podem arribar, fins i tot amb la més hàbil de les anàlisis, a una aproximació al curs autèntic de la seva evolució. Ara bé, fins i tot una solució aproximada d'un problema així és d'un interès profund, i aquí només podem intentar especificar-ne, breument, la naturalesa.

En qualsevol cas, el procés de canvi pel qual l'equilibri d'un esferoide líquid en rotació acaba trencat ha estat determinat amb èxit. Quan la seva

* J. H. Jeans, *Philosophical Transactions*, vol. CXCIX, sèrie A, pàg. 1.

rotació s'accelera fins a un punt disruptiu, adquireix tres eixos desiguals en lloc de dos: l'equador esdevé el·líptic, igual que els meridians, i es forma un *el·lipsoide jacobià*.¹ A aquesta nova forma sembla que cal atribuir-li un llarg període d'estabilitat; no més el seu eix major esdevé cada cop més allargat a mesura que progressa el refredament, i amb aquest arriba la contracció, i amb la contracció, l'augment de la velocitat axial. Finalment, s'arriba de nou a una crisi: l'equilibri col·lapsa, i la seva restauració implica el sacrifici de l'últim vestigi de simetria. Un «apioide», o cos en forma de pera, substitueix l'el·lipsoide precedent; i aquesta incipient dualitat evident suggerí a Poincaré que el solc que el divideix de manera desigual podria, amb una rotació encara més accelerada, aprofundir-se fins a convertir-se en una esquerda que acabaria escindint la massa primitivament única en un planeta i un satèl·lit.² Però Poincaré tingué cura de remarcar que aquesta eventualitat no tenia relació directa amb la hipòtesi de Laplace, la qual es referia a una nebulosa amb una condensació creixent cap al centre, mentre que l'apioide esquerdat era líquid i homogeni.*

El professor Darwin ha estudiat les condicions d'aquest remarcable cos en forma de pera amb un grau d'aproximació més gran que no pas l'investigador original, i ha aconseguit demostrar-ne l'estabilitat condicional. Tanmateix, la seva anàlisi

* *Figures d'Équilibre d'une Masse Fluide*, pàg. 172.

tendia a suavitzar les peculiaritats característiques de la seva forma i, d'aquesta manera, a reduir la probabilitat de la seva disrupció definitiva. El senyor Jeans, en canvi, a partir d'un detallat estudi d'una sèrie de figures en forma de cigar, que en teoria segueixen una evolució paral·lela a la dels el·lipsoïdes, ha derivat, mitjançant un raonament matemàtic rigorós, la separació real d'un satèl·lit des d'un extrem d'un cilindre progenitor. Les figures representatives han recordat al professor Darwin «alguna cosa semblant al prolongament d'un filament de protoplasma d'una massa de matèria viva». «En aquest procés gairebé vital» veié «un contrapunt d'almenys una de les formes del naixement de les estrelles dobles, planetes i satèl·lits».*

Ara bé, la semblança, quan s'examina amb imparcialitat, sembla vaga i esquiva, sobretot quan la confrontem amb el cas de les estrelles dobles. Aquí, en efecte, entra en joc un conjunt de condicions completament diferent de les postulades per Poincaré i Darwin, ja que les estrelles certament no són cossos líquids; el més probable és que siguin gasoses fins al nucli, tot i que la difusió indefinida pròpia de l'estat gasós queda restringida per les seves superfícies fotosfèriques condensades.** Aquesta circumstància suggereix la possibilitat que els resultats obtinguts per a globus líquids mitjançant l'anàlisi matemàtica puguin, amb certes reserves, ser

* *Proceedings Royal Society*, vol. LXXI, pàg. 183.

** J. H. Jeans, *Astrophysical Journal*, vol. XXII, pàg. 93.

aplicats també a les estrelles; aquestes reserves, malauradament, són vagues i considerables. Se'n sap massa poc sobre l'estat físic de les esferes estel·lars per justificar supòsits que poguessin oferir una base segura per a la recerca.

L'evolució de les estrelles binàries només es pot tractar de manera inferencial, no pas rigorosament; i hem de descartar, d'entrada, la idea que aquesta evolució quedi il·lustrada pels fenòmens de les nebuloses dobles. De fet, molts d'aquests objectes, que hom creia que aportaven arguments visuals decisius a favor de l'eficàcia real d'una lenta fissió còsmica, es van revelar, gràcies a l'aplicació dels mètodes fotogràfics minuciosos del difunt professor Keeler, com a nuclis dins de formacions en espiral. Les seves relacions mútues, per tant, són completament diferents del que havien suposat els observadors telescòpics; de fet, encara estan connectades estructuralment, i el seu origen, per més atractiu que sigui per a la conjectura, difícilment entra dins l'àmbit d'una investigació rigorosa. El seu destí futur és tan inaccessible a l'estudi com la seva història passada, i només amb un agosarat salt de la imaginació podem veure en les nebuloses espirals els prototips de les estrelles dobles.

Les qüestions sobre la gènesi d'aquests sistemes han adquirit, en els darrers anys, un interès extraordinari. En el moment present és impossible donar respostes concloents, perquè els termes en què s'emmarquen no tenen prou claredat, a causa de la nostra ignorància; tot i així sí que hi ha respostes

probables que poden, legítimament, ocupar-ne el lloc, almenys de manera provisional, sobretot quan la seva probabilitat queda gairebé elevada a certesa per l'acumulació d'evidències circumstancials.

Les observacions i investigacions dels eclipsis estel·lars han creat un nou camp de l'astrofísica i han eixamplat immensament el domini de la cosmogonia. Han posat en relleu un nombre de sistemes, no sols en un estat primitiu, sinó que pel que sembla també en una fase encara inacabada de desenvolupament. Els períodes de les estrelles que s'oculten mútuament són gairebé tots inferiors a set dies, encara que recentment se n'ha identificat un de fins a trenta-un dies; i la longitud relativa dels intervals d'ocultació mostra que són produïts per la circulació de globus dilatats en òrbites properes. Són trets característics de joventut, car, com ja hem vist, les òrbites s'eixamplen i els períodes s'allarguen amb el pas del temps, a causa del poder de fricció de les marees.

Ara bé, la classe d'estrelles que, de manera obvia i certa, experimenta eclipsis, té també alguns membres particulars de naturalesa encara dubtosa. La seva categoria poc habitual contribueix en gran mesura a augmentar l'interès actual, futur i retrospectiu que se'ls atribueix. Aquests objectes remarcables varien de lluminositat de manera contínua. Les seves fases no són, com les d'Algol, simples interrupcions dins d'un curs regular d'emissió constant de llum; ben al contrari, progressen sense cap pausa perceptible i la seva lluminositat es pot

representar gràficament per una corba suau i simètrica. Els eclipsis que en serien la causa —si realment ho són— s’han de succeir, doncs, en una sèrie estrictament ininterrompuda; tan bon punt acaba un eclipsi, comença el següent. Una estrella passa primer per darrere i després per davant de la seva companya, i la seva brillantor combinada només es mostra sense cap mena de disminució durant els breus moments de màxim absolut. I això vol dir que giren en contacte, sense cap espai apreciable que les separi.

La variable de Goodricke, β Lyrae, és considerada com un sistema d’aquesta mena. La possibilitat, si més no, d’emprar la «teoria del satèl·lit» per explicar-ne els canvis fou demostrada fa alguns anys pel senyor G. W. Myers, d’Indiana, el qual trobà que el sistema estava format per dos el·lipsoïdes gairebé sense separació que orbitaven en el pla de visió i que produïen, pels seus trànsits successius, dos eclipsis desiguals al llarg de cada període de 12,91 dies.* La massa conjunta de la parella és d’exactament trenta vegades la del nostre Sol, però la seva densitat mitjana té el valor gairebé increïble d’1/1200 de la de l’aigua. La seva existència real depèn de la possibilitat que masses molt més tènues que l’aire atmosfèric puguin radiar amb la intensitat de veritables sols. Les observacions espectroscòpiques no són del tot desfavorables a la hipòtesi del senyor Myers, però la seva interpretació es veu

* *Astrophysical Journal*, vol. VII, pàg. 1.

entorpidada per discrepàncies tan nombroses i desconcertants que no se'n pot derivar cap inferència segura. A més, l'estrella que se suposa que és l'única visible en el mínim principal és justament la que mostra l'espectre de línies brillants; tanmateix, per respondre a les exigències de la situació, cal assumir que és molt més massiva però alhora molt menys intrínsecament lluminosa, que la seva companya. Això és preocupant, però el cert és que gairebé tot el que es relaciona amb β Lyrae és, d'una manera o altra, preocupant.³

Una variable del mateix tipus, però molt més tènue, fou objecte d'una investigació similar per part del senyor Myers l'any 1898.* U Pegasi mai no arriba a la novena magnitud, de manera que tant les complicacions espectroscòpiques com la seva verificació espectroscòpica romanen, de moment, fora del nostre abast. Tanmateix, l'estrella desperta un interès viu i reclama una atenció sostinguda. La seva corba de llum ha estat establerta amb una precisió exquisida a la universitat Harvard i mostra dos mínims lleugerament desiguals dins d'un període de nou hores. Això significa, segons la teoria acceptada, l'ocurrència d'eclipsis alterns a intervals de quatre hores i mitja. La distància de centre a centre de les estrelles —la més petita de les quals té aproximadament vuit dècimes de la brillantor de la més gran—, segons el senyor Myers, «no difereix materialment de la suma dels seus radis, suggerint la

* *Astrophysical Journal*, vol. VIII, pàg. 163.

probable existència de la forma “apioide” de Poincaré». Si estan realment fusionats, els cossos components orbiten en contacte i giren sincrònicament. Així, és difícil dir si U Pegasi s'hauria de considerar com una massa única en forma de pera, que gira en el temps que ens indica la variació de lluminositat, o bé com una parella molt propera que orbita lliurement en aquell mateix període. La densitat mitjana del sistema sembla situar-se entre un terç i una quarta part de la del Sol.⁴

Un altre exemple del sistema «en manuela» es troba possiblement a R² Centauri. L'estreta amplitud de la seva variació la converteix en un objecte difícil d'observar, però el senyor A. W. Roberts, que en descobrí la peculiaritat l'any 1896, ha acumulat des d'aleshores una extensa sèrie de determinacions visuals de la seva brillantor fluctuant, extraordinàriament precises i, a més, n'ha fet la base d'una discussió teòrica rigorosa i exhaustiva.* El període doble d'R² Centauri es limita a catorze hores i trenta-dos minuts; dins d'aquest breu interval s'hi inclouen quatre fases: dos màxims equilibrats i dos mínims lleugerament desiguals. Segons conclou el senyor Roberts, aquests resulten dels eclipsis mutus d'el·lipsoïdes que s'interpenetren, un dels quals una mica més lluminós que l'altre, i que giren —si és que hom pot pròpiament dir que giren— en una òrbita inclinada 32° respecte al pla visual. La seva densitat és un terç de la solar, i les formes que

* *Monthly Notices*, vol. LXIII, pàg. 627.

satisfan els requisits fotomètrics, mitjançant les àrees variables de superfície lluminosa que es presenten a la vista en diferents parts de la seva trajectòria, mostren una sorprenent coincidència amb la figura biprolata establerta per l'anàlisi del professor Darwin com la forma d'un cos al límit de la disrupció a causa d'un moviment rotatori accelerat. La inferència és, doncs, gairebé irresistible: R² Centauri exemplifica l'estadi naixent de les estrelles binàries. Tanmateix, per establir-ho del tot caldrien dades espectroscòpiques; i aquestes són difícils d'obtenir en una estrella de magnitud més feble que la setena.⁵

Cap obstacle d'aquesta mena no impedeix la investigació de l'objecte anàleg però molt més brillant V Puppis. Detectada com a binària espectroscòpica pel professor Pickering l'any 1895, aquesta estrella recorre una òrbita tan àmplia en el breu període de trenta-cinc hores que implica —si els detalls publicats són correctes— que la parella posseeix ni més ni menys que 348 vegades el poder gravitatori del Sol. Ara bé, segons el senyor Roberts, són cinquanta vegades més tènues, i cadascun dels globus hauria de tenir un diàmetre d'uns 16 milions i mig de milles; i, malgrat tot, res d'això no és increïble. La corba de llum de V Puppis, tal com l'ha traçada el senyor Roberts, és molt semblant a la d'U Pegasi, i ell postula condicions d'eclipsi similars. Resta a càrrec de l'espectroscopi determinar si aquestes condicions són reals o no.⁶

Probablement totes les variables de període curt són binàries, amb cicles coincidents orbitals i de lluminositat. Però no totes són binàries per ocultació; n'hi ha algunes —encara ignorem en quin nombre relatiu— que experimenten un procés de variació de llum aparentment compatible amb la hipòtesi d'ocultació, i tanmateix escapen sens dubte de l'eclipsi. El professor Campbell no ha deixat cap dubte del fet que ζ Geminorum està constituïda d'aquesta manera: hi ha dues estrelles, però el seu pla de moviment està inclinat en un angle desconegut respecte a la línia de visió i no arriba a coincidir-hi.* De fet, no es pot excloure la possibilitat que V Puppis pertanyi a la mateixa classe. Les suposicions del senyor Roberts són plausibles en elles mateixes, i es poden demostrar com a certes en qualsevol moment amb uns quants espectrogrames ben oportuns.

La prova concloent de la veracitat d'aquestes hipòtesis és la cessació del moviment radial en els moments de mínim. És evident que, si la disminució de la lluentor es deu a un eclipsi, els cossos eclipsant i eclipsat han de creuar la línia de visió just quan l'obscuriment és més profund. No es pot defugir aquest requeriment geomètric, i ha de ser estrictament acomplert en les òrbites circulars que recorren els astres que giren en contacte. Abans, doncs, que la teoria del senyor Roberts sobre V Puppis es pugui acceptar amb confiança absoluta,

* *Astrophysical Journal*, vol. XIII, pàg. 90; *Science*, 27 de juliol de 1900.

cal establir si es produeix un valor nul en la velocitat radial en el mateix moment que els mínims fotomètrics. Si és així, aquests mínims poden ser atribuïts sense vacil·lació a fenòmens d'eclipsi; si, al contrari, la disminució de la brillantor resulta ser independent d'un alentiment de la velocitat, aleshores la suposició que es tracta d'un trànsit ha de ser descartada per força. A més, el veredictespectroscòpic sobre V Puppis pot aplicar-se amb seguretat a estrelles amb corbes de llum similars, sobretot a R² Centauri i U Pegasi, i pot ajudar a aclarir algunes de les intricades qüestions vinculades amb l'excel·lent sistema de β Lyrae. La mesura d'una sola placa espectrogràfica podria així, en decidir el cas de la binària a la popa del vaixell Argo, contribuir de manera essencial a suplir la mancança de determinacions desitjables —però actualment inabastables— per a un nombre considerable d'objectes anàlegs.

L'existència de sistemes estel·lars del tipus «manuella» no violaria cap llei mecànica. El límit de Roche no s'aplica a globus comparables en mida i, de fet, l'interval de disparitat dins del qual és vàlid no ha estat establert teòricament, tot i que es pot dir, en termes generals, que té a veure amb les relacions entre planetes i satèl·lits (per usar una expressió deliberadament vaga) i no pas amb les d'estrelles dobles. Allò que estableix la llei és que un cos petit subordinat no pot orbitar sense trencar-se a una distància menor de 2,44 radis del primari respecte al centre d'aquest, sempre que les seves densitats

mitjanes siguin les mateixes. Per a satèl·lits de menor consistència, el límit hauria de ser més ampli. Per exemple, la nostra Lluna mai no hauria pogut orbitar, sense quedar trencada en fragments per tensions de marea, en una òrbita menys de 22.000 milles de diàmetre.*

Els cossos de massa combinada queden, tanmateix, exempts de la regla prohibitiva contra l'aproximació mútua. No hi ha cap veto analític que impedeixi l'origen per fissió d'estrelles dobles, ni tampoc la subsistència de «bessons siamesos» estel·lars. Les desigualtats de les seves atraccions mútues poden distorsionar, però no trencar aquests globus embrionaris. La seva individualitat, per tant, un cop creada, és en certa manera indestruïble; de fet, tendeix a esdevenir encara més marcada a mesura que la separació orbital s'eixampla gradualment pels efectes reactius de la fricció de marea. La forma de tipus «manuella» pot considerar-se, doncs, en certa manera, transitòria. I el cert és que no podem estar-ne segurs de la realitat sinó a través de la peculiar naturalesa dels eclipsis que l'acompanyen, combinats amb observacions espectroscòpiques corresponents que demostrin que aquests eclipsis tenen lloc veritablement. La revelació, per aquests mitjans, de sistemes tan estranyament condicionats promet aportar una comprensió més profunda de l'ordre còsmic, i omple una pàgina

* G. H. Darwin, *The Tides*, pàg. 327.

en blanc en la meravellosa història del naixement i l'evolució sideral.

Mons a partir de meteorits

És seductora la idea que, en cada estela lluminosa d'un meteorit, veiem un vestigi del procés pel qual es va formar el nostre món, i altres mons semblants o diferents. No és pas una idea nova. Chladni ja la va formular el 1794, i des d'aleshores, de tant en tant, ha estat revifada i rehabilitada amb l'ajut d'un coneixement teòric millorat i d'un conjunt més extens de fets coneguts. Les idees que perviuen són temptadores per al pensament, atès que costa menys esforç imaginar diferències de grau que no pas diferències d'espècie. L'activitat intensificada de processos ja familiars és fàcil d'evocar, mentre que els resultats de formes d'acció desconegudes per a l'experiència tendeixen a quedar emboirats per la perplexitat. D'aquí la presumpció a favor de la continuïtat; i no es pot dir, fins i tot al marge de la nostra pròpia insuficiència intel·lectual, que aquesta presumpció sigui altra cosa que legítima. La natura és parsimoniosa en els seus

plans, però pròdiga en els seus resultats. Els seus objectius es caracteritzen per una unitat majestuosa, però sembla que fa poc cas, pel que podem saber, de les sobres o de les deixalles. Ara bé, és probable que els meteorits representin una o altra d'aquestes dues formes de material excedent. Podem fer-ne una analogia amb les estelles de blocs treballats per un ebenista, o també amb la pols i la runa que en queda. Considerem, doncs, què és el que realment en sabem.

En aquest camp, no podem pas dir que les fonts de la nostra informació siguin escasses. La Terra, mentre gira tranquil·lament a través de l'èter, s'empara diàriament de més de cent milions de meteorits. La seva assimilació no l'afecta pas, no produeix cap canvi perceptible en el seu funcionament intern ni cap augment sensible de la seva massa. Tanmateix, aquests cent milions de petits cossos acaparats tenen, segons l'opinió del professor Langley, un pes agregat de més de cent tones.* Aquest increment es produeix de manera continuada, però el seu efecte acumulat és insignificant si es compara amb la massa enorme del nostre globus. Que en el passat fos més considerable que no pas ara és una conjectura plausible, però no es pot defensar raonablement. Els dipòsits geològics no contenen —excepte en algun cas raríssim— ingredients meteorítics identificables. No hi ha res que demostrï que la Terra hagués estat més sotmesa a un bombardeig

* *The New Astronomy*, pàg. 197.

espacial durant l'era silúrica que no pas al segle xx. La totalitat dels seus constituents tampoc pot haver estat fornida per aquest mecanisme; un planeta terraquí no es pot haver format a partir de fragments ressecs, com el ferro de Mazapil o les «relles de llamp» d'Adare.¹ Aquesta objecció, plantejada pel senyor O. Fisher, sembla irrefutable.*

Els meteorits manifesten la seva existència, en general, només pels focs fatals de llur destrucció, però en alguns casos ens n'arriben restes tangibles. Els que són prou substancials per a escapar d'una desintegració total a causa de la resistència atmosfèrica durant la seva ràpida trajectòria, s'enfonsen al mar o s'enterren al sòl; i en una certa proporció de casos arriben a museus i laboratoris, on són sotmesos a la minuciosa investigació que el seu origen exòtic exigeix. Els resultats, però, són difícilment els que hom podria haver esperat. Els aeròlits — com s'anomenen específicament aquestes mostres de l'espai— no són químicament peculiars: estan formats exclusivament per les mateixes substàncies elementals que constitueixen l'escorça de la Terra; ara bé, la seva mineralogia és d'allò més característica. Es tracta d'estructures complexíssimes, formades, pel que sembla, en absència d'aigua i amb una aportació escassa d'oxigen; la condició addicional d'una forta pressió queda indicada amb una certa probabilitat i fins i tot amb certesa virtual en

* *American Journal of Science*, vol. XI, pàg. 421, juny de 1901.

aquells que contenen petits diamants, mentre que la textura tipus bretxa de moltes d'aquestes troballes rocoses assenyala llargs processos de fractura i reaglomeració.* El seu aspecte és, doncs, qualsevol cosa menys primitiu; cada fragment reclama tàcitament una història plena d'esdeveniments i suggereix cataclismes, dels quals en contemplem el resultat fet miques. La naturalesa d'aquests cataclismes amb prou feines podem conjecturar-la; només en podem obtenir alguna pista pel fet que les formacions terrestres més profundes són les que s'apropen més estretament a les peculiaritats mineralògiques dels meteorits.

Tanmateix, les úniques relacions ben establertes dels meteorits són amb els cometes. En tots els sistemes d'estels fugaos, el cos principal probablement és, o almenys ho fou en el passat, un cometa. Cada sistema sembla ser descendent d'un progenitor cometari, i es desenvolupa *pari passu* amb la seva decadència. D'aquí ha sorgit, amb una justificació prou vàlida, la idea que els cometes en la seva integritat primitiva no són altra cosa que «eixams meteòrics». S'hi pot estar d'acord, amb certes qualificacions que aquí no cal discutir. El que ens

* El carboni no es liqua en condicions normals. En la producció dels seus diamants artificials, M. Moissan va emprar una pressió colossal i una gran calor; i, tot i que s'ha negat l'autenticitat dels seus productes (Combes, *Moniteur Scientifique*, novembre de 1903), els seus mètodes, com a mínim, semblen haver-se aproximat a aquells amb què la Natura fabrica els seus cristalls més autèntics.

interessa de manera immediata és la qüestió sobre la constitució dels eixams meteòrics. Quin és el significat real del terme? Què ens evoca? Un eixam meteòric es pot definir com una aglomeració rudimentàriament globular de petits cossos còsmics, que giren sota la influència de la seva atracció mútua al voltant del seu centre comú de gravetat. Cada un ha de girar pel seu compte, encara que tots tinguin el mateix període; i les seves òrbites poden estar inclinades en tots els angles possibles respecte d'un pla donat i poden ser recorregudes indistintament en una direcció o en l'altra. D'aquest mode tumultuós de circulació n'haurien de resultar col·lisions freqüents, però serien de caràcter suau. No podrien ser d'altra manera en un sistema de massa insignificant i de moviment proporcionalment lent. Cal recordar que ens estem referint només als eixams cometaris, ja que són les úniques agrupacions d'aquest tipus que, ni que sigui remotament, coneixem; i els cometes representen el mínim de matèria. Això ho podem deduir del fet que cap dels cometes observats fins ara —ja siguin conspicus o obscurs, nouvinguts de l'espai o manifestament decadents— no ha ocasionat la més mínima pertorbació gravitacional a cap membre del nostre sistema.

Un eixam cometari, deixat al seu aire, podria amb el temps configurar-se en una versió reduïda de la nebulosa planetària Saturn.² Les partícules en col·lisió, a causa de la seva pèrdua de velocitat, haurien de precipitar-se cap al centre i agregar-se en una massa globular. Un corrent predominant de

moviment aconseguiria, mitjançant l'eliminació dels altres, imposar-se cada vegada amb més força; i finalment, amb la inevitable disminució de l'energia, quedaria restringit gairebé del tot al pla principal del sistema, compost essencialment per un nucli en rotació envoltat per una àmplia zona de meteorits que circulen de manera independent.* Però aquest mode d'evolució no és seguit ni de lluny pels cometes; només seria possible si aquests estiguessin aïllats a l'espai i, de fet, les seves òrbites al voltant del Sol tenen una importància aclaparadora en llur destí. L'energia repulsiva del Sol els fa dispersar-se i difondre's, amb l'emissió d'una esplèndida cabellera. Sota l'atracció desigual del Sol quan hi passen a prop, pateixen disrupcions, i el resultat de les tensions de marea que actuen sobre ells és la dispersió de les seves partícules constituents al llarg de l'extens camí de les seves òrbites el·líptiques.

Ara, però, se'ns convida a mirar més enllà. Els eixams cometarys de meteorits poden ser mostres en miniatura del que conté l'espai. Per què les regions siderals remotes no haurien d'estar plenes d'aglomeracions similars, colossals en les seves proporcions i innombrables en quantitat? I no podrien, tal volta, constituir el llargament cercat material inicial, adequat per a la construcció de sols i planetes? A partir d'aquestes consideracions inicials, sir Norman Lockyer elaborà, el 1887, una hipòtesi meteòrica universal, concebuda amb la més

* Sir R. Ball, *The Earth's Beginnings*, pàg. 243.

àmplia ambició, fonamentada en evidències prometedores i amb la pretensió de proveir una clau per a l'enigma desconcertant de l'evolució i la diversificació còsmica. Les afinitats meteòriques dels cometes en constituïen el punt de partida; els cometes eren assimilats a les nebuloses i de les nebuloses derivaven, mitjançant processos graduals de transformació, totes les espècies de sols accessibles a l'observació. La idea era d'un abast immens i d'una magnífica generalitat, però el seu valor reposava declaradament sobre un conjunt de fets d'una naturalesa especial. En això es distingia del conjunt d'especulacions ambiciosos sobre l'origen de les coses que l'havien precedida. En aquest aspecte, assolí una superioritat immensa sobre elles, sempre que les proves adduïdes es poguessin establir com a vàlides. De fet, gairebé es podria afirmar que, fos vàlida o no, la simple circumstància d'haver reclamat l'espectroscopi com a testimoni al «tribunal suprem» de la cosmogonia constituïa una innovació alhora meritòria i significativa.

L'espectre de les nebuloses era un enigma permanent, de manera que una teoria que comencés aclarint-ne el significat obtindria, de seguida, una posició privilegiada. Això és el que semblava haver aconseguit sir Norman Lockyer mitjançant uns simples experiments de laboratori sobre els espectres de meteorits. Algunes línies «de baixa temperatura» del magnesi, emeses pels vapors de fragments aerolítics rocosos, es mostraven sospitosament properes a les principals línies nebulars que

fins aleshores s'havien classificat com a desconegudes. És cert que les coincidències foren determinades amb baixa dispersió i es publicaren tal com eren, però resultaven prometedores. La seva confirmació, si hagués estat possible, hauria assenyalat l'inici d'una nova etapa de progrés; tanmateix, la naturalesa es mostrà recalcitrant. Amb una recerca més acurada, les suposades concordances es revelaren només com a aproximatives; la llum del magnesi no forma part de la resplendor nebular, i el nebuli, el seu component principal, continua eludint cap mena d'identificació a la Terra.³ La llum dels núvols còsmics és *sui generis*: no inclou emissions metàl·liques, mentre que els components fonamentals dels meteorits són metalls de diversa mena i en variades combinacions.

El desxiframent dels jeroglífics nebulars fou la prova crucial; el fracàs en afrontar-la deixà la hipòtesi seriosament desacreditada, car les coincidències entre línies espectrals, comunes a gairebé tots els cossos celestes, naturalment no comptaven per res. Nogensmenys, la investigació tingué la seva utilitat. L'energia amb què fou duta a terme, l'enginy i els recursos amb què fou orientada, contribuïren al progrés; hi hagué un xoc d'armes i una reorganització de forces; estimulà el pensament, l'observació i l'experiment reberen un fort impuls i s'inicià la navegació per nous afluents del gran corrent de la ciència. Els esforços per demostrar allò que s'havia afirmat resultaren fructífers en alguns sentits, i la tasca de refutació tingué un valor

inestimable a l'hora de definir el que era admissible i per tal d'establir fites inconfusibles en l'astrofísica.

Cal admetre que la discussió va aportar ben poca llum sobre el paper dels meteorits en la cosmogonia. La seva funció constructora de mons continuava sent, en gran part, especulativa i dubtes de moltes menes en matisen la possibilitat i li confereixen un aire fantàstic d'irrealitat; però això pot deure's, en part, a un defecte de poder imaginatiu que no té res a veure amb l'univers. Deixant de banda, doncs, les objeccions preliminars, ens trobem davant la qüestió fonamental: donat un eixam de meteorits amb la massa i dimensions requerides, hi ha cap possibilitat que es condensi en un sistema planetari? És un aspecte que sir Norman Lockyer deixà de banda; la seva hipòtesi era, de fet, «prenebular». Assumia que els petits cossos sòlids amb què començava acabarien, amb el temps, volatilitzats del tot per la calor dels seus impactes mutus, i que la massa gasosa resultant es comportaria a partir d'aleshores de la manera imaginada per Laplace. El professor Darwin, en canvi, ho veié d'una altra manera; li semblava possible combinar els postulats de la teoria meteòrica i de la teoria nebular en un sistema concebut segons un principi original. Per aconseguir-ho calia idear un mecanisme que fes aplicable la teoria cinètica dels gasos a un eixam de meteorits. «L'essència de la hipòtesi nebular», escrivia, «és la concepció de la pressió del fluid, ja que sense

ella la idea d'una figura d'equilibri esdevé inaplicable».*

Faye abandonà aquesta idea i construí els seus planetes a partir de materials incoherents, evitant així les incongruències, però al preu de perdre la precisió lògica del procediment més rigorós de Laplace. El professor Darwin no acceptà perdre res i es presentà com a sincretista, amb l'objectiu d'«assenyalar que, amb una certa interpretació de la teoria meteòrica, podem obtenir una reconciliació d'aquests dos conjunts d'idees, i podem sostenir que l'origen dels sistemes estel·lars i planetaris és meteòric, tot mantenint la concepció de la pressió d'un fluid». Per assolir aquest fi adoptà un recurs prou agosarat. Com que la pressió d'un fluid en un gas és el resultat mitjà dels impactes de les molècules, la pressió fluida en un eixam de meteorits, concebia Darwin, podria ser el producte net d'innombrables col·lisions entre cossos que caldria considerar com a molècules a una escala enormement ampliada. La suposició és, en efecte, com deia Kepler de les distàncies a les estrelles fixes, «una mossada molt grossa d'empassar», ja que entre molècules i meteorits hi ha un ampli buit sense ponts i el mecanisme dels impactes en els gasos és obscur. Aquest només es podria posar en marxa si s'atribueixen a les partícules implicades propietats d'un caràcter altament enigmàtic. Aquestes partícules són, tanmateix, impensablement minúscules; i en les

* *Proceedings of the Royal Society*, vol. XLV, pàg. 4.

regions de la recerca que cauen per sota dels nostres sentits les responsabilitats de la raó, en certa manera, es relaxen. Som molt més crítics respecte al comportament de la matèria palpable i gruixuda, perquè allà podem recórrer a l'experiència i no és gens improbable que aquesta hi interposi el seu veto.

Els meteorits són, sens dubte, totalment diferents de les molècules, per molts milions de vegades que es vulgui engrandir-les; i és evident que quedarien esmicolats per les col·lisions que, en el cas de les molècules, només serveixen per desencadenar les seves vibracions característiques. A més, l'avenç del procés de fragmentació acabaria amb el predomini de la pressió fluida, de manera que la condició desitjada, fins i tot si es pogués assolir inicialment, seria només transitòria. Hi ha, a més, una diferència radical entre un grup de cossos en moviment orbital i una conglomeració de partícules que es mouen a l'atzar, sense estar sotmeses a cap llei de força predominant. Un eixam de meteorits pertany a la primera categoria, és una comunitat governada en certa mesura per un poder central, mentre que el contingut gasós d'un globus o d'un matràs obeeix impulsos purament individuals. Així doncs, no podem dir que existeixi l'analogia que cercava el professor Darwin, i el seu treball destaca com un monument d'un tractament matemàtic enginyós aplicat a un estat ideal de coses.

Una agregació de meteorits en rotació no té figura d'equilibri, i és precisament a través de les

conseqüències derivades d'aquesta propietat que els matemàtics poden traçar els canvis progressius d'una massa fluida en rotació. A manca d'un mitjà d'aquesta mena per abordar la qüestió, la seva posició respecte al problema que presenta un conjunt de pedres voladores no és gaire millor que la de Kant davant d'un univers en evolució. Sembla clar que un eixam de meteorits només pot ser impulsat a condensar-se per mitjà dels efectes de les col·lisions entre els seus constituents. Quan s'eliminen les irregularitats de moviment de què depenen aquestes col·lisions, el sistema haurà de romandre en un *statu quo*: l'ordre condueix a la permanència; una condició tumultuària és transitòria. L'estat final del sistema, però, només es pot preveure en part. Els cossos que són aturats en el seu moviment haurien de caure cap endins, de manera que es formaria i creixeria una massa central, però la producció de planetes sembla estar condicionada a l'existència de desigualtats primitives de densitat dins l'eixam, que podrien actuar com a nuclis d'atracció per als meteorits en caiguda.

Segons aquesta interpretació, no hauria pogut haver-hi una successió tan harmoniosa d'esdeveniments com la que constituïa l'encant predominant de l'esquema de Laplace. Calia suposar que els planetes haurien sorgit confusament a partir d'un caos o, millor dit, que el caos contenia ja des del començament les llavors d'un cosmos predestinat; la seva evolució hauria estat com la del roure a partir del gla, un desplegament d'allò que ja hi era present en

essència. Podria ser que, en aquest estadi de penetració cap al passat, la intel·ligència humana sense altra ajuda hagi trobat el seu *ne plus ultra*; hi ha un nucli fonamental de les coses que no podem esperar assolir, el pensament s'atura instintivament davant la visió del simbòlic colom que torna fecund l'ample abisme.⁴

En resum, la cosmogonia meteòrica té un fonament racional. Els modes d'acció que reclama són encara vàlids; afeblits gairebé fins a esvanir-se, comparats amb el vigor que degueren necessitar per ser eficaços en la construcció de mons, continuen manifestant-se en els nostres cels nocturns. És cert que actuen sobre una quantitat molt petita de material, però podria ser que, fins i tot ara, estiguessin distribuïts en altres llocs amb una profusió comparativament gran, i dins mateix del sistema solar és ben possible que fossin molt més abundants antigament que ara. La Terra ha anat recollint centenars de milions de granets meteòrics a diari durant edats innombrables, i la zona de l'espai que recorre encara és molt lluny d'estar neta del tot. Tanmateix, la persistència de l'aportació podria deure's a l'arribada contínua de reforços provinents dels regnes interestel·lars.

Els cometes pertanyen al seguici del Sol i viatgen amb ell, i això és també ben cert dels meteors d'origen cometari; però, a més, hi ha una multitud que circula independentment dels cometes, i amb velocitats molt més altes. Les seves òrbites són, doncs, hiperbòliques; pertanyen a la categoria dels

«viatgers irrevocables», i gràcies a la seva captura tenim el privilegi de posseir autèntics fragments de matèria sideral. L'espai universal conté probablement un enorme estoc d'aquests cossos, però no hi ha res que demostrï la seva recol·lecció en eixams. L'espectroscopi no en dona cap garantia; ha emès el seu veredicté en contra de la constitució meteòrica de les nebuloses i les estrelles temporals. I si admetem, per la força del testimoni mineralògic, que els aeròlits arribats tan estranyament al sòl terrestre són realment les restes de mons destruïts, aleshores hem de reconèixer que no tenen cap possibilitat de restauració. Són solitaris, tot i que de vegades segueixin una mateixa trajectòria, i solitaris han de romandre. Els cossos no inicien per si mateixos una circulació mútua; els proscrips planetaris o estel·lars no poden tornar a reagrupar-se en un sistema gravitatori. D'un eixam còsmic, com d'un poeta, es pot dir: *nascitur, non fit*;⁵ i el seu secret de naixement resta sense revelar.

8

La cosmogonia al segle XX

La recerca prospectiva i retrospectiva sobre les condicions físiques es troben, en gran mesura, en el mateix pla. El mateix grau d'incertesa acompanya els resultats d'ambdós tipus, cal aplicar-hi les mateixes qualificacions i es dona per entesa una reticència semblant quan els admetem. Aquesta reticència es fa més marcada a mesura que la ciència revela, amb sorpresa, les múltiples possibilitats de la natura. Ha passat el temps en què els «homes que són llum i guia» podien emetre xecs per quantitats il·limitades en el banc de la credulitat pública; i no pas perquè el saldo hagi disminuït, sinó perquè queda reservat per a altres usos. La majoria de nosaltres, avui dia, hem après a «mirar endavant i enrere» per nosaltres mateixos, i instintivament podem separar el gra de la palla amb allò que se'ns diu, fins i tot si prové de la més alta autoritat. Les idees estan en moviment, s'obren vistes difuses, moltes coses que

jeuen més enllà del límit de l'experiència actual es veuen com a possibles i un raonament assenyat pot ser en qualsevol moment ultratjat per un descobriment fantàstic. Per tant, la finalitat de l'afirmació és avui caduca.

La paral·laxi secular que afecta la visió humana de l'univers es fa palesa sobretot en la tendència que han pres les especulacions sobre el seu origen. Aquestes s'han fet més subtils, més ambicioses, però també menys segures. S'han ramificat en direccions inesperades, però més aviat de manera temptativa, que no pas amb la plena confiança d'assolir una veritat absoluta. Laplace només va considerar el sistema solar, del qual va excloure arbitràriament els cometes; al vast món sideral gairebé no li va dedicar més que una atenció casual. En canvi, sir William Herschel es va ocupar exclusivament dels processos de creixement de les nebuloses, relegant els detalls de l'evolució planetària a una posició de segona importància. Més tard, amb la disponibilitat de l'espectroscopi per discriminar les diferències genèriques entre els sols de l'espai, llurs edats relatives, l'ordre d'evolució i llurs afinitats mútues, van reclamar l'atenció predominant. Ara mateix, però, el cabal d'especulació és tan gran que no es pot contenir en canals separats; els cosmogonistes miren lluny, aspiren a obtenir una visió general de relacions que resulten enlluernadores per la seva complexitat. En certa mesura, ho han aconseguit: les parts comencen a trobar el seu lloc dins d'un gran conjunt; es veuen vincles que connecten

fenòmens que, a primera vista, semblaven aïllats; apareixen analogies per tot arreu. El cercle infatigable de la Lluna i el seu rostre impertorbable ens recorden com pot haver nascut un sol; el fulgor de cada meteor suggereix la manera com moren els sols; les traces vaporoses dels cometes insinuen la naturalesa de la força que actua sobre les nebuloses; la gran llei còsmica de l'espiralitat queda suggerida remotament per les pertorbacions antipodals del sol. Així, un conjunt de fets s'encaixa amb el següent, i no n'hi ha cap que es pugui considerar aïlladament de la resta.

Malgrat tot, les limitacions de la ment humana imposen certes restriccions a l'hora de tractar el tema. Els esforços individuals no poden abastar el conjunt del que és conegut i del que és cognoscible, i dins l'àmbit de la cosmogonia moderna hi ha una bona part d'ambdós. Aquesta ciència s'ocupa de tot el que els cels contenen, tant el que és visible com invisible; es nodreix sense mesura del temps passat i del temps futur; tracta també de les transformacions graduals i de les catàstrofes sobtades, de la dissipació i la concentració d'energia, del joc subtil entre matèria i força i dels modes d'acció físics i ultrafísics, químics i elèctrics. Ara bé, considerem ara amb una mica més de detall com estan realment les coses, per tal de recollir algunes idees concretes sobre les línies de progrés practicables i prometedores per al futur immediat.

Comencem pel nostre cercle domèstic. L'estat d'inseguretat al qual l'esquema de Laplace ha

quedat reduït pels atacs de nombrosos objectors ha trobat una compensació en el desenvolupament de la teoria de les marees, que ha aportat molta llum sobre la prehistòria planetària. Les relacions dels planetes amb el Sol, i dels satèl·lits amb els planetes, s'han tornat comparativament intel·ligibles. Destaca per damunt de tot la descoberta que se'n desprèn sobre la suggestiva posició de la Terra, situada just a fora del límit de la regió on la rotació planetària va quedar eliminada per les marees provocades pel sol i, amb ella, les possibilitats de vida planetària.

A més, l'estat dubtós de l'esferoide terrestre incipient, conseqüència de la seva situació intermèdia, explica el mode peculiar de naixement de la Lluna, i també el caràcter clarament binari del sistema Terra-Lluna. Alhora, la varietat perceptible en les circumstàncies dels diferents planetes exclou l'ús de cap recepta única per explicar-ne el desenvolupament a partir d'un vòrtex primordial. Les forces implicades, ara ho podem veure, actuen d'una manera molt més complexa del que abans podríem suposar i el seu equilibri fou proporcionalment més delicat. Cap a quin costat s'hauria inclinat la balança en cada cas concret serà sovint impossible de calcular, o calculable només amb l'ajuda del resultat ja conegut. Els estrictes nexes del raonament s'han relaxat i les dificultats que semblaven formidables han resultat, a la llarga, no ser insuperables. Però, alhora, la convicció també s'ha afeblit; la vella i imponent façana de la teoria

roman dreta, però l'edifici que hi havia al darrere ha estat, en gran part, enderrocant, i encara hem de trobar l'arquitecte capaç de reconstruir-lo a la nostra satisfacció.

En un punt, tanmateix, sí que hem assolit una certesa. Ara se sap que els cometes, amb els seus seguicis dependents de meteors, són aborígens del sistema solar. No són intrusos il·legítims, sinó parents llunyans de la família planetària. És possible que representin restes sobrerres de la matèria inicial que escapà a l'acció de la maquinària formadora; i, si és així, n'exemplifiquen la textura primitiva. No cal, però, suposar que la seva composició hagi de ser idèntica a la dels planetes; és probable que un cribratge d'elements acompanyés els processos de refredament i contracció. Tal vegada els cometes foren —per plantejar una metàfora visual— fets de la clara de l'ou nebulós i els planetes, del seu rovell.¹ En qualsevol cas, podem considerar amb seguretat els teixits tremolosos d'acetilè i de cianogen, que de tant en tant il·luminen els nostres cels, com a restes arrencades d'una boirina dispersa, llançada cap a un costat abans que les «marees estel·lars» haguesin començat a «precipitar-se cap al centre». En un aspecte, la qualitat d'aquestes relíquies és una sorpresa; no mostren cap afinitat química amb les nebuloses, atès que els seus espectres són radicalment diferents dels espectres nebulars, ja siguin gasosos o continus. Per tant, no donen suport a la idea que el Sol sigui, en sentit estricte, una estrella nebulosa, tot i que tampoc no la destrueixen del tot.

El gran tema de l'evolució sideral ja no resta abandonat a supòsits infructuosos. S'han traçat línies generals, al llarg de les quals, fins on podem veure en aquests moments, s'ha d'haver produït l'evolució de manera inevitable. I un fet d'una importància cabdal en aquest context és una descoberta ben recent. Certament, l'existència d'innombrables cossos obscurs a l'espai havia estat prevista com una necessitat lògica molt abans que Bessel creés l'«astronomia de l'invisible», però la seva ferma demostració és deguda gairebé del tot a l'ús dels mètodes espectrogràfics moderns. Els sols decrepits o enfosquits no són pas un producte imaginari, sinó una realitat ben evident, tot i que seria massa afirmar que tots hagin arribat a l'extinció pel mateix camí; tampoc és absolutament cert que el seu estat actual sigui, de manera uniforme, el resultat d'una llarga decadència. Les circumstàncies associades a molts d'ells suggereixen, més aviat, una incapacitat congènita per brillar.

També trepitgem un sòl més ferm que els nostres predecessors pel que fa a la història dels sistemes estel·lars. Que el seu curs està prescrit principalment per la influència del fregament mareal és un fet que ha estat demostrat amb competència pel doctor See. Podem fer remuntar les estrelles dobles telescòpiques, amb l'ajuda d'aquesta pista, fins a un estadi inicial, quan orbitaven molt a prop l'una de l'altra, d'una manera molt semblant a la relació entre la Terra i la Lluna segons la teoria del professor Darwin; i fou a causa del seu volum i de les

atraccions desiguals que aquesta engendrava, que les seves òrbites es van anar engrandint i allargant fins al grau que, en general, s'observa avui en dia.

Aquesta inferència teòrica ha estat confirmada amb un singular encert pel descobriment de les binàries espectroscòpiques. Les parelles que orbiten en trajectòries massa properes per ser distingides visualment són el complement natural de les parelles que el telescopi amb prou feines pot separar; la primera classe representa els estadis inicials, invisibles, de la segona. Les dues juntes formen una seqüència ininterrompuda de sistemes estel·lars, car les binàries espectroscòpiques inclouen tant parelles ja plenament separades, i encara separant-se, com d'altres gairebé indistingibles, i que giren gairebé en contacte. És més, sembla que també inclouen exemplars de globus units en la figura apioide, teòricament estudiada per Darwin i Poincaré, que es pot considerar preparatòria al desenvolupament, per fissió, de dues estrelles en revolució mútua a partir d'una massa rotatòria primitiva. Alguns d'aquests suposats sistemes en forma de manuelles mostren variacions de lluminositat; i, si l'explicació dels eclipsis per a les seves ocultacions queda confirmada per l'espectroscopi, no hi haurà cap dubte per inferir que cada objecte està compost per dues estrelles realment contigües, si no confluents.

Ara bé, les estrelles compostes no són de cap manera un fenomen excepcional. S'ha vist que la seva abundància relativa augmenta ràpidament amb cada avenç en el nostre coneixement del firmament.

A partir de les mesures de velocitat radial estel·lar realitzades recentment a l'Observatori Yerkes pels professors Frost i Adams, sembla que la proporció d'estrelles binàries respecte de les solitàries excedeix considerablement l'estimació anterior del professor Campbell.² Si es consideren només aquelles que donen espectres d'heli, és molt probable que n'hi hagi tantes d'un tipus com de l'altre. Però, per què aquesta distinció? hom podria preguntar. La resposta no és difícil d'escatir. Les estrelles d'heli són les més primitives, i formen els sistemes més estrets i més fàcilment detectables. Les companyes d'estrelles més desenvolupades donarien, amb tota probabilitat, signes espectroscòpics menys evidents de la seva presència. Una estrella doble física ha de romandre sempre d'aquesta manera; no hi ha cap llei de divorci per la qual pugui desprendre's de la seva companya, tot i que les seves relacions sens dubte s'han d'anar alterant amb el temps. Ara bé, aquesta alteració tendeix contínuament a incrementar-ne la dificultat de la detecció, perquè, a mesura que els membres d'una parella són empesos a separar-se pel fregament mareal, la seva velocitat es redueix i l'oscil·lació característica de les seves línies espectrals es fa més petita, fins que finalment, per la seva minúcia, escapa a l'observació.

I com que la majoria de les estrelles-satèl·lit espectroscòpiques són molt imperfectament lluminoses, la seva eventual descoberta telescòpica, quan són prou allunyades de les seves primàries per a ser-ne òpticament separables, rarament arribaria a

produir-se. Cal concloure, doncs, que la meitat de les estrelles del firmament (per dir-ho així) es van fragmentar en dos o més cossos en condensar-se. Què se'n segueix? Doncs això: que la meitat de les estrelles del firmament quedaren, des del principi, incapacitades per esdevenir centres de sistemes planetaris, atès que, almenys a la nostra percepció, sembla evident que una condició binària hauria d'haver inhibit les operacions del creixement planetari.³ Aquests innumerables sistemes estan sens dubte organitzats segons un principi totalment diferent d'aquell que regeix la família del Sol. La hipòtesi nebular, fins i tot en la seva forma més perfeccionada, no s'hi aplica; i encara menys la hipòtesi meteòrica. Les teories matemàtiques de l'equilibri fluid, combinades amb una llarga sèrie de canvis deguts al fregament de marees, ofereixen algun grau de comprensió sobre el seu origen i el curs de llur evolució. Tanmateix, l'analogia amb la parella Terra-Lluna, que s'imposa amb força, és imperfecta, i pot resultar enganyosa, a causa de la gran diferència d'estat entre globus plàstics propers a la solidificació i cossos semblants al Sol, que irradien intensament i són probablement gasosos fins al nucli.*

El món de les nebuloses ens confronta amb cicles sencers de problemes evolutius, que ja no poden ser tractats amb la lleugeresa inevitable que hi aplicava Herschel. Els objectes en qüestió són d'una

* Cf. Jeans, *Astrophysical Journal*, vol. XXII, pàg. 93.

varietat desconcertant; i tanmateix, podem rastrejar, enmig de les seves irregularitats fantàstiques, la uniformitat subjacent d'una idea constructiva única. Gairebé totes mostren, en major o menor grau, una conformació espiral, i això indica l'acció de lleis conegudes o susceptibles de ser descobertes. La seva investigació ha de ser, certament, lenta i feixuga; el seu progrés pot quedar obstaculitzat durant molt de temps per la interposició de qüestions noves, tant de física com de mecànica; però, malgrat això, les línies de recerca que es presenten semblen prou definides per tenir l'esperança que finalment duran a un resultat clar. I quan, finalment, s'hagi assolit un coneixement raonablement ferm sobre el passat i el futur de les espirals nebuloses, s'haurà fet una incursió gens menyspreable en l'enigma immens de les relacions siderals.

El seu aspecte, si ens atrevim a contemplar-lo en la seva totalitat, és vast i imponent. Ja no es tracta, com en temps passats, d'un simple fragment de la creació —una sola estrella i els seus febles globus subordinats, un dels quals resulta ser el llogaret provisional de la raça humana— sinó del cosmos sencer, abismal i indivís, allò amb què s'encaparra la ciència de l'origen i del destí. Les obscures i immenses incerteses de la història galàctica reclamen, o fins i tot imposen, la nostra atenció; en sabem prou només per a desvetllar el desig de saber-ne molt més. La distribució d'estrelles i nebuloses es veu fàcilment com el fruit d'un disseny; per quins mitjans —ens preguntem inevitablement— es va

executar aquest disseny? Com eren les coses quan aquests mitjans van començar a ser emprats? Com seran quan tot hagi estat dut a terme? Car suposem que encara no s'ha assolit cap mena de condició última. Així doncs, han d'actuar forces orientades a la culminació del propòsit suprem, que potser no són massa subtils per a la nostra comprensió. Mentrestant, els fets relatius a la construcció sideral es van recollint i examinant amb cura, i ens convindrà suspendre l'especulació fins que en coneguem el significat més ampli.

Les indagacions de la ciència no s'aturen aquí. S'esforcen per penetrar un misteri encara més profund que el de la dispersió en l'espai d'estrelles i nebuloses: de què estan fetes? Aquesta és la nova pregunta que se'ns planteja. Quina és la naturalesa de la matèria primordial? D'on va obtenir la calor? Per quins mitjans se li va impartir el moviment? Si es replica que aquests temes ultrapassen la capacitat de la intel·ligència finita i pertanyen als secrets del poder creador, podem contestar que ni tenim dret, ni tampoc som capaços, de traçar una línia arbitrària que les nostres idees errants no puguin travessar. El món ha estat, per decret exprés, lliurat a les seves exploracions, i no ens correspon a nosaltres restringir-ne la llibertat. No cal témer acostar-nos massa al cor del misteri; no hi ha cap punt final en allò desconegut al qual puguem arribar per la via ràpida; en un cert sentit, sempre estem començant, i mai no ens apropem del tot a la destinació. Però això és perquè aquesta destinació retrocedeix

davant nostre; tanmateix, nosaltres avancem, i a mesura que avancem, les boires es dissipen i entreveiem més enllà un ordre imperible, una esplendor impenetrable. Les nostres recerques, doncs, no han de ser abandonades en el desànim pel caràcter tan ampli i profund que han assumit espontàniament.

Des dels temps més remots hi ha hagut la tendència a considerar la diversitat de la matèria com a conseqüència. S'ha suposat que era deguda a una agència supramundana o a l'operació d'una llei inherent, a partir d'una substància universal i indiferenciada. Nosaltres, en la nostra modernitat, anomenem aquesta substància «protil», i creiem que hi estem en contacte experimental.* Les implicacions d'aquesta idea les considerarem en el següent capítol.⁴

* Terme que significa 'matèria primera', construït a partir de les paraules gregues corresponents per Roger Bacon i recuperat per sir William Crookes.

9

Què és el protil?

La noció d'una forma primordial de matèria es presenta en cada etapa de l'especulació cosmogònica. És el fruit d'una convicció instintiva: la de creure que, si poguéssim només «alçar el vel pintat» dels fenòmens,¹ trobaríem que el veritable entrellat de l'univers es desenvolupa al rerefons, «sense pressa ni repòs», seguint un pla establert i uniforme arreu; que la uniformitat és fonamental i la diversitat només incidental; i que les transformacions d'aquesta única substància simplificada es podrien representar mitjançant una sola fórmula, la descoberta de la qual ens posaria a les mans la clau mestra dels secrets closos de l'univers. Entre els pensadors no instruïts, algun tipus familiar de matèria, idealitzat i generalitzat, solia ocupar el lloc de la substància universal; l'aigua en fou la primera favorita. Tales, el savi de Milet, va concebre el seu cosmos com a resultat de la precipitació d'una solució aquosa, i moltes tribus salvatges han imaginat situacions semblants. Anaxímenes considerava l'aire com el dissolvent universal; Heràclit el

va substituir pel foc, i així va donar inici a un esquema del que ara sovint s'anomena «evolució elemental». A partir del «flux perpetu de les coses», ell concebia que ni tan sols les quatre substàncies seleccionades per Empèdocles com a base de la natura en quedaven exemptes, i un fragment del seu esquema va sobreviure en l'admissió de Francis Bacon de la convertibilitat mútua de l'aire i l'aigua. Tanmateix, en essència, l'autor del *Novum Organum* es va mantenir fidel a la doctrina paracelsiana d'una tríada elemental,* encara que trobava que l'associació de la sal com a «principi» fonamental amb el sofre i el mercuri era inepta i innecessària.**²

Aquestes boirosses fantasies es van esvaïr amb la llum creixent de la ciència química; ara bé, la necessitat mental que havien satisfet temporalment va sobreviure, i d'alguna manera havia de ser acontentada. Calia encara un *Urstoff*, una substància primigènia, i el segle XIX, amb el seu tremp característic, va intentar subministrar-lo amb pes i mesura. Els equivalents combinatoris de Dalton van proporcionar el fonament per a la hipòtesi de l'hidrogen de Prout. El problema a resoldre era trobar un àtom unitari a partir de les variades combinacions del qual es poguessin formar la resta dels àtoms químics. La condició indispensable a complir era

* Presentada per primera vegada per Basilius Valentinus. Vegeu l'edició de Fowler del *Novum Organum*, pàg. 576, nota.

** En referència a l'opinió anterior de Geber, com va comentar el seymor Fowler (*loc. cit.*).

que els seus pesos fossin múltiples exactes del de la unitat, i aquesta condició semblava gairebé acomplerta amb l'àtom d'hidrogen o semiàtom. Tanmateix, era un cas en què la coincidència aproximada no tenia cap valor; la decisió adversa de la balança va acabar sent inconfusible; i Prout va recórrer prudentment, el 1831, a l'expedient de derivar l'hidrogen mateix d'alguna altra substància més baixa en l'escala.* La seva hipòtesi, en resum, es va dissoldre en una conjectura. Només havia servit per ressaltar la condició que el «protíl» dels antics havia de ser tal que servís no sols per a la unificació física del conjunt de les coses, sinó també com a substrat de totes les espècies químiques.³

Mentrestant, la recerca teòrica d'aquesta substància havia estat duta a terme en camps d'investigació molt diversos. Les especulacions de Laplace, no menys que les observacions de Herschel, havien dut a la concepció d'una mena de «boira de foc» com a veritable plasma estel·lar. Però la seva naturalesa i propietats restaven indefinides, o bé eren assignades a l'atzar per cosmogonistes arriscats. Així, el «fluid resplendent» de l'espai era «tot per torns i res per temps», fins que sir William Huggins, el 1864, li va donar individualitat espectroscòpica. La marca identificadora del nebuli és una ratlla verda intensa, per l'emissió de la qual se sap que té una existència concreta. Tanmateix, el poc que se n'ha après desaconsella identificar-lo amb la

* *Dictionary of National Biography*, vol. XLVI, pàg. 426.

materia informis de la filosofia antiga, que hauríem d'esperar que fos la més subtil de totes les substàncies. El professor Campbell, en canvi, ha recollit indicis que el nebuli és més dens que l'hidrogen. La seva lluminositat, almenys, que s'associa invariablement amb la de l'hidrogen, es dispersa menys àmpliament en les mateixes formacions; queda confinada a un nivell més baix. L'àtom de nebuli no és, doncs, la unitat química ni còsmica.⁴

Aquesta entitat evasiva, o alguna cosa que la simula de manera curiosa, ha resultat tenir un origen menys recòndit. Sir William Crookes té plena justificació per reclamar l'antiga denominació de *protíl* per a la «matèria radiant» produïda per primer cop als seus tubs de buit fa gairebé trenta anys. El descobriment va ser sorprenent i imprevist, i el seu significat encara no ha estat apamat. La matèria assumeix el «quart estat», en el qual no és ni sòlida, ni líquida, ni gasosa,* sota la coacció d'una descàrrega elèctrica en un buit alt: quan aquest arriba aproximadament a una milionèsima part d'una atmosfera, la seva manera de trànsit canvia bruscament. La conducció dona pas a la convecció; els efectes lluminosos desapareixen i els tubs deixen de resplendir amb estriacions brillants i acolorides; els pols ja no queden marcats amb halos tremolosos o plomalls; només es veu una fosforescència verda allà on les parets de vidre del recipient són colpejades pel raig de partícules projectades. Aquestes

* Crookes, *Philosophical Transactions*, vol. CLXX, pàg. 163.

provenen, amb meitat de la velocitat de la llum, exclusivament del pol negatiu, mentre que el pol positiu resta inert. D'aquí el nom de *raigs catòdics*, atorgat per Goldstein als portadors de l'electricitat en ampolles a un buit molt alt.

Aquests agents misteriosos i subsensibles posseeixen certes propietats ben definides. Les seves trajectòries són desviades sota l'acció d'un camp magnètic, poden travessar pel·lícules metàl·liques i la seva investigació a l'aire lliure, així possibilitada, ha demostrat que tenen eficàcia fotogràfica i la facultat de trencar l'aïllament elèctric; a més, transporten una càrrega negativa de quantitat fixa i tenen un moment determinat. Són, doncs, sens dubte, quelcom més que simples pulsacions de l'èter; tret que els nostres sentits fallin i ens enganyin, la seva qualitat és material, tot i que no del tot amb la connotació ordinària del terme. La circumstància més essencial sobre els raigs catòdics és que romanen inalterats per les diversitats químiques dels gasos que els originen: un tub d'hidrogen produeix exactament la mateixa matèria radiant que un d'oxigen o un de nitrogen.* Aquí tenim, doncs, finalment a l'abast de la mà, una substància indiferenciada — matèria encara no especialitzada, ni molecular ni atòmica, mancada d'afinitats i exempta de les lleis de combinació—, matèria en la seva forma

* J. J. Thomson, *The Discharge of Electricity through Gases*, pàg. 195; *Philosophical Magazine*, vol. XLIV, pàg. 311.

incipient, i potser última. En una paraula, el llargament cercat protil.

Ja l'any 1879, sir William Crookes va conjecturar que els projectils infinitesimals propulsats pel càtode eren les «pedres fonamentals de què estan compostos els àtoms».* I el 1886 els va declarar més decididament com la matèria primera dels àtoms, els quals, segons la percepció de sir John Herschel, portaven l'inconfusible segell d'un «article manufacturat». Ni tan sols el seu comentarista recent es va abstenir d'intentar endevinar, de lluny, el mètode de la seva construcció, o d'assenyalar-ne els subproductes i residus associats,** encara que es va veure obligat a relegar la fàbrica còsmica a les vores del món, on poden succeir coses inconcebibles. Tot això, certament, semblava, a les acaballes de l'era victoriana, com muntar el cavall d'Astolfo per fer un viatge a la Lluna;⁵ i el sentit comú més sensat ho va considerar prou fantàstic com per a «fer plorar Demòcrit i fer riure Heràclit».** É s cert que des d'aleshores hem après de la mateixa natura una certa tolerància per les idees agosarades.

Pas a pas, les noves idees s'han imposat irremediablement. El seu origen cal atribuir-lo a l'habilitat de sir William Crookes per a l'obtenció d'alts buits i al desenvolupament, en conseqüència, d'efectes radiants en els seus tubs. Aleshores, l'any 1879, se'n proclamà —per a ells i per a la matèria en el

* *Science*, 26 de juny de 1903.

** *Proceedings of the Chemical Society*, 2 de març de 1888.

*** *Times*, 30 de març de 1888.

«quart estat»— una importància universal; la revifada dels somnis dels antics s'expandí fins a convertir-los en una mena de protil visionari. Philipp Leonard va aconseguir el següent avenç tot fent passar, el 1894, aquesta matèria a través d'una finestra d'alumini i observant-ne el comportament sobre la matèria ordinària. Dos anys més tard entraren en escena els raigs de Röntgen; i abans no acabés el 1896, Becquerel, precipitant-se pel camí de les novetats, es topà amb la descoberta cabdal de la radioactivitat.

N'ha seguit una revisió d'idees. Algunes suposicions venerables han hagut de ser descartades, s'ha comprovat que afirmacions que anomenàvem *lleis* necessiten qualificació, i el vell sistema de la física ha quedat, en conseqüència, desajustat, de manera que caldrà dedicar molt de temps i paciència a l'ajustament del nou i millorat sistema destinat a reemplaçar-lo. El fet principal i indiscutible de la situació actual és que s'ha descobert un cert nombre de modes d'energia fins ara insospitats, àmpliament operatius a la natura, i tots són de caràcter «radiant». Viatgen en línia recta amb una velocitat enorme; parteixen d'una font material i produeixen diversos efectes quan arriben a un objectiu material. Ara bé, aquests efectes són molt semblants, encara que els raigs en si siguin radicalment diferents. Els de tipus catòdic són corpusculars; estan formats per un corrent de partícules, cadascuna de les quals, segons el professor J. J. Thomson, té aproximadament una mil·lèsima part de la massa de

l'àtom d'hidrogen.⁶ Altres, els famosos «raigs alfa», són atòmics i es creu que són agrupacions d'heli.⁷ Per últim, la varietat dels raigs Röntgen és ben etèria; estan compostos de vibracions lluminoses a una escala molt reduïda i d'una freqüència proporcionalment molt alta.⁸

El que sembla més remarcable és que aquestes diverses formes d'activitat donen lloc, per mitjans diferents, a gairebé els mateixos resultats. De fet, només es poden distingir mitjançant una observació acurada. Tenen en comú, encara que no en el mateix grau, les capacitats de penetrar la matèria opaca, d'impressionar plaques sensibles i de provocar fluorescència, mentre que, sota l'impacte tant dels raigs catòdics com dels raigs Röntgen i de la llum ultraviolada, les càrregues elèctriques aïllades es perden i s'esvaeixen. Hi ha, però, una clara separació entre els raigs catòdics i els raigs X: la sensibilitat dels primers i la indiferència dels segons a la influència magnètica. Només així, pel que sembla, la matèria electrificada es pot distingir del que anomenem *èter*. Un imant actua únicament sobre cossos que porten una càrrega elèctrica, de manera que, si es poguessin obtenir corpuscles voladors en condició neutra, desapareixeria l'única distinció tangible entre els diversos tipus de raigs. Ara bé, això és, evidentment, impracticable; de fet, els físics avançats eliminen el substrat material del corpuscle i atribueixen els seus atributs a l'àtom d'electricitat associat. En qualsevol cas, és innegable que les relacions elèctriques de la matèria es tornen més

íntimes a mesura que la nostra anàlisi de la seva constitució es fa més aprofundida. Èter, electricitat, matèria: tot sembla confondre's en el límit i les seves diferències escapen a qualsevol mena de definició. De manera semblant, la vida animal i la vegetal semblen barrejar-se en els seus estadis inicials i es bifurquen amb l'evolució cap a una perfecció superior.

Les diverses branques de la natura inorgànica també poden provenir d'un tronc comú. Els nostres poders de discriminació fallen a l'hora de separar-les quan les seguim cap avall; però això potser es deu a la insuficiència dels principis rectors de què disposem. Cal una síntesi més àmplia per harmonitzar la multitud de fets que actualment es troben agrupats de manera incongruent, o abandonats en un aïllament desconcertant. L'assoliment d'aquesta síntesi es fa cada cop més difícil pel creixement constant de l'especialització; any rere any s'acumulen detalls i la càrrega de mantenir-los sota control mental esdevé cada vegada més feixuga, i tanmateix, allò que *pot ser* conegut *ha de ser* conegut, en la seva essència, com a pas previ per estendre el regnat de la llei reconeguda en la natura.

Tard o d'hora, però, podrem aprofitar al màxim la riquesa de les noves experiències adquirides recentment. Ara per ara, només podem comprendre de manera provisional el seu abast immens. És prou evident que té una incidència profunda sobre el venerable problema de la gènesi de les coses visibles. Hem pogut netejar les qüestions de què és la

matèria i de com ha arribat a ser d'algunes de les teranyines metafísiques que les embolcallaven *ab antiquo*, i ara reclamen insistentment un tractament definit mitjançant mètodes exactes. En efecte, seria il·lusori aspirar a arribar al començament absolut, o a comprendre'l fins i tot si hi arribéssim. Per citar les paraules de Clerk Maxwell: «La ciència és incompetent per raonar sobre la creació de la matèria a partir del no-res. Hem arribat al límit extrem de les nostres facultats de pensament en admetre que, com que la matèria no pot ser eterna i autoexistent, ha d'haver estat creada».* El descobriment que els àtoms es desintegren en corpuscles no ens acosta, doncs, al cor del misteri; però és d'allò més suggeridor pel que fa als processos secundaris.

El coneixement de la matèria ultraatòmica, iniciat dins els estrets límits dels tubs de Crookes, ha avançat ràpidament des que la radiologia va ocupar el seu lloc entre les ciències. Perquè, des del moment en què Becquerel va veure per primera vegada una placa enfosquida pels projectils fotogènics de l'urani, i *madame* Curie va extreure radi de les deixalles de les mines de Joachimsthal, les proves han convergit de manera constant cap a la conclusió que els àtoms químics no sols són divisibles, sinó que la seva desintegració es produeix espontàniament, de manera irresistible, en el foc, l'aire, la terra i l'aigua, com a part de l'economia regular de la natura.

* *Encyclopædia Britannica*, article «Atom».

Per explicar-ho amb més detall: els cossos radioactius estan compostos —segons la hipòtesi plausible de Rutherford— per àtoms en equilibri inestable. Els canvis graduals inherents a les seves pròpies activitats internes són suficients per provocar-ne la disrupció. El seu caràcter explosiu està, òbviament, relacionat amb la seva grandària desmesurada, ja que l'urani, el tori i el radi —les tres substàncies més destacades per la seva radioactivitat— posseeixen els pesos atòmics més alts coneguts per la química. Així, l'equilibri precari de cadascun d'aquests sistemes complexos, tot i que infinitament petits, s'enderroca de tant en tant independentment de les condicions externes o l'entorn, i les seves parts constituents són projectades cap enfora amb el desplegament d'una quantitat d'energia gairebé increïble. Els seus productes inclouen raigs catòdics: matèria en el quart estat, una matèria mil vegades més fina que l'hidrogen, és expulsada en torrents dels àtoms de radi desintegrats; a més, els raigs emesos són equivalents a corrents d'electricitat negativa. Cada corpuscle porta amb ell un electró, o bé és ell mateix un electró, ja que les dues interpretacions són possibles. En tots dos casos, ens trobem davant de matèria aparentment en la seva forma última, i cap a aquesta forma tendeixen a reduir-se els cossos ordinaris i substancials. Podem qualificar els electrons, amb justícia, d'ubics; es troben en les flames, a prop de totes les masses molt calentes, allà on la llum ultraviolada incideix sobre

una superfície metàl·lica;* són generats lliurement pels raigs Röntgen i els raigs catòdics, i són els agents de la transmissió elèctrica en els conductors.

A tot arreu de l'univers, els àtoms es troben en procés de degradació en corpuscles. Però no disposem de cap informació sobre el lloc o el mode de la seva reconstrucció. El desgast i la desintegració són evidents, però els processos de recomposició romanen en la foscor. De fet, sir William Crookes preveu la submersió completa, en un moment indefinidament llunyà, de la substància material en el protil, la boira informe del caos. Suposa una identitat entre l'estat passat i el futur, però deixa el present sense explicació. La desintegració de la matèria, en realitat, no en fa més comprensible el seu procés de construcció. El desgast és d'un ordre diferent del de la seva formació: és una despesa d'una reserva de força, que no requereix cap esforç i s'acompleix per si mateix. Ara bé, crear la reserva que permet aquesta despesa demana previsió i un esforç deliberat; implica l'aplicació conscient d'un poder.

Cada àtom és un magatzem d'energia, que representa la força originalment aplicada per reduir uns quants milers d'electrons lliures a la submissió d'un sistema que funciona harmònicament; la seva desintegració va acompanyada de la dissipació de l'energia que s'hi ha acumulat prèviament. El fet que els sistemes atòmics no estiguin fets per a una durada indefinida és una de les descobertes més

* Fleming, *Proceedings Royal Institution*, vol. XVII, pàg. 169.

sorprenents de la ciència moderna. Tanmateix, el secret de la seva construcció original és impenetrable. Que estiguin compostos de protil —que els seus components agrupats siguin corpuscles en moviment sota un fort control mecànic— és més que probable. La llei d'ordre suggerida per les anomenades relacions «periòdiques» dels elements químics mostra que la seva conjunció no va ser fortuïta de cap manera. Però més enllà d'aquest punt no hi ha cap base ferma per a un pensament clar. Tampoc no sabem si el procés de construcció de la matèria a partir del protil està actualment en curs, o si va ser completat d'una vegada per totes en la foscor dels temps primordials i ara només en queda la decadència definitiva. Tampoc és probable que arribem mai a capturar i reconèixer un àtom completament nou, recentment encunyat per a la circulació còsmica.

10

Forces universals

Trobem igualment impossible concebre la matèria sense força, com la força sense matèria. Els dos modes d'acció, o de ser, són inseparables. Tanmateix, les nostres ments els distingeixen amb claredat i confereixen un aspecte dual al món. Els fenòmens no són simples manifestacions d'energia desencarnada, si és que tal cosa podria ser; tenen una base substancial que, tanmateix, eludeix la comprensió i sembla que s'esvaeix en el no-res si intentem buidar-la del seu contingut immaterial; tampoc aquests fenòmens treuen l'energia del buit. Les forces i els cossos que animen només són cognoscibles en combinació i existeixen, per a la nostra comprensió, només amb la condició de dependència mútua. Tot el que podem fer per discriminar-los és fixar la nostra atenció predominantment en un o altre costat de les coses, i així facilitar el pensament dibuixant línies ideals de demarcació.

Així com existeixen moltes formes de matèria — totes sorgides, segons som portats a creure, d'una

substància primordial i indiferenciada—, hi ha també diverses menes de força, reduïbles, potser sense excepció, a un principi universal. L' correlació, en efecte, ha estat ja demostrada en gran mesura: la calor, la llum, l'electricitat i l'energia cinètica es consideren equivalents i intercanviables; però hi ha certes activitats que resisteixen tota assimilació i semblen originar-se sota condicions diferents de les altres. Les forces es manifesten principalment per mitjà d'efectes d'atracció i de repulsió, que varien segons la seva naturalesa i segons les modificacions de les circumstàncies que les acompanyen. Les minúscules partícules de la matèria, per exemple, s'adhereixen les unes a les altres, s'aferren amb tenacitat; però cap pressió és suficient per dur-les a un contacte veritable; arribat un cert punt de proximitat mútua, manifesten un poder invencible de resistència contra qualsevol nova intromissió dins llurs respectius dominis moleculars. És, precisament, aquesta facultat la que confereix a la matèria la seva propietat distintiva de duresa: es fa tangible als sentits per la seva mateixa recança a la constricció.

Ni el mode d'operació ni la naturalesa de les forces per les quals les molècules s'organitzen en masses ens són coneguts; alhora, el poder que actua sobre aquestes masses organitzades, regint amb la seva acció el mecanisme de l'univers, és igualment desconcertant per a la nostra intel·ligència. L'admiració que en mereixen els resultats s'ha esmussat per l'hàbit; si se'ns oferissin com a novetats, els

jutjaríem com un escarni de la raó. Les relacions de la gravetat són d'una senzillesa extrema, i justament per això, d'una perplexitat suprema. Obeeixen una sola llei immutable, la mateixa pertot i sota totes les varietats de condicions que l'experiència o l'observació precisa poden abastar. Aquesta llei regeix amb imparcialitat tota mena i qualitat de matèria, sense atendre els seus estats ni les seves combinacions, ignorant-ne la subjecció a influències químiques, tèrmiques, magnètiques o elèctriques. La gravetat no sols és indiferent: és inevitable i inexorable. Cap resistència no pot oposar-se al seu domini; cap vel no pot servir d'empara contra la seva insinuació; s'estén igualment en totes direccions, debilitant-se, com el moviment d'una ona, en proporció estricta a la seva difusió des d'un centre, sobre superfícies esfèriques successives. Però el més singular en aquesta força és la seva aparent indiferència envers el temps. L'atracció gravitatòria sembla virtualment instantània; la seva transmissió —si és que realment es transmet— s'efectua milions de vegades més ràpidament que la llum; i les proves més fines, fins ara, no han sabut revelar-hi cap indicatiu de retard. Aquest es faria visible en minúscules discrepàncies entre els efectes pertorbadors calculats i els observats en el firmament.¹

Si l'acció de la gravetat es propagués amb una velocitat finita, hauria de diferir per als cossos que mantenen una distància invariable del seu origen i per als que s'hi acosten o s'allunyen. El seu moviment modificaria, necessàriament, la llei de

l'atracció.* Tanmateix, fins ara, ha estat impossible descobrir la més mínima desviació de la senzilla norma dels quadrats inversos. D'altra banda, la facultat penetrant d'aquesta força singular sembla absoluta, il·limitada. L'experiència quotidiana ens ensenya que no podem disminuir el pes d'un objecte interposant cap mena de pantalla entre ell i la terra; i cap refinament en els experiments ha estat capaç d'alterar aquest resultat. Que sigui així és una fortuna per a l'harmonia del món; podem entreveure, tan sols, el desordre tumultuós que s'esdevindria si un globus errant pogués interceptar l'atracció —com intercepta la llum— d'una massa central que en regeix els moviments. En l'admirable ordre universal, tan meravellosament ajustat, els eclipsis gravitatoris queden exclosos: ni el cos més dens no projecta la més lleu ombra de gravetat.

La naturalesa d'una força tan singularment condicionada gairebé defuig tota concepció; tanmateix, no han mancat els intents de penetrar el misteri que l'envolta. El professor Osborne Reynolds, en la Conferència Rede de 1902, afirmà haver arribat a «una explicació completa, quantitativa i purament mecànica de la causa de la gravitació», fonamentada en la «dilatància» d'un medi granular en un apilament estret. El seu model mecànic de l'univers, més que no pas per la solidesa de la seva doctrina, serà probablement recordat com una lliçó sobre la «inversió de les idees»: com, amb destresa i

* Lorentz, *Proceedings Amsterdam Academy*, 1900, pàg. 565.

enginy, hom pot obtenir un resultat aparentment concordant dels fenòmens partint d'hipòtesis antagòniques. Segons aquest autor, la matèria equivaldria a una deficiència de massa: els espais on els seus grans còsmics són escassos —perquè llur disposició és desordenada— són impel·lits els uns envers els altres per la pressió del medi circumdant, on aquells grans es troben més densament reunits, i per tant són presents en major nombre. Així, les forces actives de la natura dependrien de la compressió, per part del medi més dens, dels espais interposats de consistència més subtil: això que nosaltres anomenem *matèria*. La teoria és difícil d'acceptar, si no impossible; no pas perquè impliqui l'enderrocament de conceptes arrelats potser més en l'hàbit del pensament que no pas en la veritat absoluta, sinó pels seus postulats sorprenents i la vaguetat que els acompanyen. Per ésser vàlida, hauria d'ésser completa; i el cert és que són massa visibles els buits que interrompen l'immens territori que pretén cobrir amb un èxit sorprenent però només parcial.²

El *multa renascentur* del poeta es compleix tant en les revolucions del pensament com en les de la parla. Els vols de minúscules partícules materials han servit sovint la causa dels teòrics, i en més d'un sentit; amb la mateixa freqüència han estat relegats a un oblit desdenyós, però heus aquí que tornen a gaudir de favor. George-Louis Le Sage, de Ginebra, consagrà seixanta-tres dels setanta-nou anys de la seva vida —que finà l'any 1803— a elaborar una

explicació mecànica de la gravetat, exposada per primera vegada a les *Transactions* de l'Acadèmia de Ciències de Berlín de 1782, i ampliada després en el seu *Traité de Physique Mécanique*, publicat per Pierre Prévost el 1818.* L'explicació que proposava de les atraccions entre masses consistia en els suposats i incessants impactes de «corpuscles ultramundans», que, corrent pertot en nombre incalculable i amb velocitats fabuloses, provenien d'enlloc i així forçaven la mútua aproximació de les masses de matèria visible. Aquesta teoria implicava l'existència d'un efecte d'ombra infinitesimal, produït per una lleugera desigualtat en la intensitat del bombardeig entre les cares protegides i les no protegides dels cossos exposats. Aquesta desigualtat era, en realitat, tinguda per la *causa causans* de la gravetat. Ara bé, la seva producció topava amb una dificultat: calia suposar en tota mena de matèria un grau, encara que mínim, d'opacitat, mentre que les observacions més fines proclamen la perfecta transparència gravitatòria dels cossos. Lesage, per tant, reduí al mínim els entrebancs que podien partir les seves partícules: potser una de cada deu mil seria, en el cas més extrem, interceptada pel globus terrestre.** Tanmateix, fins i tot aquesta minoria insignificant bastaria, per la cessió del seu impuls als

* Sir W. Thomson, *Philosophical Magazine*, vol. XLV, sèrie 4a, 1873. En el text s'han aprofitat moltes idees d'aquest article valuós.

** Sir W. Thomson (lord Kelvin), *loc. cit.*, pàg. 323.

cossos que les aturaven, a conferir-los aquella propietat que anomenem gravetat.

Clerk Maxwell oposà a la teoria l'objecció que la pèrdua d'energia cinètica per part dels corpuscles hauria de transformar-se, si es convertís en calor, en una temperatura capaç de tornar incandescents tots els cossos sotmesos a la gravetat. Per la seva banda, el professor J. J. Thomson sosté que aquesta energia corpuscular transferida podria, en lloc de reaparèixer en forma tèrmica, convertir-se en una espècie de radiació d'altíssima penetració, capaç d'escapar-se imperceptiblement cap a l'espai circumdant.* «Un senzill càlcul», afegeix, «mostra que la quantitat d'energia cinètica transformada, en cada segon i en cada gram del cos gravitant, hauria de ser immensament superior a la que, en el mateix temps, desprèn un gram de radi». Aquesta conseqüència de la teoria de Lesage deixa, literalment, sense alè: al costat d'això, les faules del Talmud semblen fàcils de creure. Tanmateix, lord Kelvin declarà, ja l'any 1873, que la hipòtesi de Lesage era, en el sentit expositiu, més completa —i no pas més temerària en les seves suposicions— que la teoria cinètica dels gasos.**

El seu postulat fonamental, si més no, ha trobat una verificació curiosa en el curs de les recerques recents sobre els misteris de la física. Existeixen, efectivament, entitats que, en certa mesura,

* *Electricity and Matter*, pàg. 159.

** *Loc. cit.*, pàg. 331

corresponen als *corpuscles ultramundans* del filòsof ginebrí. Els electrons són contínuament expulsats dels cossos, arreu de l'univers; brollen sota tota mena de condicions i en nombre il·limitat. Potser l'espai n'és ple, i cap objecte material no pot escapar de les seves incessant col·lisions, que ja es comencen a tenir en compte en moltes especulacions cosmològiques i certament no es poden negligir en l'esforç per resoldre aquell problema còsmic que, tot i semblar el més evident a una mirada superficial, és el més intricadament profund a la consideració reflexiva. Ara bé, hi ha una objecció fatal a tota teoria electrònica de la gravetat. L'agent invocat viatja massa lentament per servir el propòsit exigit. La velocitat de la llum —hi ha bones raons per creure-ho— imposa un límit que la dels electrons no pot superar ni tan sols assolir; i tanmateix, aquesta velocitat és incomparablement inferior a la de la transmissió gravitatòria.

Tisserand estimà en sis milions de vegades la velocitat de la llum la rapidesa mínima amb què l'atracció del Sol hauria de propagar-se si hom vol explicar la manca total, en les observacions planetàries, d'efectes corresponents a una desigualtat temporal, xifra que pot ésser tinguda per autèntica.* Una discrepància tan colossal exclou qualsevol mena de justificació mecànica basada en col·lisions per explicar l'atracció mútua de les masses pesants. Els corpuscles de Lesage romanen, doncs,

* *Traité de Mécanique Céleste*, tom IV, pàg. 495.

ultramundans; llur identificació amb els àtoms o subàtoms coneguts sembla impossible, car cap dels productes de la desintegració iònica no posseeix les qualitats que forçosament caldria atribuir-los.³

Ens veiem, doncs, conduïts inevitablement al dissolvent dels misteris, al banc de la insolvència especulativa: l'èter, tan útil per a tot. Les radiacions etèries exerceixen un poder impulsor; la pressió de la llum ha obtingut un lloc reconegut entre les forces còsmiques; i tot sistema vibratori del tipus lluminós participa, sens dubte, de la facultat per la qual la llum empeny les partícules minúscules al llarg de les línies de la seva propagació. El professor J. J. Thomson considerà, en conseqüència, que, si no fos per la insuficiència de la seva velocitat, «els raigs Röntgen molt penetrants»⁴ podrien substituir sense problema els corrents corpusculars com a causa de la gravetat.* Aquests raigs serien, en certa mesura, absorbits per les masses que trobessin al seu pas, a les quals transmetrien una quantitat de moviment proporcional. Dos cossos que es fessin ombra mútua, en tals circumstàncies, serien atrets l'un vers l'altre amb una força que variaria segons la llei de l'invers del quadrat de la distància; i si, a més, absorbissin els raigs incidents exactament en proporció a llur densitat —com l'observació mostra que és, si fa no fa, el cas—, l'atracció creixeria en la mateixa raó que el producte de les seves masses. Però els raigs Röntgen viatgen amb la mateixa

* *Electricity and Matter*, pàg. 160.

velocitat que la llum; en realitat, són llum ultra-invisible, i per això cal considerar-los, malauradament, incapaços d'explicar una influència transmesa, com a mínim, sis milions de vegades més de pressa.

Això fou plenament admès pel doctor H. A. Lorentz, qui, fa cinc anys, sotmeté la hipòtesi vibratòria de la gravetat al pes del càlcul més rigorós, i la trobà insuficient.* Les seves equacions oferiren un resultat inesperat: si hom n'acceptava els postulats, les atraccions conegudes entre els cossos massius només podrien subsistir al preu d'un malbaratament incessant d'energia electromagnètica. Però això és, naturalment, inadmissible. La teoria, que comporta una conseqüència tal, queda per si mateixa condemnada, a més, és clar, de l'absoluta insuficiència en la velocitat de propagació que ofereix.

Havent estat les hipòtesis de col·lisions —tant si invoquen corpuscles com raigs— desacreditades definitivament, el doctor Lorentz retornà a una especulació mig oblidada de Mosotti que, tot i tenir seixanta anys, li semblà susceptible d'adaptació a les exigències modernes. Era d'una naturalesa elèctrica, i, en la forma nova que li donà, suposava que l'acció gravitatòria depenia de les tensions de l'èter provocades pels efectes pertorbadors dels ions positius i negatius que constitueixen la matèria ordinària. Aquests «estats» del medi són essencialment

* *Proceedings Amsterdam Academy of Sciences*, 1900, pàg. 559.

diferents; no poden neutralitzar-se mútuament i la llei familiar de l'atracció en representaria l'efecte resultant. Són moltes les coses que cal admetre perquè això s'esdevingui; tanmateix, la hipòtesi pot reclamar una prerrogativa singular. Tot i que les pertorbacions que invoca es propaguen a través de l'èter amb una velocitat que no ultrapassa la de la llum, sembla, segons la investigació del doctor Lorentz, que —a causa de certes modificacions en les propietats del medi produïdes per la matèria en moviment— les pertorbacions planetàries que traïrien un retard en la transmissió gravitatòria serien tan minses que escaparien a qualsevol mena detecció. Pel que fa a aquest punt crucial, el físic neerlandès ha encertat una felicitat d'explicació del tot original, i, per dir-ho així, inesperada.⁵

Una «teoria ondulatòria» de la gravetat, més pressentida que no pas afirmada pel senyor Whittaker l'any 1902,^{*} donà certes esperances que l'ideal suprem de la ciència —la completa unificació de les forces de la natura— fos, finalment, al nostre abast. Basada en una recerca matemàtica colpidora, presentava l'atracció entre les masses com la integració, per dir-ho així, d'innombrables pertorbacions ondulatòries propagades amb una velocitat no estrictament definible, però potser immensament superior a la de la gravetat. No s'hi suggeria res sobre el mode o la causa primera d'aquesta agitació; tanmateix, ja semblava prou revelar que el medi que

^{*} *Monthly Notices*, vol. LXII, pàg. 619; vol. LXIII, pàg. 258.

coneixem en l'espai podia ésser capaç de transmetre l'atracció gravitatòria. Malauradament, però, el fonament físic d'aquesta associació tan reconfortant es revela feble, o fins i tot fals; el molí matemàtic treballa magníficament, però el gra que s'hi aboca és de qualitat dubtosa. En despullar el resultat del senyor Whittaker de la seva forma purament analítica, el doctor Johnstone Stoney mostrà que dins les seves equacions s'hi amagava una hipòtesi d'una improbabilitat extrema i conclogué que no es podia prendre seriosament com a correspondència amb la realitat.*

No sembla, doncs, que resti cap alternativa sinó acceptar, *ad interim*, la visió electrodinàmica de la naturalesa de la gravetat. Si no és vertadera, almenys no s'imposa com a falsedat manifesta. Per la seva mateixa subtilesa, s'esmuny de la refutació directa, i el mètode de l'exclusió, en desbancar totes les doctrines rivals, l'ha deixada, ara per ara, en possessió gairebé absoluta del camp de batalla.

En la història de la ciència recent, no hi ha res més curiós que el creixement continu i irresistible del pes dels fenòmens elèctrics. Tots els altres semblen fondre's en ells; les dades més diverses de l'experiència reclamen d'ésser traduïdes a una terminologia elèctrica. Certament, no es fan més intel·ligibles per aquest procés, però la confusió que neix de la multiplicitat de perspectives queda, com a mínim, abolida. Així, en darrer terme descobrim que

* *Monthly Notices*, vol. LXIII, pàg. 424.

les forces elèctriques —si és lícit anomenar-les així— governen el món. Què són en llur essència? No ho sabem; i el màxim que hom pot esperar raonablement és arribar a una noció clara d'uns modes d'acció reduïts a tensions antagòniques, entre les quals es manté el joc i contrajoc de l'univers. Fins aquest grau podem comprendre com l'electricitat mou la maquinària etèria. És una força fortament dualista. I com més ens acostem als fonaments de la natura, més viva i més tallant es revela la diferenciació entre càrregues positives i negatives.

Tanmateix, alguns investigadors sostenen que l'electricitat negativa és l'única substancial, i que el seu complement no seria sinó la matèria ordinària desposseïda d'alguna part dels seus corpuscles negatius. És, en el fons, la resurrecció de la teoria del «fluid únic» de Franklin, si bé amb la substitució del negatiu pel positiu com a principi actiu.* Ara bé, tot seguit ens encarem amb el dubte de si la «matèria ordinària» pot dir-se existent per ella mateixa. Si és així, la forma d'aquesta existència esdevé cada cop més difícil de copsar, ja que l'associació de massa i càrrega avança fins ocupar el primer terme del pensament.** A més, una càrrega és, o engendra, un «estat de l'èter» (per emprar, sense gaire convenció, la fórmula habitual); i, essent l'èter susceptible de distorsions oposades, els seus trastorns sota l'acció de càrregues de signe contrari són, alhora, oposats i semblants, si bé no necessàriament

* J. J. Thomson, *Electricity and Matter*, pàg. 88.

** *Ibid.*, pàg. 47.

equivalents. D'aquí que la teoria dels «dos fluids» obtingui una recomanació *prima facie* com la interpretació més simple, tot i que crua, dels fenòmens elèctrics. Aquests són ubics; i mancats com estem d'òrgans sensorials per percebre'ls directament, tanmateix n'entreveiem la presència per tot arreu. Si mai és possible una unificació de les forces de la natura, sens dubte la fórmula unificadora haurà de derivar-se'n. L'electricitat és el *mot de l'énigme*; i, tot i així, és ella mateixa el més impenetrable dels enigmes.

L'èter inevitable

L'èter és el postulat fonamental de la física. La seva existència, gens evident, ens és suggerida de totes les maneres imaginables. Les propietats que li cal atribuir són d'una concepció feixuga, sens dubte, i ens cal recórrer a analogies forçades per tal de figurar-nos, ni que sigui d'una manera imperfecta i boirosa, la manera com compleix unes funcions que, d'alguna forma, sabem que du a terme. Però, al capdavant, tot resta immers en la foscor: quan els nostres pensaments s'endinsen prou en l'anàlisi, topen sempre amb allò que defuig tota comprensió.¹

L'èter original era la «quinta essència» dels antics: una mena de matèria vagament imaginada com a prou pura i incorruptible per servir de matèria primera dels cossos celestes, mentre que els quatre elements comuns restaven reservats, de manera exclusiva, als afers sublunars. Tanmateix, aquesta distinció acabà per esfondrar-se. Totes les esferes, des del *primum mobile* fins a la mateixa superfície de la nostra terra, són travessats per un

agent subtil, la transmissió del qual reclama una maquinària més fina que no pas la que es pot concebre a partir de la matèria ordinària, tan basta i quotidiana. Els fenòmens de la llum, quan arribaren a ésser estudiats amb atenció, exigiren imperiosament un medi difós de manera universal, esquiui als sentits i accessible només per les vies del raonament. Així fou com Hooke i Newton conduïren l'èter, per la porta de banya dels somnis,² a una regió de realitat, on es convertí en matèria de legítima especulació per als homes de ciència. Tot i així, la tasca de precisar-ne les qualitats d'una manera definitiva no fou presa seriosament fins a començaments del segle XIX, quan l'establiment de la teoria ondulatòria de la llum proporcionà un puntal tangible per a les idees relatives al medi de propagació i convertí l'èter en un element del pensament.

En demanem un gran esforç, d'aquest element. No ens podem permetre el luxe d'establir un estol d'èters: un sol factòtum ha de satisfer totes les necessitats i sobre ell recauen tasques incompatibles. Ha de fer d'Atles i de Mercuri alhora: és el sostenidor universal i el missatger universal. Qualsevol mena d'influència o forma d'energia que pugui passar d'un món a un altre és tramesa gràcies a ell. Si l'«acció a distància» és inadmissible (com el mateix Newton sostenia), l'atracció de la gravetat ha d'ésser exercida a través d'un medi; i el sentit comú exigeix identificar-lo amb el medi transmissor de la llum, i aquest, al seu torn, amb el medi transmissor de l'electricitat. Una autèntica conformitat amb

aquestes exigències de la raó és garantida no sols pel descobriment de Hertz —que una guspira elèctrica provoca una pertorbació ondulatòria indistingible, llevat de l'escala, de les ones lluminoses—, sinó també per la conclusió, apuntada pel doctor Lorentz, que deformacions de la mateixa essència etèria transmeten els requeriments omnipresents de la gravetat. Així doncs, podem considerar que la unitat del medi ha quedat definitivament establerta; ja no cal tenir en compte complexes interaccions d'una diversitat de «fluids». Proveir-ne un de sol amb les capacitats implícites en els efectes que veiem que té és, ben cert, una tasca d'una exigència formidable.³

En la imaginació popular, l'èter de l'espai sol veure's com una mena d'aire més fi. És una idea que no podria ser més enganyosa. L'elasticitat amb què l'aire transmet les ones longitudinals del so és del tot diferent de l'elasticitat amb què l'èter propaga les ones transversals de la llum. L'aire cedeix sota la pressió; d'aquesta manera, qualsevol pertorbació hi engendra condensacions ondulatòries, produïdes per les oscil·lacions de les molècules gasoses al llarg de la línia per on viatja la commoció audible. L'èter, en canvi, se'ns presenta com absolutament incompressible; no transmet cap vibració dirigida en el sentit de la seva extensió. I aquest fet és d'allò més pertorbador. No tenim cap experiència d'una mena de matèria absolutament rígida a la pressió i, alhora, flexible sota esforços de distorsió, tot i que amb una resistència extrema.

Una substància gelatinosa i sòlida és el que més s'acosta —encara que d'una manera ben llunyana— a satisfer les condicions indispensables; i fou per això que un èter sòlid va estar en voga durant una bona època, fins ben passada ja la meitat del segle XIX. Però aquest sòlid posseïa unes qualitats ben peculiars; per exemple, la de no oposar cap resistència al moviment. En el fons, es tractava d'un expedient provisional, una ficció científica que es podia admetre mentre no fos reemplaçada per alguna cosa menys allunyada dels fets fonamentals. Finalment, amb l'adveniment de la teoria electromagnètica de la llum i la modificació de conceptes que aquesta implicà, l'èter sòlid es retirà rere el teló. Les seves propietats, per bé que incoherents i poc convincents, no s'havien escollit arbitràriament, sinó que eren imposades per les necessitats de la situació; i, quan aquestes mutaren, els especuladors de la natura hagueren de recórrer, com és natural, a concepcions noves.

La més versemblant de les hipòtesis és la d'un medi que no és ni sòlid ni líquid ni gasós en el sentit ordinari, sinó que es troba en l'estat ideal d'un «fluid perfecte». Fou a partir d'un èter així que lord Kelvin, amb un enginy exquisit, construí els seus «àtoms de vòrtexs», els quals «tingueren llur dia i deixaren d'ésser».⁴ Altres idees, avui, gaudeixen de preferència. «La tendència present de la ciència física», escrivia el malaguanyat senyor Preston el

1890,* «és considerar tots els fenòmens de la Natura, i fins i tot la matèria mateixa, com a manifestacions de l'energia emmagatzemada en l'èter». Com més endinsem la mirada en les coses que ens envolten, amb més força se'ns imposa la convicció que allò que anomenem *èter*, *electricitat* i *matèria* no són sinó formes diverses d'una mateixa substància primordial.

En els últims anys s'han elaborat dos esquemes força exhaustius de física molecular, fonamentats en aquest pensament unificador, un gràcies al doctor Larmor, l'altre pel professor Osborne Reynolds. No tenen res en comú més enllà de l'amplitud de la seva síntesi; en tots els aspectes són radicalment diferents, si no és en el fet de considerar l'èter intangible com l'única realitat material. El doctor Larmor, però, no es mostra del tot confiat en la seva capacitat explicativa; no presenta cap teoria feta i acabada de l'univers i tampoc ignora els misteris que l'assetgen en l'esforç de racionalitzar-los. Té ben present les dificultats que envolten l'atribució a l'èter del tipus d'elasticitat que se li reconeix. Només pot conjecturar que prové de modes particulars de moviment, d'una mena d'«estabilitat cinètica» que sorgeix d'un estat dinàmic especial. Així, es pot imaginar el medi com impregnat per «una estructura de filaments vorticials embullats o entrellaçats, que podrien resistir la deformació formant una configuració estable».** De totes maneres, els

* *Theory of Light*, 2a ed., pàg. 28.

** *Encyclopædia Britannica*, vol. XXV, pàg. 106.

detalls de qualsevol mecanisme d'aquesta mena són, òbviament, massa intricats per ser destriats amb facilitat; el que ens pertoca assenyalar aquí és que cap fluid simple i mancat d'estructura no pot servir per mantenir les comunicacions còsmiques.

Reduïda als seus termes més simples, la concepció que el doctor Larmor té de l'èter és la d'un «medi rotacionalment elàstic».* Dit d'una altra manera, un medi que presenta resistència quan se'l fa girar entorn d'un eix. Les forces que hi actuen tothora són de naturalesa giratòria; i d'aquí sorgeixen tensions, que es revelen a la nostra percepció per mitjà de manifestacions elèctriques. En aquesta concepció, doncs, cada «electró» es considera com el nucli d'algun tipus de distorsió o desplaçament,** i arrossega amb ell, en el seu moviment, un camp de força. A partir d'aquestes «càrregues puntuals» es constitueixen, de diverses maneres, els àtoms materials. Es tracta, doncs, d'«estructures en l'èter» envoltades per «atmosferes de tensió etèria», i no pas —tal com se suposava abans— de «petits cossos que exerceixen una acció directa a distància sobre altres àtoms d'acord amb lleis de força extrínseques»*** És evident que la nova concepció duu a plantejar-se qüestions d'allò més subtils sobre la naturalesa de la «transmissió dinàmica»:† en què consisteix en el fons la propagació de l'energia

* *Report of the British Association*, 1900, pàg. 626.

** *Æther and Matter*, pàg. 26.

*** *Nature*, vol. XLIII, pàg. 453.

† Larmor, *Report of the British Association*, 1900, pàg. 625.

i per quin mecanisme s'efectua; qüestions que, per ara, resten sense resposta. L'electricitat és, segons la teoria que intentem esbossar, positiva o negativa d'acord amb la direcció de la tensió originària. Així, un electró positiu podria imaginar-se com una nebulosa espiral de tipus dextrògir; un de negatiu, com una espiral levògira, o a l'inrevés. La comparança és tal vegada un xic fantasiosa, però ajuda a fer-se una imatge mental d'objectes que, tan insignificants i elusius com semblen, poden ésser l'inici i el final d'aquest món desconcertant.

En tot cas, les forces mitjançant les quals el món continua funcionant són evocades *ad libitum* pels pioners de la recerca moderna a partir del conjunt eteri. Les realitats de la matèria són potencialitats en l'èter. «Tota la massa», segons l'opinió del professor J. J. Thomson, «és massa de l'èter; tot moment, moment de l'èter; i tota energia cinètica, energia cinètica de l'èter».* «Si això és així», afegeix, «la densitat de l'èter ha de ser immensament més gran que la de qualsevol substància coneguda».

Aquest estat és sorprenent, però en tractar assumptes d'aquesta mena hem d'estar preparats per topar amb anomalies. Tal com els fantasmes s'apareixien a Odisseu a l'Hades, arriben primer un a un i després en un eixordador estol que infon respecte. I, tanmateix, malgrat les perplexitats que ocasionen, podem discernir, amb una seguretat d'apre-

* *Electricity and Matter*, pàg. 51.

ciació creixent, la increïble realitat del medi universal. En certa manera, és l'única realitat; perquè allò que és manifest als sentits és subjecte al canvi. Podem concebre que la bastida visible de l'existència material podria esfondrar-se i dissoldre's, com «l'insubstancial teixit d'una visió», en una mena de no-res aparent. Però una substància inaprehensible és, segons les nostres idees limitades, imperible. L'èter és sens dubte seu d'intenses activitats, que molt probablement es troben a l'arrel de tots els processos de la natura. Tot i així, costa imaginar que un medi absolutament uniforme pugui generar accions o reaccions, ha de posseir algun tipus d'heterogeneïtat; i l'heterogeneïtat produïda, segons la concepció del doctor Larmor, per tensions, s'associa, en la teoria del professor Reynolds, a una textura intrínseca.

La «submecànica de l'univers» es fa aquí dependre de l'encaix mutu d'uns grànuls d'una petitesa inefable i idealment rígids. Un desajust dona lloc a la matèria, que es podria definir, per tant, com a «èter desencaixat»; i aquest desajust pot propagar-se indefinidament d'una filera de grànuls a la següent. Aquesta propagació a través de l'èter d'una disposició anòmala de les seves partícules constituents, sense cap transferència de les partícules mateixes, explica els fenòmens de la matèria en moviment. Una existència concreta pertany només a l'èter, format per àtoms primigenis i esfèrics, els diàmetres dels quals mesuren set-centes mil

milionèsimes parts de la longitud d'ona de la llum violeta.* Estan encaixonats estretament els uns amb els altres, però no pas tant que no hi restin camins lliures, la longitud mitjana dels quals equival a quatre-centes mil milionèsimes parts dels seus diàmetres.

Amb aquest moviment relatiu inconcebiblement petit n'hi ha prou per a fer que el medi sigui elàstic; és, de fet, «l'única causa d'elasticitat a l'univers, i, per tant, la causa primera de l'elasticitat de la matèria». El medi així format és deu mil vegades més dens que l'aigua, exerceix una pressió mitjana de 750.000 tones per polzada quadrada i té un coeficient d'elasticitat transversal de 9×10^{24} (en unitats cegesimal), cosa que dona una velocitat de transmissió idèntica a la de la llum per a vibracions del mateix tipus, mentre que les ones longitudinals es propaguen 2,4 vegades més de pressa. Aquest esbós inclou, a més, una explicació plausible de la gravetat i dels efectes elèctrics, de manera que hi ha molts elements que justifiquen la pretensió del seu autor d'haver posat al descobert «l'únic sistema purament mecànic concebible capaç de donar compte de totes les manifestacions físiques de l'univers, tal com les coneixem».

Cal dir que aquest mecanisme manca de força motriu, però és una mancança que l'enginy humà no pot suplir. El seu origen resta amagat en el

* *The Structure of the Universe*, conferència Rede, 10 de juny de 1902, pàg. 14.

misteri primordial de la creació. I, pel que fa als supòsits preliminars necessaris per a la constitució d'un èter atòmic, per més inclinats que estiguem a posar-hi objeccions, potser faríem més assenyadament seguint el consell del doctor Larmor i abstenir-nos d'intentar explicar «el simple grup de relacions que s'han trobat definint l'activitat de l'èter». «Hauríem més aviat de restar satisfets —ens diu— d'haver assolit llur correlació dinàmica exacta, tal com la geometria explora o correlaciona, sense explicar-les, les propietats descriptives i mètriques de l'espai». * Tanmateix, hom no pot evitar de remarcar que les propietats de l'espai en general no es modifiquen per adaptar-se a les necessitats de la demostració, mentre que les del medi eteri varien al lliure arbitri de cosmogonistes rivals. En el futur, quan arribin a establir-se amb més claredat, potser serviran de base a una ciència nova. Ja ara, l'estudi de la física de l'èter suscita un interès i una atenció profunds. I no és possible d'ignorar els indicis, cada vegada més nombrosos, que imposarà matisacions a principis consagrats per l'autoritat i fins ara tinguts per fonamentals.

El gran principi modern de la conservació de l'energia, per exemple, pot requerir alguna mena d'explicació; potser resultarà admissible només amb certes restriccions. El segon baluard de l'edifici científic és encara més profundament soscavat. Car la «teoria dels esforços» de la constitució atòmica

* *Nature*, juny, vol. LXII, pàg. 451.

inclou per força la concepció de distorsions oposades, corresponents a l'electricitat positiva i negativa. I rau ben a prop la inferència que aquestes, en combinar-se, poden neutralitzar-se mútuament. Així, la coalescència d'un electró positiu i un de negatiu hauria de donar lloc a l'esmoreïment de les tensions complementàries que representen;⁵ i se'n seguiria l'anihilació d'un parell dels suposats últims elements de la matèria. L'esdeveniment podria considerar-se l'equivalent estàtic de la destrucció de la llum per interferència. Que fins i tot els pensadors més agosarats en considerin la possibilitat és un fet ple de significació quant a les tendències subversives de la recerca recent.

Ja el maig de 1902, el professor J. A. Fleming assenyalà que, «si l'electró és un centre de tensió en l'èter, aleshores, per a cada electró negatiu n'hi ha d'haver un de positiu. En altres paraules, els electrons han d'existir en parelles d'una mena tal que la seva presència simultània en un mateix punt resultaria en l'anihilació de tots dos». * La conseqüència, així considerada en abstracte, troba una realització concreta —si admetem el suggeriment del senyor Jeans— ** en els processos de la radioactivitat, que possiblement consisteixen «en un increment de l'energia material a càrrec de la destrucció d'una certa quantitat de matèria. No hi hauria, per

* *Proceedings of the Royal Institution*, vol. XVII, pàg. 177.

** *Nature*, vol. LXX, pàg. 101.

consegüent, conservació ni de la massa ni de l'energia material».

No fa pas gaire, a l'albada del segle present, aquestes nocions haurien estat rebutjades com a extravagants i paradoxals; avui dia, no hi ha manera d'evitar-les com una consideració seriosa i respectuosa. La raó científica ha deixat d'indignar-se davant d'hipòtesis sobre la desaparició de la massa i la creació d'energia. La massa i l'energia poden, després de tot, ser intercanviables; i en qualsevol cas, les mantenim menys rígidament separades en les nostres cavil·lacions que no pas solíem fer. Tampoc no podem afirmar amb confiança que subsidències parcials cap al medi circumdant, o emergències d'aquest, siguin per a cap de les dues una impossibilitat absoluta; ben al contrari, l'estructura universal se'ns presenta amb l'aspecte d'una font irisada que s'alça des del reservori d'èter i hi torna a caure.

La ciència del segle xx ens ha dut fins al mateix límit d'aquest oceà misteriós; i és amb un estremiment d'admiració meravellada que ens aturem al seu marge i n'explorem la vasta extensió il·limitada. La glòria dels cels és transitòria, però l'èter, impalpable i invisible, roman de manera inconcebible. Tal com és avui, ja ho era quan fou pronunciat el *fiat lux*; el seu principi ha de ser coetani amb el del temps. El no-res o el tot, segons com se'l consideri, defuig la percepció comuna, tot i que es fa palès a una observació delicada. Les seves qualitats negatives són nombroses i desconcertants: no té cap efecte a l'hora d'impedir el moviment; no sembla

aturar, absorbir ni dispersar la llum; ho penetra tot i pot fins i tot compartir els desplaçaments de la matèria, però el seu moviment (si és que es mou) no té cap efecte sobre la velocitat de la llum.

Tanmateix, si mirem sota la superfície de les coses, trobarem que aquesta quinta essència gairebé fabulosa realitza discretament tota la feina del món. Incorpora les energies de moviment; és, potser en un sentit molt real, el veritable *primum mobile*; les potències de la matèria hi tenen l'arrel; la substància de la matèria hi és latent; les relacions universals es mantenen mitjançant l'èter; les influències còsmiques només poden exercir-se amb la seva ajuda; no sentit, és font de la solidesa; invisible, és el vehicle de la llum; ell mateix no fenomènic, és l'origen indispensable dels fenòmens. En definitiva, una contradicció en els termes que ens assenyala la lliçó perenne que allò que escapa els sentits és sovint més permanent i intensament real que allò que els colpeix.

12

Les formes de les nebuloses

Sir William Herschel fou el primer qui, mitjançant els seus reconeixements celestes, feu practicable la classificació de les nebuloses. Fins que ell no començà a polir miralls a Bath, se'n coneixien ben pocs d'aquests objectes, i encara amb una imperfecció que en feia impossible una distinció efectiva. Qualsevol classificació pressuposa comparació, i qualsevol comparació, una certa varietat d'exemplars que es puguin confrontar, varietat que només va ser possible gràcies a l'escrutini de Herschel. La rapidesa i el poder penetrant de les seves observacions en aquest camp gairebé ultrapassen tota creença. Ell detectava amb criteri; la descoberta i l'enregistrament no el satisfieien, i estava sempre disposat a notar analogies i contrastos, semblances i dissemblances. No podia veure res sense, alhora, posar-ho en ordre; i la llei d'ordre que s'imposava al seu esperit es fonamentava en un principi evolutiu. El contingut dels cels semblava

caure espontàniament, tal com ell el contemplava, en seqüències genètiques; i les nebuloses, en concret, amb una facilitat particular. El criteri adoptat fou el de la condensació progressiva. El desenvolupament havia d'anar manifestament acompanyat de contracció i de llüissor local. Les franges lletoses i difuses representaven les formacions còsmiques en llur estat més rudimentari; i, sota l'acció incessant de la gravetat que n'atreu les partícules, assumien una textura més compacta, formes més definides i una lluentor creixent.

Però l'aspecte de les coses ha canviat, en certa manera, durant els darrers cent anys. Ara cal completar i sotmetre a control el pla regulador, senzill i d'una validesa indiscutible, proposat per Herschel. S'ha adquirit molt coneixement auxiliar d'ençà que fou establert. En intentar estimar l'antiguitat relativa de les nebuloses, ja no depenem només d'un sol conjunt d'indicis. Les conclusions extreïdes de llur inspecció immediata poden, si més no, comparar-se amb l'estudi dels seus espectres i de la seva distribució.

La Via Làctia es podria descriure figuradament com el viver des del qual s'abasteixen els vergers de l'univers. Hom sol assignar, no sense un bon fonament, una condició primitiva a qualsevol classe d'objectes que mostri una marcada tendència a situar-se en el seu pla. I aquest és el cas de les nebuloses gasoses o «verdes». A més, llurs materials semblen trobar-se en un estat altament elemental (sempre que sigui lícit de parlar d'una mena de

matèria més elemental que una altra); llurs espectres no inclouen cap línia deguda a la incandescència metàl·lica, sinó principalment les del nebuli, de l'hidrogen i de l'heli. Aquestes substàncies, inconcebiblement rarificades, constitueixen les vastes formacions irregulars que Herschel col·locà al començament —o a prop del començament— del desenvolupament còsmic. I, fins ara, el resultat de la investigació moderna li ha donat la raó. Però, en canvi, no li ha estat confirmada la descripció que feu de les nebuloses planetàries com a «molt ancianes i encaminades vers un període de canvi o dissolució». Car, malgrat llur forma determinada i llurs límits precisos, no difereixen apreciablement, quant a llur composició, de les nebuloses de la classe irregular, i cal comptar-les, d'alguna manera, com a coetànies d'aquestes.

Hi ha, en conjunt, una concurrència de proves que les nebuloses gasoses es troben en un estadi molt inicial de llur creixement. Són els objectes sideris menys sofisticats; moltes d'elles amb prou feines semblen haver traspassat el llinar de la creació. Ara bé, llurs relacions mútues temporals no són gens òbvies; no és fàcil de disposar-les en cap mena de seqüència racional. Cada una de les grans nebuloses, si més no, presenta trets que li són propis i ocupa una posició que no comparteix amb cap de les seves companyes. El cosmòleg més perspicaç no gosarà afirmar que la nebulosa de la Nau Argo, possem per cas, sigui de més o de menys antiguitat que la d'Orió o la d'Amèrica del Nord. Són maduracions

individuals, simultànies, no pas successives. La línia de desenvolupament que suggereixen llurs relacions mena més aviat vers la formació de cúmuls estel·lars que no pas cap a la creació de diverses espècies nebulars. Així, les Plèiades il·lustren, amb força versemblança, la condició futura de la nebulosa d'Orió: els estels que conté han assolit la preponderància sobre llurs embolcalls boirosos, si bé molts d'ells encara tenen adherides franges esquinçades, destinades, presumiblement, a acabar despreses en el futur.

Les nebuloses planetàries tenen molt més en comú entre elles que no pas les nebuloses irregulars, i la seva menor variabilitat, podria, amb una certa versemblança, estar associada a diferències d'edat relativa. Allò que les singularitza sobretot és el caràcter de l'estel nuclear que, en gairebé tots aquests objectes, sembla actuar com a eix de l'estructura vaporosa que l'envolta. La suposició s'imposa gairebé per ella mateixa: que el conjunt és destinat a nodrir l'estel, que l'estel creix en massa i en brillantor a costa de la nebulosa, i que aquesta està, en darrer terme, predestinada a ser absorbida del tot. Segons aquesta interpretació, les planetàries com la nebulosa de l'Ull de Gat al pol de l'eclíptica (NGC 6543) haurien de ser considerades les més evolucionades, mentre que la planetària de Webb al Cigne (NGC 7027) exemplificaria una condició encara incipient. En la primera, l'estel central és de magnitud 9,6 i clarament estel·lar; en la segona, és

doble i difús,* tal vegada un sistema binari ampli encara en estat embrionari.

Tanmateix, la qüestió resta oberta pel que fa a la veritable naturalesa de la connexió entre les nebuloses planetàries i llurs estels centrals. La teoria del *pabulum* és una conjectura prometedora, però cap dels fets que coneixem no ens obliga necessàriament a acceptar-la.¹ Les idees sobre aquest punt hauran de ser revisades de cap a peus si les traces d'espiralitat, que de tant en tant s'assenyalen en alguns d'aquests objectes peculiars, resulten tenir una rellevància clara. Els *oculi* distintius de la nebulosa del Mussol (NGC 3587), tal com foren mostrats originàriament pel reflector de Parsonstown, consistien en filigranes lluminoses enrotllades entorn de dos estels interiors,** però l'aparença era o bé deguda a una il·lusió o bé ha estat esvaïda pels canvis, ja que la càmera s'ha negat a avalar-la com a autèntica. Sens dubte, la planetària «helicoïdal» del Drac*** és, en essència, una conformació espiral;† i el professor Schaeberle, mitjançant exposicions amb un reflector de tretze polzades i una focal de vint polzades, ha obligat no sols la nebulosa de l'Anell de Lira sinó també la nebulosa de l'Haltera de la Guineu, a traïr el sorprenent secret de llur

* Keeler, *Lick Publications*, vol. III, pàg. 214.

** Rosse, *Transactions Royal Dublin Society*, vol. II, pàg. 93.

*** Detectada per primer cop com a tal per Holden i Schaeberle el 1888, *Monthly Notices*, vol. XLVIII, pàg. 388.

† Deslandres, *Bulletin Astronomique*, febrer de 1900.

estructura espiral.* Ambdues nebuloses ofereixen un espectre de línies brillants, i l'enginy humà amb prou feines pot imaginar com edificar amb materials gasosos construccions amb un caràcter tan arquitectònic. Potser els materials no són enterament gasosos,** o potser veiem (tal com fa temps suggerí el professor Darwin) simples solcs il·luminats provocats pel moviment i que travessen una massa obscura. Però, si realment és així, cal encara formular la qüestió ulterior: quina direcció pren aquest moviment? Són les marees dirigides cap endins o cap enfora?

Les nostres impressions espontànies juguen totes a favor de tendències concentradores. No podem desprendre'ns fàcilment dels nostres prejudicis centrípets; la nostra vida transcorre sota un règim d'atracció central, i tendim, per una inclinació natural, a universalitzar l'experiència. L'esquema herschelià de l'evolució sideral obté, per això mateix, a primer cop d'ull, una acceptació gairebé immediata. Els estels semblen com si no poguessin actuar sinó com a focus de condensació dins les nebuloses; aparentment, la matèria lluminosa que els envolta hauria, amb el pas dels segles, de decantar-se cap a llurs superfícies i fondre's en llur substància. De fet, processos d'aquesta mena pertanyen, llevat que siguin contrarestats per altres modes d'acció, a l'ordre inevitable de la natura; però aquests altres modes poden existir, i és ben

* Astronomical Journal, núm. 539, 547.

** Maunder, Knowledge, vol. XIX, pàg. 39.

probable que existeixin. D'arreu ens arriba la convicció que els cossos còsmics poden expulsar matèria, a més d'atreure-la. Les forces repulsives reclamen reconeixement, i llurs efectes es fan més palpables com més atentament els considerem. Sota certes condicions, arriben a imposar-se sobre la gravetat; i és possible que els estels, com els insectes que es teixeixen un capoll, esmercin llurs energies orgàniques a filar al seu voltant embolcalls tènues i lluminosos, productes d'activitats subtils i incomptables.

L'exemple de la nova de Perseu és ben present per a tothom, però no pretenem, ni de bon tros, resoldre la controvèrsia que suscità. Un dictamen dogmàtic seria poc assenyat quan els elements desconeguts de la qüestió enfosqueixen i excedeixen amb escreix els que coneixem.² Un fonament menys rellescós per al raonament ens l'ofereixen les nebuloses espirals sempre visibles, i gràcies a elles s'han revelat trets carregats d'un significat ben rellevant mitjançant l'art de la fotografia.

Si contemplem el conjunt sencer de les nebuloses celestes, trobem que el tipus espiral hi predomina de manera molt assenyalada. Reuneix el nombre més gran d'exemplars i apareix amb més nitidesa a cada nou perfeccionament del poder observacional dels telescopis. La seva preeminència es dona, sobre tot, entre les nebuloses «blanques», que mostren espectres continus.

Són immensament nombroses. Les nebuloses gasoses es compten per desenes, mentre que les

nebuloses blanques, per desenes de milers. A més, es concentren prop dels pols de la Via Làctia,* mentre que la varietat gasosa s'amuntega més aviat cap al seu pla. Així, les dues branques de la família presenten relacions galàctiques, encara que de caràcter oposat. Ara bé, aquests fets de distribució tenen certa relació amb la qüestió de l'edat relativa; com ja s'ha assenyalat, hi ha un consens d'opinió que els objectes que mostren una preferència marcada per la Via Làctia es troben en un estat més primitiu que aquells que n'estan més allunyats, i aquesta inferència és reforçada pel fet que les nebuloses situades en latituds galàctiques altes brillen amb llum contínua, mentre que les que són a prop de l'equador galàctic ho fan amb línies intenses. Tanmateix, seria arriscat suposar que qualsevol nebulosa individual passi per aquestes etapes successives; la sèrie només quedaria satisfactòriament establerta si poguéssim trobar un cert nombre de casos intermedis, que semblen gairebé inexistents. En el cas de les nebuloses no podem resseguir, com sí que podem en el desenvolupament estel·lar, els matisos imperceptibles del canvi progressiu. En les nebuloses, aquests processos potser es veuen complicats per influències d'una mena diferent de les que dominen en les estrelles; els efectes difusius poden ser

* El doctor Max Wolf situa el punt de concentració nebular a AR 12h 53m, $\delta +61^{\circ} 20'$, mentre que l'assignat al pol galàctic es troba a AR 12h 49m, $\delta +62^{\circ}$. *Königstuhl Publ.*, Bd. I, pàg. 174.

més visibles que els efectes concentradors,* o pot ser que s'estableixi temporalment un equilibri entre tendències antagòniques.³

La conformació espiral és el veritable quid de la cosmogonia nebular. Les condicions de les quals sorgeix només es troben en els cels siderals, però hi són d'allò més prevalents. Encara que allunyades de la nostra experiència, són fonamentals en els dominis de l'espai. Si poguéssim definir-les i comprendre-les, estaríem en una millor posició per determinar l'estatus còsmic de les nebuloses.

La tria resta oberta entre dues teories rivals sobre les espirals nebulars. La primera és la més evident i s'adiu fàcilment amb els principis mecànics admesos. Sir Robert Ball ha adoptat i ha defensat amb enginy aquest punt de vista.

Un conjunt globular de partícules que giren de manera promiscua tendeix, si es deixa a si mateix, a aplanar-se en un disc. I la raó és aquesta: en un sistema d'aquesta mena, el moment angular és invariable, mentre que l'energia disminueix constantment. Per entendre la diferència, només cal considerar que el moment angular és la suma algebraica de tots els productes de massa i moment del conjunt, reduïts o projectats sobre el seu «pla principal», mentre que l'energia és independent de les variades direccions de la velocitat. En conseqüència, les col·lisions no impliquen cap disminució del

* T. J. J. See, «Repulsive Forces in Nature», *Popular Astronomy*, núm. 100, desembre de 1902.

moment angular, sinó que es combinen amb el malbaratament radiatiu per produir una pèrdua constant d'energia. Inevitablement, doncs, el sistema assumirà la forma en què posseeixi el mínim d'energia compatible amb el manteniment del seu moment original; i aquesta és la d'un disc estès en el pla principal. En arribar definitivament a aquesta forma, els moviments retrògrads hauran quedat eliminats i les partícules constituents circularan unànimement en una direcció; sir Robert Ball afegeix que la seva circulació, a causa de la rotació més ràpida de la massa central, és al llarg de camins espirals.* En conseqüència, presentarien la conformació retorçada que s'observa tan habitualment als cels, i fins i tot podrien incloure centres d'atracció subordinats, preparats per madurar i enfortir-se en un seguici complet de planetes. Aquestes són les nebuloses espirals considerades en el seu aspecte mecànic directe. Les nebuloses esfèriques en són els progenitors immediats; els sols, amb o sense seguicis de mons dependents, els seus descendents lineals.

Tanmateix, si consultem alguns registres autogràfics i valorem atentament què ens diuen aquests objectes peculiars sobre ells mateixos, veiem de seguida que les seves línies corbes, lluny de ser establertes per l'atzar, segueixen un pla estrictament definit. Les nebuloses espirals no es formen com les molles dels rellotges pels enrotllaments d'un únic

* *The Earth's Beginnings*, pàg. 243-247.

filferro; sempre tenen dues branques. De les extremitats oposades d'un nucli allargat surten un parell de braços nebulosos, que l'envolten en dobles circumvolucions. La seva aparent superposició i entrellaçament ocasiona, a la nebulosa de la Lira, l'efecte assenyalat d'un anell amb franges i esquerdat, i és d'allò més interessant apreciar que fins i tot en masses gasoses preval la mateixa regla constructiva que a la gran nebulosa del Remolí dels Gossos de Caça.

Tanmateix, aquesta circumstància és gairebé irreconciliable amb la hipòtesi que s'hi produeixi un influx de matèria.* Les caigudes degudes a la gravetat no podrien restar limitades a dues zones estretes del cos central. En canvi, la matèria ejectada podria, versemblantment, seguir aquest curs. Podem suposar amb facilitat una tensió interna capaç de provocar una emissió al llarg d'un diàmetre determinat i enlloc més. Les pertorbacions solars ofereixen una il·lustració parcial i confusa d'aquesta mena d'activitat. No són pas desconegudes les prominències diametralment oposades, i indiquen l'acció d'una força explosiva que travessa de cap a cap el globus solar. De manera semblant, la formació d'una nebulosa espiral no pot ésser degudament compresa sinó com el resultat d'erupcions oposades, sostingudes al llarg del temps.

La història dels cels implica una mena de «lleï de l'espiralitat», i l'abast del seu domini s'eixampla

* Cf. Moulton, *Astrophysical Journal*, vol. XXII, pàg. 165.

contínuament a mesura que la recerca s'intensifica. El «portent» huygenià de l'Espasa d'Orió apareix avui tan sols com el nucli de la «gran Nebulosa serpentina» fotografiada pel professor W. H. Pickering l'any 1889.⁴ Que la vasta nebulositat que envolta les Plèiades sigui una estructura anàloga sembla altament probable, malgrat que la resplendor del grup estel·lar que conté n'esborra la major part del traçat fonamental. La magnitud d'aquest sistema mixt, segons ens diu el professor Barnard,* que el va detectar el 1893 mitjançant una exposició de deu hores amb la lent Willard, ultrapassa la nostra capacitat d'imaginació. Cobreix cent graus quadrats del cel amb una intricada riquesa de detalls. I és més, a uns quatre minuts d'arc al nord-oest de l'Anell de la Lira hi ha una petita nebulosa descoberta visualment pel professor Barnard el 1893, i resolta fotogràficament per Keeler en una espiral delicadíssima; és una espiral de dos braços, levògira, tal com s'ha comprovat que ho és també el gran objecte adjacent. L'una és, en efecte, la miniatura de l'altra, i avui es pot apreciar —gràcies al reflector de focal curta del professor Schaeberle— que ambdues resten unides per plecs corbats de nebulositat i formen així un sistema espiral compost.⁵ De la mateixa manera, la nebulosa de l'halter presenta una condició semblant, i així l'analogia sovint observada entre el seu aspecte i el de la nebulosa anular s'ha vist ampliada en una escala incalculable.⁶

* *Monthly Notices*, vol. LX, pàg. 259.

Les relacions galàctiques dels Núvols de Magallanes no es poden definir amb facilitat; es troben dins la Via Làctia, però no en formen part. Excrescències enigmàtiques de l'univers, suggereixen un origen en remolins gegantins del corrent d'ordenació sideral. Els seus continguts diversos semblen, a primer cop d'ull, disposats segons línies de vorticitat. Les fotografies del senyor H. C. Russell ja ho demostraren, en part, l'any 1890,* i aquests indicis van quedar confirmats per les plaques d'Arequipa, de l'estudi de les quals el professor Pickering arribà a la convicció que la gran nebulosa de la Llaçada, 30 Doradus, és el nucli estructural del Núvol Gran de Magallanes.⁷ «Sembla —escrivia— ser el centre d'una gran espiral, i mantenir amb el sistema sencer una relació anàloga a la que la nebulosa d'Orió manté amb la gran nebulosa espiral que cobreix una part considerable d'aquella constel·lació.»**

Per tot arreu, en els cels siderals, podem discernir els senyals de l'obra d'una llei de convolució. De vegades són patents a la vista; d'altres, mig ocults; però generalment, amb una observació atenta, es poden destriar dels detalls que els recobreixen. Es manifesten tant en els estels com en les nebuloses, tal com assenyalà el desaparegut doctor Roberts a partir de proves fotogràfiques convincents; els apèndixs «hirsuts» dels cúmuls globulars els delaten amb llurs formes curvilínies, i els trobem a cada racó de l'ampli regne nebulós. Molts investigadors

* *Vegeu Knowledge*, vol. XIV, pàg. 50.

** *Harvard Annals*, vol. XXVI, pàg. 206.

reconeixen fins i tot en la Via Làctia mateixa l'empremta de l'espiralitat. Stephen Alexander, de Nova Jersey,* considerava el majestuós arc galàctic com una espiral de quatre braços, resultant de ruptures catastròfiques en un esferoide primitiu més dens a l'equador, els corrents de matèria expulsats del qual —a causa de llur menor rotació angular— haurien quedat endarrerits en allunyar-se del nucli, i així haurien fluït segons línies helicoidals. R. A. Proctor concebí posteriorment corrents galàctics retorçats que, tanmateix, s'ajustaven només imperfectament al que mostrava el cel. I el doctor Easton ha dissenyat, a tall de simple il·lustració, una elaborada sèrie d'espivals que es poden originar en una condensació galàctica central i la projecció de les quals sobre l'esfera podria, segons ell, explicar les peculiaritats conegudes de la Via Làctia.**

La nostra situació interior, però, fa extremament difícil determinar les relacions espacials reals dels corrents estel·lars que l'envolten. Els fets observats poden ser igualment compatibles amb molts altres esquemes estructurals, a banda dels basats en la idea d'espivalitat; i cal ser prudent en no adoptar-ne cap, de moment, amb convicció definitiva. Ara bé, sí que podem extreure una informació prou precisa sobre la història del cosmos: tots els habitants del cel, estel·lars i nebulosos, representen de manera evident les despulles d'un esferoide primitiu en rotació. El seu equador és encara assenyalat per

* *Astronomical Journal*, vol. II, pàg. 100, 1852

** *Astrophysical Journal*, vol. XII, pàg. 158.

l'anell galàctic; els seus pols, per un doble dosser de nebuloses blanques. El moviment giratori que posseï en altre temps com a totalitat subsisteix, sens dubte, en les seves parts; però caldrà que passin moltes eres abans no se'n pugui destriar la deriva sideral fonamental.

13

L'evolució dels sols

Els fenòmens depenen del temps i, en cada cas particular, cal determinar la forma d'aquesta dependència. A això es redueix el mètode històric, i el seu ús és avui general i gairebé obligatori. Ja no podem satisfer-nos amb una simple visió a vol d'ocell de l'univers; el pensament és empès irresistiblement a temptejar el seu passat i a endevinar-ne l'esdevenidor. Les concepcions estàtiques bastaven als nostres avantpassats intel·lectuals: ells aspiraven a establir l'equilibri de les coses, mentre que nosaltres les veiem en un flux incessant. Un element n'evoca un altre, i aquest, un altre encara, i així *ad infinitum*; encara que ho volguéssim, no podem sostenir les nostres idees sobre el fràgil suport del present fugisser.

Els cels immutables dels antics se'ns apareixen avui com la invenció d'una estranya raça d'éssers. Nosaltres, ben al contrari, els veiem, com Shelley, com una «esfera fràgil i esvaïdora», una «breu extensió», seu i escenari del canvi. Les estrelles dites «fixes» fa temps que es van deslligar dels seus

amarratges i començaren a vagar lliurement per l'espai. Darrerament se'ls ha atribuït una mobilitat encara més íntima i menys evident. Se'ls han assignat línies de desenvolupament individual, al llarg de les quals semblen desplaçar-se mentre passen, lentes, les edats; i com que tot allò que creix ha de decandir, també els orbes del cel incorren en la condemna de la mortalitat.

Però la ciència moderna ha fet molt més que estendre als astres la filosofia ombrívola de la sentència «*Tout passe, tout casse, tout lasse*». S'ha assajat, amb una ambició grandiosa i no sense cert èxit, de resseguir amb detall l'evolució sideral i d'ordenar les immenses hosts estel·lars segons llur antiguitat. Això ha estat possible gràcies a les revelacions de l'espectroscopi. Sense la seva guia, el camí potser s'hauria entrellucat, a batzegades, però mai no hauria pogut ésser traçat amb cap mena de precisió. Herschel en trobà el *terminus a quo* en les nebuloses de formes diverses, però no gosà seguir-lo més enllà. Nosaltres no dubtem a prolongar-lo, pas a pas, fins al *terminus ad quem*. No pas, és ben cert, sense advertir-hi dificultats i inseguretats notables, que tanmateix semblen compensades per una mena d'inevitabilitat d'autoordenació en el conjunt dels fets.

L'argument de la continuïtat és el que s'empra amb més freqüència. Una successió ininterrompuda de casos resulta molt persuasiva sobre la transició real, sempre que es pugui assumir raonablement l'existència d'un principi de desenvolupa-

ment, si és que podem anomenar-lo així. Una sèrie d'exemplars mineralògics, encara que estiguin diferenciats amb la més subtil precisió, no suggereix l'enriquiment progressiu d'una massa original de mineral. En canvi, en les estrelles es pot dir que hi resideix una mena de vitalitat. No són productes acabats, sinó màquines que actuen espontàniament. Són centres d'energia, que distribueixen gratuïtament sufragant-ne el cost amb els seus propis recursos. I el procés no només és terminable, sinó que ha d'anar acompanyat de modificacions constitucionals, que es podrien rastrejar amb mètodes subtils d'investigació. I, de fet, són rastrejables, llevat que ens deixem enganyar per aparences il·lusòries.

La classificació de les estrelles de Secchi no estava alterada per cap fantasia especulativa. Era purament formal; només pretenia proporcionar compartiments diferenciats per a l'ordenació convenient d'una multitud d'elements d'informació caracteritzats de manera diversa. Després, a poc a poc, es va començar a notar la proximitat de les gradacions entre una classe i l'altra: les separacions es fonien, l'ordenació metoditzada es mostrava fluida i l'estructura bàsica prenia forma, sota els auspicis de Zöllner i Vogel, com un arbre genealògic còsmic. Les estrelles blanques es presentaven com a progenitores de les grogues, aquestes de les vermelles; i el reforçament insensible i progressiu de les característiques de relació entre els tipus successius va avançar molt a l'hora de demostrar un cert grau de

correspondència, parcial si més no, de l'ordre indicat amb els fets veritables. Després s'ha vist que calia dividir la primera classe estel·lar en estrelles d'heli i de tipus sirià; i aquí també, la diversitat essencial es difumina imperceptiblement en una semblança que s'aproxima a la identitat. Tots els grups estan relacionats; tot l'esquema es troba sobre un pla inclinat de canvi. Les estrelles d'heli, a mesura que es condensen, passen a ser de tipus sirià, aquestes passen a ser de tipus solar, que finalment, en envellir per l'augment de l'absorció, mostren la marca de la seva maduresa avançada en espectres de línies. La fi de l'etapa vermella és, de fet, molt lluny de ser absoluta, però el que hi ha més enllà és només conjectura.¹

Hi ha diverses raons de pes per considerar que les estrelles d'heli són les més joves o primitives del fascinant conjunt que brilla a la volta celeste. La primera és la seva afinitat amb les nebuloses. Cada estrella que sembla envoltada de plecs o efusions de boira lluminosa ha revelat —si era prou brillant per a un examen profitós— un espectre semblant al de l'heli. A més, són cossos notablement tènues. S'ha establert amb certesa aproximada, a partir de l'estudi d'eclipsis estel·lars, que les estrelles d'heli són habitualment, i potser invariablement, de consistència molt menor que la del Sol. La radiació, però, es manté a causa de la contracció; en conseqüència, els astres a l'inici de la seva evolució han de ser, en conjunt, els més difusos. Un tercer signe de joventut és la pertinença a sistemes embrionaris, i això

es manifesta molt clarament en les estrelles d'heli. Un terç, sens dubte, i potser la meitat, de les que s'han sotmès recentment a prova pels professors Frost i Adams van resultar tenir companyes espectroscòpiques. Es tracta de parelles que es creu que s'han format per la fissió recent d'un sol globus progenitor. I aquest és un procés que, hem de suposar, o bé es duu a terme aviat o bé mai.

Els espectres de les estrelles d'heli són peculiars i suggeridors.² Els que pertanyen als primers grups de la senyoreta Maury —molts dels quals són visiblement nebulosos— gairebé no presenten traces d'absorció metàl·lica, i en canvi mostren línies d'oxigen, de nitrogen i d'hidrogen en les seves tres sèries. Es donen, doncs, en aquests cossos incipients, les condicions necessàries per produir la modificació «còsmica» de l'hidrogen. Quines són exactament aquestes condicions no ho podem pas dir, tot i que es pot suposar amb confiança que seran de naturalesa elèctrica. L'hidrogen s'assembla als metalls en el fet de ser electropositiu: es recull al pol negatiu durant la descomposició electrolítica de l'aigua. Hi ha, però, una tendència inconfusible en els objectes siderals primitius a mostrar línies d'absorció d'elements electronegatius més que no pas d'electropositius. És concebible que l'hidrogen pugui alterar el seu comportament en aquest aspecte, i que les molècules que irradien les sèries de Pickering i de Rydberg, a més de la més familiar sèrie de Huggins, hagin assumit, mitjançant alguna reordenació corpuscular, la qualitat electronegativa

pròpia d'una substància no metàl·lica. L'associació d'aquesta forma d'hidrogen amb l'oxigen i el nitrogen en les primeres estrelles d'heli quedaria així associada de manera natural a la quasi desaparició simultània de les característiques espectrals dels metalls.

La línia d'heli més distintiva d'aquesta família estel·lar se situa ben endins del blau i pertany a la mateixa seqüència vibratòria que la D^3 , que també és present a Rigel, una de les estrelles d'Orió més «evolucionades». A Rigel hi trobem també una línia del magnesi força destacada, situada per sota de l'emissió blava de l'heli, mentre que el ferro encara no s'hi percep. Hi ha nombroses ratlles fines i febles, degudes a l'absorció d'aquest element, que només emergeixen quan s'assoleix plenament el tipus sirià, i en la seva major part són del tipus «intensificat». Quan en espectroscòpia es substitueix la descàrrega elèctrica per l'arc elèctric com a font d'il·luminació, s'intensifiquen certes línies de l'espectre resultant en comparació a les altres, i aquestes han estat caracteritzades per sir Norman Lockyer com a «intensificades». Ara bé, és sorprenent la generalitat de la regla segons la qual les línies d'absorció de les estrelles blanques pertanyen a aquesta classe; ara això ja no es pot interpretar com a indicació d'una temperatura molt alta; més aviat sembla que hi intervenen condicions elèctriques encara imperfectament definides, i que la seva eliminació o desaparició gradual contribueix, sens dubte en gran mesura, a provocar la transició cap a l'estadi solar.

L'esvaïment de l'absorció de l'heli és encara més desconcertant. Tan bon punt el ferro comença a manifestar-se, l'heli desapareix. Encara en resta una tènue traça de la seva línia «blava» a Vega; a Sírius no en queda cap.

En els espectres de tipus solar, dues grans bandes de llum violeta queden interrompudes pel calci; fora d'això, hi predominen les línies metàl·liques d'arc, mentre que les de l'hidrogen ja no destaquen tant com en les estrelles blanques. A més, la blancor de les fotosferes sirianes s'ha tenyit de groc a causa del creixement d'un embolcall superficial parcialment impermeable als raigs blaus. Per aquesta raó, l'extensió comparativa dels seus espectres ultraviolets no ofereix, per a estrelles de tipus diferents, cap criteri segur de temperatura relativa. Correcte en principi, aquest criteri esdevé inaplicable quan entra en joc el factor desconegut de l'absorció general.

La corba d'energia de l'espectre solar, tal com és, es pot determinar; però la corba d'energia de l'espectre solar tal com seria si no estigués afectada per l'absorció general ha de ser reconstruïda per inferència. Només les fotosferes nues exposades a l'espai proporcionen resultats comparables. D'aquí que no hi hagi fonaments sòlids per afirmar que Sírius sigui més calenta que el Sol, o el Sol més calent que Betelgeuse. Tal vegada sigui així, però les proves de què disposem actualment són inconclusives. Les aparences interpretades en aquest sentit poden tenir significats ben diferents.

Les raons per sostenir que les estrelles solars maduren fins a esdevenir estrelles de tipus Antares són del mateix ordre, i tenen una força igual, que les que tendeixen a provar el seu propi desenvolupament a partir de lluminàries de tipus siria. Hi ha una continuïtat semblant d'exemplars. Es poden disposar l'un rere l'altre en una sèrie ininterrompuda en la qual, a mesura que avancem al llarg de la línia, el groc pàl·lid es fon en taronja, i el taronja en vermell; l'absorció general intercepta un percentatge cada cop més gran de les radiacions blaves, mentre que l'absorció específica s'intensifica mitjançant fosques canalitzacions de titani.

Les estrelles de carboni són més difícils de situar. El doctor Vogel les considera equivalents amb la classe d'Antares. Les dues varietats d'estrelles vermelles amb espectres de bandes procedeixen, segons la seva opinió, del tronc comú exemplificat pel nostre Sol. El professor Hale també s'inclina per aquest punt de vista, malgrat certes dificultats associades. Les seves fotografies han establert, certament, per a les estrelles de carboni, vincles de parentiu tant amb la família d'Antares com amb la solar; tanmateix, és indiscutible el fet que el tipus de carboni es troba, en gran mesura, aïllat de tots els altres. Els indicis d'una migració real cap a aquest tipus són pocs i obscurs.

El destí final d'ambdós grups d'estrelles vermelles només el podem conjecturar. La majoria dels objectes que els constitueixen varien de brillantor, alguns fins al límit mateix de l'extinció periòdica; i

la variabilitat pot ser un símptoma de dilapidació interior. Però l'organització d'aquests cossos és profundament enigmàtica. Són excepcionalment remots i ofereixen ben poc terreny ferm per a la recerca. No s'ha recollit cap indici sobre la seva densitat ni la seva lluminositat intrínseca i se'n sap molt poc dels moviments. Ben poques vegades formen combinacions binàries, i les que formen són gairebé sempre bastant fixes. Cap estrella vermella es desplaça en una òrbita que s'hagi pogut calcular; només una, η Geminorum, apareix en la llarga llista de binàries espectroscòpiques. Les revolucions d'aquest curiós sistema, quan es puguin estudiar a fons, han de ser d'allò més interessants i esclaridores.

Les estrelles dobles ofereixen oportunitats especials als estudiosos de la cosmogonia. Són òbviament contemporànies; han començat en igualtat de condicions la cursa evolutiva; han actuat sobre elles influències idèntiques; per tant, les diferències en el seu estat només poden derivar de dissemblances de massa o de composició. Se sol donar per fet que un cos que conté menys matèria que el seu company ha de desenvolupar-se més ràpidament i arribar abans a l'extinció final. Però sir William Huggins i lady Huggins han assenyalat la probabilitat que passi justament el contrari. Una gravetat superficial poderosa pot, segons ells, servir per accelerar la transició d'un espectre sirià a un d'igual al solar, i tindriem aleshores sols gegants com Capella, de tipus evolucionat tot i trobar-se en una fase

molt primerenca de condensació. Això potser explica les remarcables relacions espectrals de parelles estel·lars contrastades. Sempre, pel que sabem fins ara, l'espectre siria correspon a l'estrella menor, la massa de la qual, jutjant per analogia, ha de ser encara més petita del que indicaria la proporció de la seva menor lluminositat. És cert que la distribució de massa en sistemes binaris sovint difereix molt del que es pot anticipar. Certs satèl·lits de tonalitat porpra, per exemple, i de qualitat espectral indeterminada, exerceixen un domini gravitatori d'una intensitat sorprenent. Alguns resultats d'aquest tipus, obtinguts recentment pel senyor Lewis i altres investigadors, són susceptibles de demostrar-se d'una importància fonamental per a les teories de l'evolució estel·lar.

El que sabem de les «estrelles fosques» deriva principalment de l'observació de sistemes estel·lars. Se suposa que són els habitants d'un Hades estel·lar, errants tènues entre les ombres, que «ja han tingut el seu dia i han deixat de ser» sols. En la «freda oclusió» d'aquests orbs invisibles es considera que culmina la gran evolució còsmica. La seva presència testimonia el progrés descendent de la decadència i confereix una completeness lògica a l'argument del desenvolupament. Tanmateix, hi ha circumstàncies que ens adverteixen contra una seguretat excessiva que el seu estat sigui realment el d'esquelets en el banquet de la llum. Molt sovint es troben en estreta companyia d'estrelles blanques brillants. Així aparellades, d'una manera íntima —

encara que incongruent—, circulen i obliguen a circular en períodes breus, com a membres de sistemes que, es podria dir, tot just han sortit de l'ou. Què hem de pensar, per exemple, del cos obscur descobert espectroscòpicament que governa les revolucions de l'estrella principal del trapezi d'Orió? És evidentment comparable en massa amb aquesta lluminària imperfectament condensada. És creïble que ja hagi recorregut totes les etapes de l'existència estel·lar i s'hagi refredat fins a un rang planetari? Una suposició tan agosarada no hauria de fer-se, si més no, sense la deguda consideració; i potser és més prudent suspendre el judici sobre si aquesta mena de cossos celestes —i n'hi ha molts— han de ser considerats sols esgotats o sols que no han arribat a ser.*

Les especulacions sobre l'esgotament de la vitalitat estel·lar s'han vist darrerament entrelaçades de manera inextricable amb el complex problema de l'evolució dels elements. S'ha adquirit una vaga intuïció de l'activitat a l'univers de forces obscures que, pel que comencem a entreveure, poden desmentir moltes previsions. La teoria, entre d'altres, de la dissipació de l'energia necessita ser revisada o matisada. I lord Kelvin no la va proposar amb cap certesa dogmàtica; va assenyalar acuradament la possibilitat que en «els grans magatzems de la

* Ahora, cal tenir en compte que la seva foscor absoluta no està demostrada. L'únic que és cert és que els seus espectres no són prou brillants per deixar cap impressió a les plaques exposades.

creació» hi pogués haver reserves d'energia mitjançant les quals les pèrdues sofertes per radiació poguessin ser totalment o parcialment compensades.* Aquesta possibilitat potser es fa palesa en els fenòmens de la radioactivitat. Però si ens preguntem com, topeu d'entrada amb dificultats relacionades amb l'origen de l'heli. L'heli sembla resultar de la desintegració del radi, i la seva generació va acompanyada de l'alliberament de quantitats enormes d'energia. La seva presència abundant, doncs, és argument per a una despesa prolongada i generosa de calor i de llum. Tanmateix, és sobretot com a constituent de cossos molt primitius que es mostra conspicu. Les nebuloses gasoses també n'inclouen reserves immenses, mentre que és incompatible amb tot el que sembla que sabem d'elles suposar que el radi hagi format part mai de la seva composició.³

La gènesi dels elements, en veritat, encara no ha estat objecte d'una especulació coherent. Les idees corrents sobre aquest tema impliquen un doble curs de canvi: primer per agregació i, posteriorment, per desintegració. I això hauria de donar-nos una doble sèrie d'elements. D'una banda hi hauria supervivències fixes del procés ascendent; de l'altra, productes de la descomposició, contínuament generats i fins i tot acumulant-se encara ara. Si finalment s'establís el dret de l'heli a ocupar un lloc entre aquests darrers, les nostres concepcions

* Thomson i Tait, *Natural Philosophy*, apèndix E, pàg. 494, ed. 1890.

sobre la naturalesa i la història de les nebuloses podrien haver de patir una inversió estranya; però el resultat de les investigacions en curs és encara incert i potser llunyà.

De totes maneres, és ben clar que la teoria electrònica de la matèria no proporciona cap explicació genuïna de la font de l'energia a l'univers. Allò que s'allibera quan els àtoms es desintegren ha d'haver estat emmagatzemat quan es van formar. D'on provenia? Aquesta és la qüestió fonamental que és a la base de tota discussió sobre el manteniment de la vida de les estrelles. A hores d'ara, no té resposta, i podria ser que no la tingués.

El nostre sistema

El nostre sol és, clarament, de mitjana edat. No presenta cap dels trets associats amb la joventut estel·lar, mentre que la seva decrepitud resta encara en un futur llunyà. El més probable és que travessi un tram planer, en què la recuperació gairebé compensa la despesa, de manera que la radiació pot mantenir-se indefinidament a un nivell alt i força uniforme. Les estrelles de tipus solar segueixen el curs estable de la seva evolució amb poquíssimes interrupcions; mostren una escassa inclinació a la variabilitat intrínseca. La seva periodicitat, quan existeix, és deguda a la presència d'algun company. Les variables, en altres paraules, que pertanyen a la família espectral del nostre Sol, són sistemes binaris; i solen ser —si no sempre— binàries no eclipsants, segons el model de δ Cephei. Els canvis de llum poden així ser produïts sobre estrelles semblants al Sol per una influència externa; no sorgeixen pas de manera evident d'una inestabilitat pròpia.

El nostre planeta, en conseqüència, està lligat a un astre segur i estable, sotmès no pas a espasmes destructius, sinó a vicissituds tan suaus que escapen a un reconeixement meteorològic clar.* A més, es troba regit per un règim assentat sobre una base àmplia de tranquil·litat i permanència. Tot plegat és com calia que fos. Les condicions esmentades eren un requisit previ per al desplegament dels destins humans. I no pot afirmar-se amb seguretat que s'hagin realitzat en cap altre indret. El nostre sistema pot ser únic; o bé, per contra, podrien haver-hi rèpliques d'ell profusament escampades pels vastos dominis de l'espai, d'una manera imperceptible per a nosaltres. És cert que un observador telescòpic situat a Sírius o a α Centauri veuria el nostre Sol sense cap acompanyament; ni tan sols podria apreciar Júpiter amb instruments òptics comparables als nostres.

Tanmateix, hi ha limitacions estrictes a la possible difusió de mons planetaris com els que vagaren entre les constel·lacions zodiacals. Hem arribat a reconèixer circumstàncies incapacitants, per les quals una multitud d'estrelles resten excloses de mantenir cap mena de seguici de globus

* La incertesa que afecta els millors resultats possibles en la investigació del cicle meteorològic es fa evident mitjançant una comparació dels articles hàbils i laboriosos d'H. W. Clough (*Astrophysical Journal*, vol. XXII, pàg. 42) i C. Easton (Petermann: *Geogr. Mittheilungen*, 1905, Heft VIII, i *Proceedings Amsterdam Academy of Sciences*, 24 de juny de 1905).

subordinats. Els descobriments espectroscòpics han obligat a revisar les idees sobre l'ordenació còsmica. En particular, la gran proporció d'estrelles dobles respecte de les simples que aquests descobriments han establert fa ja impossible considerar el sistema solar com un model reproduït a gran escala en el domini sideral. No el podem, doncs, comparar amb cap altre; el mecanisme del qual la Terra forma part ha de ser estudiat, per força, en si mateix i per si mateix, i pot ser, pel que tot indica, com el resultat d'un disseny especial i singular.

El mecanisme de què es tracta és autosostingut i autoregulat; cap força extrínseca no n'afecta perceptiblement el funcionament. Aquesta immunitat davant les pertorbacions és la conseqüènciaafortunada del seu aïllament, atès que l'envolta un gran buit. L'abast de l'òrbita de Neptú és amb prou feines un pam si el comparem amb l'enorme abisme desocupat que s'estén més enllà —desocupat, cal dir, per cossos de massa rellevant—. La feblesa de la llum estel·lar en relació amb la solar ofereix una certa mesura de la impotència de les atraccions estel·lars per competir amb el poder gravitatori sobirà que regeix la circulació planetària. És això el que li confereix una estabilitat tan remarcable. La superioritat incomparablement gran del Sol sobre els seus cossos dependents no sols els preserva de tota interferència forana, sinó que redueix a la insignificança les pertorbacions mútues. D'aquí la forta concentració de força que exemplifica el nostre sistema —el caràcter absolutament despòtic de

l'autoritat que s'hi exerceix—, que afavoreix un ordre establert tot excloent qualsevol canvi subversiu.

L'organització del reialme solar, tal com la revela la recerca moderna, és molt més variada i complexa del que Laplace havia suposat. De fet, amb prou feines s'havia promulgat el seu esquema genètic, que ja començaren a manifestar-se, amb una realitat incòmoda, desviacions respecte de la regularitat i la unanimitat del moviment en què es fonamentava. Des d'aleshores, aquestes desviacions s'han multiplicat; i, mentre apareixen sota els aspectes més inesperats, donen lloc a incongruències que exigeixen, per a la seva explicació, tots els recursos i totes les temeritats dels cosmogonistes més inventius. Considerem-ne breument la naturalesa.

La corrua d'asteroides que cobreix el buit entre Mart i Júpiter gira, és cert, amb el remolí general del moviment planetari; però fa un bon ús de la llibertat pel que fa a la forma i la disposició de les seves òrbites. I la seva exempció parcial respecte de les normes de circulació es torna total en el cas dels cometes i dels meteors, que, no obstant això, han demostrat ser originaris del nostre sistema gràcies a la seva plena participació en el seu moviment propi. Per acabar, diversos dels planetes majors desafien la convenció en l'organització dels seus veïnatsges i, així, deixen entreveure desviacions respecte del suposat curs normal de desenvolupament tan freqüents i tan considerables que posen en dubte fins i tot la seva prevalença. Així, el període anormalment curt del satèl·lit interior de Mart, a

més de generar dubtes sobre el seu propi origen, tendeix a ofuscar la història del seu associat que gira amb més calma. Deimos no pot haver estat separat del seu primari en condicions materialment diferents de les que acompanyaren el naixement de Fobos.

Els subsistemes d'Urà i Neptú mostren, a més, remolins de moviment retrògrad que suggereixen pertorbacions primitives d'un tipus fonamental. Per la seva banda, les sorprenents descobertes relacionades amb el primer i més llunyà satèl·lit de Saturn, detectat fotogràficament pel professor W. H. Pickering l'any 1898, han afegit un nou embull a la complexa madeixa que voldríem desxifrar. Fins que es va conèixer Febe, les revolucions retrògrades dins d'una mateixa família de satèl·lits eren desconegudes, i, si s'haguessin plantejat, haurien estat rebutjades com a impossibles. És cert que una estrella ternària —ξ Scorpii— havia estat identificada com a possible posseïdora d'un acompanyant immediat i un de més remot amb moviments orbitals en sentits oposats;* però els casos són, en molts aspectes, dispers, i l'analogia, tot i ser instructiva, és imperfecta.

Si la novena lluna de Saturn s'ha de considerar sorgida de la massa en condensació del planeta, cal admetre que, durant el llarg interval transcorregut entre la seva separació i la del seu successor, Jàpet, es produí un canvi total en l'estat del cos

* R. T. A. Innes, *Reference Catalogue*, pàg. 155A.

progenitor. Aquest canvi, segons l'opinió del professor W. H. Pickering, no fou res menys que una inversió del moviment axial.* L'esferoide nebulós destinat a desenvolupar-se en el meravellós sistema saturnià tenia, presumiblement, quan Febe se'n va desprendre, un diàmetre de setze milions de milles, i girava tranquil·lament d'est a oest, amb un període d'aproximadament un any i mig. Però l'acció de les marees solars va primer destruir i finalment invertir aquest moviment; car el resultat natural del fregament mareal és el sincronisme, i aquest implica l'acord, tant en període com en direcció, entre la rotació i la revolució del cos sotmès a l'acció. L'acceleració deguda a la contracció va fer la resta; i, quan un altre satèl·lit va estar a punt de separar-se, el globus originari girava ja de manera normal en setanta-nou dies, és a dir, el període real de revolució de Jàpet. La idea que aquest fou el curs dels esdeveniments és, a primer cop d'ull, versemblant; tanmateix, resta el dubte de si la causa al·legada resulta adequada a l'efecte produït. A la distància de Saturn, el fregament de marea solar exerceix només una vintmil·lèsima part, més o menys, de la força que fa sobre la Terra;** la seva eficàcia, d'altra banda, s'hauria vist fortament augmentada per la distensió de la massa sotmesa a l'acció, però fins a

* *Harvard Annals*, vol. LIII, pàg. 61, on, malgrat tot, la inversió s'explica per mitjà d'una desviació del pla de rotació.

** G. H. Darwin, *Philosophical Transactions*, vol. CLXXII, pàg. 526; Moulton, *Astrophysical Journal*, vol. XI, pàg. 110.

quin punt, les nostres facultats de càlcul són impotents per determinar-ho.

I això no és tot. Una recerca fotogràfica exhaustiva promet revelar detalls estructurals en els sistemes secundaris que requeriran la feina pacient de moltes generacions per arribar a ser del tot desentrellats. És possible que les famílies dels grans planetes incloguin munions de membres menors que, en els seus desplaçaments, facin ben poc cas dels estrets lligams de la convenció. Tant en el cas de Júpiter com en el de Saturn ha sortit recentment a la llum el fenomen dels satèl·lits «asteroidals», com se'ls podria anomenar: cossos minúsculs que giren entorn dels seus primaris a distàncies mitjanes gairebé iguals, i que representen, de manera evident, els materials no aglomerats d'un únic satèl·lit de mida completa. Els components pigmeus d'aquests grups existeixen, sens dubte, en multitud; molt probablement, cada gran planeta és envoltat per almenys una zona de petites llunes, però fins ara només se n'han detectat alguns exemplars. El desè satèl·lit de Saturn, descobert, com el seu predecessor, pel professor W. H. Pickering, s'associa així, pel seu període i la seva situació, amb Hiperió, el setè i menys conspicu dels satèl·lits visibles de Saturn, la insignificança aparent del qual havia suggerit a sir John Herschel que podia tenir molts cohabitants en l'ampli espai entre Tità i Jàpet.* Però aquesta conjectura va haver d'esperar confirmació fins que no

* *Monthly Notices*, vol. IX, pàg. 91.

es van millorar els mètodes d'observació més enllà del que semblava possible a mitjan segle XIX.¹

La parella joviana corresponent, descoberta pel professor Perrine, circula molt més enllà dels límits del domini galileà originari, en òrbites que s'entrellacen com a conseqüència de la seva marcada diferència d'excentricitat.* Estan inclinades l'una respecte de l'altra amb un angle de 27 graus, i no es creu que arribin realment a tallar-se, de manera que les col·lisions semblen, en aparença, improbables. S'intueix que el seu moviment és directe, però encara no es pot afirmar amb plena certesa per a tots dos cossos.² Tot just comencem a conèixer les poblacions ocultes dels regnes saturnià i jovità; potser són multitudinàries, però amb tota seguretat són singulars, i esperem amb impaciència i curiositat les noves descobertes referents al seu remarcable comportament.

L'única inferència segura que es pot derivar de la diversitat de fets constatats en els darrers cent anys és que el nostre món no és (per dir-ho així) obra d'una màquina. El *modus operandi* emprat per alliberar els planetes de la seva matriu nebulosa no era de rigidesa absoluta, sinó que s'adaptava a les circumstàncies; deixava espai per a l'exhibició d'una inventiva sense límits en els detalls. Això, tanmateix, es va disposar de manera compatible amb la perfecta preservació de l'ordre principal, tant en disseny com en funcionament. El pla general està

* F. E. Ross, *Lick Bulletin*, núm. 82.

traçat de manera àmplia i inequívoca; les molles de la màquina romanen lliures en el seu joc, i això, fonamentalment, perquè les desviacions de la regularitat, que podrien, d'alguna manera, suposar una amenaça per a l'estabilitat, afecten cossos de massa negligible. L'immens balanceig del moviment establert continua al marge d'ells. *De minimis non curat lex*.

Així, el procedir erràtic dels cometes és irrellevant només a causa de la seva insignificança. Si fos imitat per masses dotades d'una atracció substancial, no podria deixar de posar en perill els ajustaments planetaris. Fins i tot els asteroides serien veïns perillosos, si no fos per la seva impotència; i és remarcable que Mercuri, amb molta diferència el més petit dels planetes majors, circuli per una trajectòria de tipus asteroidal. Sembla com si una mida important comportés l'obligació de recórrer una òrbita de petita excentricitat, inclinada amb un angle baix respecte del pla principal del sistema. El motiu d'això no és gens evident; però, si fos altrament, l'equilibri, avui tan fermament establert, subsistiria de manera precària, o bé no subsistiria en absolut.

L'afirmació, tanmateix, que aquest equilibri és fermament establert només podem fer-la amb reserves. Ignorem l'existència de causes que tendeixin a enderrocar-lo; però podrien sobrevenir, o fins i tot estar actuant ja de manera imperceptible. Una d'aquestes possibilitats latents és la presència d'un medi resistent en l'espai interplanetari. Sens dubte,

s'hi han de trobar restes disperses de matèria —molècules proscrites, expulsades dels embolcalls gasosos de globus febles; vestigis subtils de la parafernàlia cometària, arrencats enmig dels fulgors fugissers del periheli; productes de dissociació iònica emesos per l'impacte de la llum ultraviolada—, tot disseminat dins un oceà eteri que «s'obre al davant i es tanca al darrere» quan els cossos en moviment el travessen. Que aquesta indiferència sigui compartida per les substàncies materials ordinàries quan arriben a l'últim grau d'atenuació és una conjectura plausible, però no verificada. Només és segur afirmar que l'alentiment de la velocitat en allò que podria passar per mer espai buit és insensible o nul.

Tanmateix, pot haver-hi ressorts de decadència dins el sistema solar. Alguns han estat examinats pel senyor Poincaré, la confiança del qual en les demostracions tranquil·litzadores de Laplace i Lagrange és inversament proporcional a la magnitud dels termes que aquells es veieren obligats a negligir.* Ells tractaven amb globus ficticis, mancats de dimensions apreciables, sotmesos estrictament a la llei newtoniana. Però els planetes reals i els seus satèl·lits són afectats també per altres forces: de fregament, magnètiques i radiorepulsives, els efectes conjunts de les quals potser no són del tot menyspreables. L'arrossegament de marea sobre la rotació ocasiona, sens dubte, una pèrdua petita però

* *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1898.

irreparable d'energia. La Lluna, per exemple, com afirma el senyor Poincaré, guanya avui, per les conseqüències reactives del fregament de marea que eixampla la seva òrbita, no pas més d'una vint-i-vuitena part de la *vis viva* que la Terra perd a causa de la desacceleració infinitesimal de la seva rotació; i les 27/28 parts restants, dissipades cap a l'exterior en forma de calor, són finalment sostretes al sistema.

L'estat últim, se'ns diu, vers el qual tendeix el mecanisme planetari és el d'una revolució síncrona de tots els seus membres amb un període d'uns dotze anys. Aquest estat podria, al marge de la possibilitat d'un medi resistent, gaudir d'una permanència indefinida; altrament, es produiria una precipitació gradual cap al centre, i una esfera solitària, freda, nua i sense llum vindria a substituir l'astre radiant dels nostres cels blavosos, amb el seu seguici diversificat i exquisidament equilibrat.

Tanmateix, les previsions no garantides de futur no figuren entre els actius més valuosos de la ciència, i un resultat tan desmesuradament remot pot quedar alterat per una munió de contingències imprevistes. Allò que pot ser i que ha estat establert és la durabilitat relativa de l'esquema amb el qual els destins visibles de la raça humana es troben tan estretament lligats. Sens dubte, perdurarà prou temps perquè es compleixin. La curiositat que pretengués posar llum a la foscor ulterior està condemnada, ben probablement, a restar sense resposta.

Però hi ha encara una perspectiva més ampla. Resta per considerar un altre conjunt de factors incalculables. El Sol, tot i ser un autòcrata dins el seu propi domini, es troba sotmès, al seu torn, a influències externes. Com a estel, està forçat a seguir allà on l'arrosseguin les atraccions combinades dels seus estels companys; i no ens és possible interpretar del tot les atraccions a les quals obeeix. El resultat immediat del desplaçament del sistema solar en direcció a la constel·lació de la Lira ha estat, certament, determinat; però l'abast final i el propòsit del viatge romanen profundament obscurs. El ritme d'aquest desplaçament pot qualificar-se de pausat: dotze milles per segon és ben poc més de la meitat de la velocitat mitjana dels estels.³ Probablement, però, no patiríem cap molèstia si fóssim arrossegats per l'èter a causa d'un llampec estel·lar com Artur. Només les velocitats excessives de qualssevol cosos adventicis que poguéssim arribar a captar delatarien, a l'experiència ordinària, el fet del nostre propi avanç vertiginós. Tal com van les coses, però, les escombrades que recollim de l'espai semblen ben escasses.

Si fragments de mons en gestació, o pols de mons esfondrats, haguessin sembrat el camí del nostre sistema, aquest els hauria annexat en el seu pas, de manera transitòria o definitiva, i aleshores esperaríem trobar el vèrtex del camí del Sol assenyalat, si no d'altra manera, per un influx predominant, procedent d'aquella direcció, de cometes i meteors. Tanmateix, no hi ha cap indicati d'una

preferència semblant en la distribució de llurs òrbites. D'aquí es desprèn, per força, la conclusió que el Sol ha lligat a ell, a més dels membres de la seva llar immediata, una multitud indefinida de seguidors llunyans, els quals, pel fet d'acompanyar-lo en la seva marxa, reivindiquen amb ell una unitat corporal originària. A aquesta regla hi pot haver algunes excepcions. De tant en tant, algun aeròlit entra a l'atmosfera terrestre amb velocitat hiperbòlica, i mereix així ésser considerat, en el sentit més estricte, un intrús foraster; però la veritat general amb prou feines es pot posar en dubte: el Sol viatja a través d'un buit gairebé absolut.

Tanmateix, no veiem cap necessitat que hagi de continuar-ho fent eternament. Prop del centre i cap a la circumferència del món sideral semblen regnar condicions ben diferents. Allò que pot anomenar-se el buit interior de la Via Làctia és ocupat principalment per estels de tipus solar, entre els quals n'hi ha un que, per a nosaltres, sobresurt per damunt dels altres; es troben separats per intervals immensos, aparentment buits; no són nebulosos i presenten una constitució estable. Aquest hàbitat segur és, de moment, el nostre, encara que en algun temps futur pugui canviar-se per un altre menys exempt de pertorbacions. La forma i la dimensió de l'òrbita del Sol ens són absolutament desconegudes; els canvis d'entorn que n'acompanyaran el recorregut desafien, doncs, tota conjectura. El nostre curs actual és inclinat amb un petit angle respecte del pla de la Via Làctia. Presumiblement patirà

desviacions, però potser no prou grans per mantenir el nostre sistema lliure de possibles barreges amb les multituds estel·lars galàctiques. En la nostra ignorància de llur composició, no és possible aventurar cap previsió dels resultats: són incerts i exorbitantment llunyans. A més, la relativa lentitud del moviment solar garanteix, d'alguna manera, la permanència de les seves relacions còsmiques actuals. Pel que la ciència pot dir, aquestes podrien, en darrer terme, quedar subvertides per alguna catàstrofe predeterminada, però és una possibilitat que resta fora de l'àmbit de la previsió racional.

L'univers, tal com es reflecteix en la ment humana, guanya extensió a mesura que polim el mirall. Els primers astrònoms no concebien sinó un únic sistema solar i una sola «terra dedàlica»,⁴ sobre la qual «el cel d'éssers pàl·lids ple» vessava influències sinistres o propícies. Més endavant, l'egocentrisme humà adoptà una altra forma. Tot l'univers fou assimilat al nostre petit assentament particular. Les condicions terrestres foren universalitzades i cap de divergent no era considerada admissible ni profitosa. I semblava possible només una resposta al perpetu *cui bono?* amb què el pensament inquiet assetjava els cels. Un sol propòsit era jutjat digne de realització: multiplicar, en climes siderals llunyans, còpies del nostre propi planeta, i proveir ubicacions adequades per a miríades d'éssers intel·lectuals tan poc aliens a nosaltres com fos compatible amb el mínim de diversitat en llurs entorns materials.

La difusió d'aquesta «filantropia» astral ha estat en certa mesura refrenada pel progrés del coneixement. Aquest ha mostrat que la nostra posició i les nostres circumstàncies són, si no ben bé úniques, en tot cas molt lluny d'ésser inevitables. Mitjançant un procés d'exclusió ha reduït a un nombre relativament limitat la classe d'estels que podem considerar amb justícia possibles centres de vitalitat; ha ampliat immensament l'abast de la varietat discernible en les disposicions còsmiques, i ha llançat advertiments contra errors d'interpretació deguts a prejudicis innats. I, sens dubte, no ens allunyarem de la veritat si reconeixem la nostra incapacitat de penetrar totes les fondàries i complexitats del Disseny Infinit.

15

Romanents i supervi- vents

Si el Sol i els planetes haguessin estat, en rigorosa veritat, forjats en llur forma present a partir d'una nebulosa primordial, l'espai comparativament buit que els envolta hauria d'aparèixer, de manera natural, sembrat de fragments de material no incorporat. Perquè hom pensaria que el procés d'integració difícilment podia haver-se dut a terme amb una netedat i una precisió tan absolutes que no restessin escampats, pel gran taller de la creació, ni estelles ni llimalles. Ha d'haver-hi restes, llevat que les nostres idees preconcebudes siguin greument errònies; i no cal cercar gaire per trobar-les. Les trobem, aparentment, sota dues formes que presenten dissemblances curioses, però que, fonamentalment, amb prou feines podem dubtar que pertanyin al mateix ordre de coses. Aquests dos tipus de producte sobrer es poden identificar en la innumerable host de cometes i en l'estrany i pàl·lid con de la llum zodiacal.

Una de les addicions més importants i sòlidament establertes al saber, en el camp de la cosmogonia, realitzades durant el segle XIX, ha estat la determinació dels cometes en una posició de dependència plena, perenne i aborigen respecte del Sol. És a dir, el fet que una immensa majoria —si no tots— l'acompanyen en el seu viatge sideral. Han format part, doncs, des de temps immemorials, del seu seguici, i només poden perdre aquesta condició a conseqüència de pertorbacions violentes que els forcin a abandonar irrevocablement llurs òrbites tancades per seguir trajectòries hiperbòliques. És possible una petita fuga de cometes del nostre sistema, que pot quedar compensada o no per l'annexió de membres adventicis de la mateixa classe, igualment expulsats dels dominis d'estels llunyans. Però això és una consideració secundària; el punt essencial que cal retenir és que els cometes són súbdits nadius del Sol, que formen part integrant del seu seguici, que reconeixen un mateix origen substancial, que són dominats pel seu poder i que n'han de compartir la fortuna.

Així doncs, l'estudi d'aquests cossos hauria d'ésser d'allò més il·luminador pel que fa a la prehistòria del nostre sistema, i això per una raó molt particular: semblen pertànyer, per dret propi, a aquell món desaparegut que constitueix l'objecte preferent de la reconstrucció cosmogònica. Podem inferir que són els autèntics habitants primitius de la companyia solar; conserven quelcom de salvatgia perquè no han estat domesticats per una disciplina

gravitatòria sostinguda i inexorable. Cada pas pel periheli és una aventura; entre aquest i el següent poden esdevenir-se incidents decisius. Forces que són negligibles per als globus planetaris densos actuen de manera sensible sobre llurs materials tènues; en part il·lustren de manera notable, i en part trastoquen de forma gairebé fantàstica, els modes habituals de procedir de la natura. Però allò que aquí ens interessa principalment és llur significació per al passat.

Si admetem per a la nebulosa solar incipient una constitució com la imaginada per Kant i adoptada, amb esmenes, per Du Ligondès, ens trobem confrontats amb una conseqüència gairebé inevitable: la de les supervivències simptomàtiques. És a dir, haurien de continuar circulant flocs de matèria encara informe que van escapar de ser arrossegats pels vòrtexs dels planetes embrionaris, tal com ho feien des del principi, en tots els plans possibles i sense cap predilecció pel sentit dextrogiro o levògiro. De fet, aquests romanents desvalguts haurien de ser indistingibles dels cometes, «els únics testimonis», segons el cosmogonista francès, «que ens resten del mode de la primera rotació». * Aquesta identificació és seductora per a la imaginació, i no resta gaire lluny d'imposar-se també a la raó.

Hi ha proves clares que allò que podem gosar d'anomenar el mode nadiu de circulació dels

* Ligondès, citat per l'Abbé Moreux, *Le Problème Solaire*, pàg. 67.

cometes està del tot exempt de les regles que imprimeixen als moviments dels planetes un segell inequívoc de coherència. Els pocs cometes que mostren algun grau d'adequació al pla general són precisament aquells que han estat sotmesos a múltiples pertorbacions i que, per tant, ja no es poden considerar testimonis imparcials; mentre que llurs companys indòmits, deixats en relativa llibertat per continuar amb l'impuls inicial, no revelen cap preferència geomètrica en la manera de desplaçar-se. Giren indistintament a favor o en contra del curs dels signes; llurs òrbites s'inclinen amb tots els angles possibles respecte de l'eclíptica; s'acosten al sol de manera sensiblement igual des de tots els quarts del cel; només coincideixen en el fet de descriure el·lipses tan allargassades que freguen el límit parabòlic. I és precisament així, i no d'altra manera, com hauríem d'esperar trobar cossos en circulació que, agregats en els inicis de manera aleatòria, tal com suposava Kant, s'haguessin apartat tan poc com fos possible de les condicions inicials de la seva unió sistèmica. Així doncs, es pot considerar *prima facie* que els cometes són mostres de la nebulosa ja exhaurida, constituents atenuats d'un caos inconcebible que, defugint l'acció de les lleis del canvi, han davallat pel corrent dels segles pràcticament intactes i sense pertorbacions.

Tanmateix, la qüestió presenta altres vessants, a més d'aquest de caràcter purament mecànic, i tots s'haurien de poder harmonitzar en la veritat, la qual no pot ésser garantida amb més seguretat que per

la concurrència de testimonis; amb tot, l'acomodació no es fa sense dificultats. Els cometes no estan, en un sentit químic, estretament emparentats amb les nebuloses. Són, fonamentalment, de composició carbonosa —l'hidrogen lliure no hi fa cap aparició espectroscòpica—, alhora que inclouen ingredients metàl·lics que ocasionalment arriben a la incandescència per l'excitació violenta d'un pas pel periheli. Les nebuloses gasoses, en canvi, brillen principalment amb la llum de certes substàncies desconegudes, reforçada per línies d'hidrogen i d'heli; tant les bandes del carboni com les línies metàl·liques són alienes als seus espectres. No coneixem, a hores d'ara, cap comunitat química entre les nebuloses blanques i els cometes. La hipòtesi nebular de l'origen cometari queda així desautoritzada pels resultats de l'anàlisi de la llum. Malgrat això, subsisteixen possibilitats de reconciliació. És evident que les condicions espectrals poden variar; les característiques de la llum emesa per un cos de composició mixta ha de modificar-se necessàriament amb l'alteració inevitable de l'estat físic produïda per influències externes o per canvis interns.

La il·luminació selectiva intervé, sens cap dubte, de manera decisiva en la modificació de les dades que podem obtenir sobre la composició de masses llunyanes, i els seus modes d'acció ens semblen capriciosos perquè els entenem encara molt imperfectament. Així, poden produir-se modificacions espectrals simplement per la substitució d'uns elements per uns altres en la conducció —posem per

cas— d'una descàrrega elèctrica, tot i que tots haguessin estat presents des del principi, simultàniament i en proporcions inalterades. D'altra banda, la immutabilitat química ja no pot ésser donada per segura. Els últims anys hem après que fins i tot la individualitat elemental cedeix sota l'envestida del temps. Tard o d'hora, l'empremta, per inviolable que sembli, s'esborra; sobrevenen transformacions d'espècie, i noves combinacions de matèria s'adapten subtilment a les exigències d'un món en creixement. Tot això resta, certament, embolcallat de molta obscuritat; però n'hem entrellucat prou indicis d'instabilitat per rebre'n una advertència ben clara contra les interpretacions dogmàtiques dels caràcters espectrals. La ciència física pot, doncs, atorgar a la teoria cometària del senyor Du Ligon-dès una llicència provisional de *nihil obstat*.

La llum zodiacal suggereix un conjunt de consideracions ben diferent. Si els cometes són d'origen preplanetari, cal suposar que la resplendor eclíptica és postplanetària. Pertany a una època ulterior, ja que està formada, segons una opinió àmpliament acceptada, de materials sobrers, restes de la construcció del seguici de globus al qual pertany el nostre.* Podria comparar-se al xerigot del qual ja ha estat separat el quall; tot el que tenia de valuós n'ha estat extret. En aquest sentit, ens podríem sentir temptats a llençar-la al creixent munt de deixalles del cel, juntament amb la munió asteroïdal, unes

* Moreux, *Le Problème Solaire*, pàg. 133; Ledger, *Nineteenth Century*, març de 1905.

quantos dotzenes de cometes sense tret distintiu i alguns centenars de sistemes meteòrics mal definits. Però sempre val la pena garbellar les deixalles celestes, sobretot a la recerca d'indicis de descendència genealògica; i seria poc assenyat negligir la possibilitat de trobar-ne en els trets peculiars de la llum zodiacal.

Fenomen triple quan es mostra completament, consisteix en un con, una faixa i una resplendor oposada, la llum antisolar o *Gegenschein*. La connexió d'aquestes parts en un tot és evident, però enigmàtica. Habitualment, però, només el con és visible. Apareix al voltant dels equinoccis de primavera i de tardor, després de la posta i abans de la sortida del sol, respectivament, com una il·luminació tènue i lenticular, que s'afua cap amunt des del punt on el sol es troba sota l'horitzó fins a un vèrtex elevat prop del meridià. Amb el nom d'*alba falsa* fou probablement familiar, des de temps molt antics, als pobles orientals. Però aquests la cercaven a l'extrem de la nit oposat al que afavoriren els observadors europeus; i el fenomen no va atreure cap atenció especial a Anglaterra fins a l'any 1660, quan Joshua Childrey en publicà una descripció a la seva *Britannia Baconica*. Tanmateix, ja havia estat observat específicament uns setanta anys abans per Christoph Rothmann de Hessen, i devia haver estat percebut, encara que amb menys discerniment, per innumbrables observadors, que probablement el confongueren, juntament amb objectes tan diversos com les cues dels cometes, els feixos aurorals i

les traces de meteors, dins la classe imprecisa d'aparicions conegudes des de l'antigor amb el nom de *trabes*.

La llum és ordinàriament molt més feble que la de la Via Làctia, a la qual, tanmateix, en algunes ocasions supera de manera inconfusible.* En aquests canvis sembla que hi intervenen fluctuacions reals de brillantor; però no segueixen cap llei de periodicitat que es pugui rastrejar, i són, amb tota certesa, independents del cicle de les taques solars.

La llum antisolar, advertida per primer cop per Pezénas l'any 1730,** caigué aviat en l'oblit, i hagué de ser redescoberta, al cap de cent vint anys, per Brorsen, que li donà el nom amb què avui és coneguda, *Gegenschein*. En temps recents ha estat observada amb força constància, sobretot pel professor Barnard, a qui, a causa de l'escassetat de testimonis disponibles, se li presentà com una novetat sorprenent.*** I sorprenent ho és, sens dubte. L'aspecte del *Gegenschein* és el d'una gran taca el·líptica de llum difusa, d'uns dotze per nou graus d'extensió, situada diametralment oposada al Sol.† De tant en tant, encara que no gaire sovint, es percep que resta unida al con principal per la «banda

* Humboldt, *Cosmos*, vol. IV, pàg. 563 (trad. d'Otté); Maunder, *Journal of the British Astronomical Association*, vol. VIII, pàg. 174; Max Wolf, *Königstuhl Report* de 1904.

** *Paris Memoirs*, 1731, citat per R. Wolf, *Geschichte der Astronomie*, pàg. 695.

*** *Popular Astronomy*, vol. I, pàg. 337.

† Nijland, *Astr. Nach.*, núm 4.008.

zodiacal», una franja de llum evanescent que segueix aproximadament la línia de l'eclíptica. No podem, doncs, equivocar-nos si reconeixem en el gran feix piramidal centrat en el Sol, amb el *Gegenschein* i la seva banda d'enllaç, seccions d'una única formació, que constitueix, en certa manera, el substrat del sistema solar. Una observació recent del professor Newcomb, feta en condicions úniques, ha demostrat que aquest fenomen és molt menys «zodiacal» del que s'havia suposat. Mirant cap al nord des del cim del Rothhorn, a mitjanit del 29 de juliol de 1905, percebé una resplendor ben definida que s'estenia fins a 35 graus de la posició del Sol.* Era la llum vista de perfil, en el seu aspecte transversal, que mai abans no havia estat observat, o ni tan sols buscat; i gràcies a ella coneixem el fet notable que el Sol es troba envoltat per una vasta esfera tènue i lluminosa, d'un perímetre no gaire inferior al de l'òrbita de Venus, i difosa indefinidament al llarg del pla equatorial.

Malgrat la seva indefinició, ni l'espectroscopi ni la càmera resulten del tot ineficaços a l'hora d'escrutar aquest extraordinari apèndix. Hem pogut establir amb certesa que la seva resplendor és de tipus continu, l'origen de la qual per mitjà de la reflexió de la llum solar sobre petits cossos sòlids sembla més que probable. L'estructura sencera ha de ser, doncs, de natura pulverulenta o meteòrica; consisteix en partícules que es mouen de manera

* *Astrophysical Journal*, vol. XXII, pàg. 209.

independent. Però a la pregunta ulterior —sota quin règim circulen aquestes partícules?— no se n'ha obtingut encara una resposta decisiva. El senyor Hansky i d'altres consideren aquesta llum com un veritable apèndix solar, una extensió de la corona, i en aquest cas tindria una permanència formal, però no material.* Representaria l'agregat incessantment variable d'innombrables corpuscles diminuts, emesos pel Sol o repel·lits per ell, i que en gran part retornen cap a la seva superfície. Aquesta interpretació, tanmateix, topa amb una dificultat seriosa: les enormes dimensions de la resplendor; que s'estén molt més enllà de l'òrbita terrestre queda palès pels fenòmens del *Gegenschein* i de la banda zodiacal. És cert que l'abast de l'acció repulsiva del Sol no es pot delimitar amb facilitat, però semblaria natural esperar que els seus productes esdevinguessin massa atenuats per ser identificats més enllà d'un radi d'uns cinquanta milions de milles.

Si, d'altra banda, admetem el caràcter residual de la llum zodiacal, li hauríem d'atribuir una constitució anàloga a la dels anells de Saturn. Cada un dels àtoms còsmics que la integren giraria entorn del Sol pel seu compte, amb una interferència mínima dels veïns. I no cal desesperar de poder determinar amb una certesa raonable quin d'aquests punts de vista s'ajusta a la veritat. Les hipòtesis rivals poden sotmetre's a una prova el criteri de la

* *Comptes Rendus*, 1905, núm. 6; *Nature*, 23 de febrer de 1905.

qual és de cap manera inabastable; el proporciona la geometria mateixa de la llum zodiacal. És evident que, si el Sol pot reivindicar-hi una connexió orgànica, el seu eix hauria de coincidir amb el pla de l'equador solar, mentre que si representa residus de la nebulosa kantiana, hauria d'estendre's al llarg del pla principal del nostre sistema —el pla de moment angular màxim—, aquell cap al qual tendí l'aglomeració primitiva de partícules en rotació a mesura que es condensava. La qüestió dels plans és, doncs, decisiva. L'efluvi zodiacal està disposat simètricament respecte a l'equador solar o pertany pròpiament a l'eclíptica, que només s'aparta molt lleument del pla fonamental del sistema solar? Malauradament, les proves són contradictòries; la majoria d'observadors han situat el feble con equinoccial exactament al llarg del camí del Sol; alguns, però, en circumstàncies excepcionalment favorables, hi han percebut una desviació marcada respecte a la ruta dels signes.

Les determinacions del senyor Marchand al Pic du Midi, per exemple, han assenyalat una coincidència probable entre el pla equatorial solar i l'eix de la llum;* mentre que el doctor Max Wolf aconseguí, l'any 1889, una impressió fotogràfica que, tot i parcial i imperfecta, tendia a corroborar la inferència de Marchand.** D'altra banda, el 16 de novembre de 1904, quan el con mostrà una lluentor remarcable, a Königstuhl s'aprecià amb claredat que

* *Comptes Rendus*, tom CXXI, pàg. 1134.

** *Sitzungsberichte*, Munic, Bd. XXX, pàg. 197.

s'esbiaixava i se separava de l'eclíptica a mesura que ascendia pel cel. Ara, però, que s'ha començat a fotografiar aquest enigmàtic habitant de l'esfera —l'empresa s'ha dut a terme tant a Flagstaff com a Heidelberg—, podem esperar amb confiança una conciliació no gaire llunyana de les afirmacions discordants sobre la seva posició. Fins llavors, no ens és permès d'afirmar que sigui en realitat allò que sembla: una supervivència nebulosa.¹

16

La vida com a resultat

La formació dels mons, se'ns assegura, no fou mancada de propòsit, i el més evident d'aquests propòsits, als nostres ulls, és la preparació d'estatges adequats per a la vida orgànica. Cap altre no sembla d'importància comparable; cap altre, en veritat, no entra plenament dins l'abast de la nostra intel·ligència. Tanmateix, no cal oblidar-ne les limitacions. El punt de vista humà no és l'únic des del qual es pot contemplar el conjunt de les coses; i encara que ens sigui impossible d'abandonar-lo, podem admetre, si més no, que la visió que en deriva probablement no és exhaustiva. Només sabem amb certesa que el fi que se'ns apareix com a suprem ha estat, en un cas, reeixidament assolit; fins a quin punt fou perseguit en altres llocs restarà sempre matèria d'especulació.

Al nostre propi planeta, la presència de la vida no és menys misteriosa pel fet de ser abundant i familiar. En podem resseguir la història estranya del seu lent desplegament, però el secret dels seus inicis defuig del tot la nostra indagació. L'escorça

refredada d'un globus, en altre temps fos, serveix d'escenari al drama; al seu dessota, la calor primigènia encara hi regna. La temperatura s'eleva de manera constant a mesura que es descendeix cap a l'interior de la Terra; a una fondària d'unes dues milles ha d'assolir el punt d'ebullició de l'aigua al nivell del mar. Aquesta temperatura, absolutament incompatible amb la vida, fou antigament, sens cap dubte, la de la superfície. En una època molt remota, doncs, els nostres futurs oceans restaven suspesos com un prodigiós embolcall de vapor damunt una crosta ardent d'escòria i lava; el nostre planeta, avui tan fecund, jeia erm, sense promeses, sense potencialitat, sense cap possibilitat visible de vida.

Així hauria d'haver restat si la llei de la continuïtat s'hagués imposat amb rigor inflexible; però arribà un moment per a un nou començament, i el nou començament es produí. Tingué lloc una alteració transcendental: la Natura inerta fou vivificada; allò que havia estat estèril esdevingué de sobte fecund; un abisme immens fou salvat i el moviment s'inicià al llarg d'una línia de progrés sense terme. Que aquest avenç fou posat en marxa i orientat per una Voluntat intel·ligent és l'única inferència que pot derivar-se d'un examen racional dels fets coneguts.

La vida es pot estudiar a partir de les seves manifestacions, no pas en ella mateixa. Els intents de definir-la no han fet sinó posar de relleu la nostra incapacitat d'«alçar el vel pintat». Tanmateix, podem veure que la seva presència va acompanyada

d'efectes característics, produïts en harmonia amb les lleis de la natura inorgànica, tot i que no en una submissió cega a aqueixes. L'acció es troba d'alguna manera refrenada, i sembla estar guiada amb subtileza però amb seguretat vers fins determinats, prescrits per les necessitats vitals de cada animal o de cada planta. Aquest principi modificador regula de manera inequívoca l'economia de tot organisme vivent; el cessament de la seva activitat significa la mort.

La ciència no ha fet cap progrés real vers la solució de l'enigma de la vitalitat. Ben al contrari, la seva esquivesa esdevé més manifesta a mesura que la investigació guanya en precisió. Sota una disciplina del pensament més laxa, el contrast entre la vida i la mort semblava menys acusat. Es donava fàcilment per descomptat que els éssers reptants naixien de la corrupció, amb el concurs, si calia, de la *virtus coelestis* de la vuitena esfera. Així, al segle IX, es creia que el naixement dels ratolins a partir de la terra humida era indicat pel mot *mus* 'ratolí' (a partir d'*humus* 'terra');* i Van Helmont, en ple apogeu del renaixement del saber, publicà sense cap recança una recepta per a la creació d'aquesta mena d'animals.** Tanmateix, ja hi havia a l'abast un coneixement millor, i Francesco Redi, l'any 1668, cristal·litzà l'opinió de Harvey en la cèlebre màxima: *omne vivum ex vivo*. La seva veritat és

* Hewitt, *Problems of the Age*, pàg. 105.

** Pasteur, *Annales de Chimie et de Physique*, tom XLIV, pàg. 6, 1862.

incontrovertible. Desafiada i posada a prova una vegada i una altra, ha estat igualment confirmada, i avui pot dir-se que, malgrat certs efectes anòmals del radi sobre el brou de vedella, resta fora de l'abast legítim de la controvèrsia. «Que la vida és antecedent de la vida», declarava lord Kelvin el 1871, «em sembla un ensenyament de la ciència tan segur com la llei de la gravitació».*

Però la progressió no és fàcil d'iniciar dins els termes d'un uniformitarisme rigorós. És temptador —si bé poc satisfactori— recórrer a l'expedient de reclamar al passat allò que no ens atrevim a exigir del present, i fa dos mil cinc-cents anys que aprofitem aquest recurs. Heròdot resol una dificultat genealògica amb la frase γένοιτο δ' ἂν πᾶν ἐν τῷ μακρῷ χρόνῳ, que pot traduir-se lliurement així: 'en el llarg decurs del temps, tot pot esdevenir'. Som inclinats a pensar que, antigament, les condicions eren més elàstiques; allò que avui s'ha demostrat impossible esdevé vagament concebible vist a través de la boira d'innombrables ahirs. «Si se'm concedís —deia el professor Huxley— mirar més enllà de l'abisme del temps geològicament registrat, cap a un període encara més remot, quan la Terra travessava unes condicions físiques i químiques que ja no pot tornar a veure, tal com l'home no pot recordar la seva infantesa, esperaria presenciar l'evolució del protoplasma vivent a partir de la matèria inerta».** A aquests primers compostos vitals els

* *Popular Lectures and Addresses*, vol. II, pàg. 198.

** *Report British Association*, 1870, pàg. 84.

atribuïa una naturalesa i un mode de creixement fungoides; i aquesta tria priva l'especulació de bona part de la plausibilitat que, altrament, podria haver tingut. Els fongs no són autosuficients; no poden proveir-se d'aliment a partir de les matèries primeres del món mineral; depenen de l'hospitalitat d'éssers organitzats de manera diferent. No foren, doncs, certament, una de les «primeres mercès de la natura». El senyor Herbert Spencer, així mateix, s'inclinava a considerar la generació espontània com un procés caduc. El salt del no-vital al vital, avui admès pels biòlegs més assenyats com a impracticable, hauria pogut produir-se, li semblava, quan «la calor de la superfície terrestre descendia a través d'aquells intervals de temperatura en què els compostos orgànics superiors són inestables». Però el perquè resta per explicar. Una solució esterilitzada és precisament aquella que s'ha refredat després d'un grau tèrmic elevat; un maó cuit es troba en circumstàncies anàlogues. Per què l'aparició de la vida en temps primordials hauria estat afavorida per un estat de coses que avui li és fatal?

L'essència del nus biològic rau en el «protoplasma». El mot fou encunyat per Von Mohl el 1846 amb l'objecte de subratllar la importància de la substància que designava, la qual constitueix, en efecte, el gruix de tot organisme, animal o vegetal, home, fong o ameba. Huxley l'anomenà encertadament «la base física de la vida», tot afegint, però, la conjectura poc feliç que la seva producció podria haver estat un dels cops de fortuna de la natura.

Hauria estat un cop d'una transcendència incalculable, però d'una improbabilitat no menys incalculable. Les «probabilitats més enllà de l'aritmètica» s'oposaven al fet que aquella tirada concreta sortís de la capsa de daus lucreciana. El «llot primordial» —per emprar l'expressió d'Oken— es compon d'oxigen, nitrogen, hidrogen i carboni, amb percentatges mínims de fosfats i altres sals. Però aquests constituents es combinen d'una manera altament artificial. Vuit-cents o nou-cents àtoms elementals, de fet, intervenen en la formació d'una sola molècula de protoplasma, constituint una estructura d'extrema complexitat, delicadíssimament equilibrada i eminentment inestable. Resulta, en conseqüència, de l'aplicació de forces especialment dirigides, i emmagatzema, en benefici de l'organisme productor, l'energia esmerçada en la seva construcció. Abandonat a si mateix, es desintegra promptament i retorna les seves partícules components a l'esfera inorgànica d'on provenen. Les lleis que hi regeixen són, en veritat, adverses a l'existència del protoplasma; sotmès a la seva acció sense pal·liatius, aquest pereix. Tan raonable fora, doncs, suposar que en el passat geològic els rius corrien costa amunt com que la natura inorgànica topés a les pal·pentes amb aquest meravellós postulat i producte de la vida.

El professor Huxley afirmava que la vida és «una propietat del protoplasma», el resultat inevitable de «la naturalesa i la disposició de les seves molècules», i intentava emascarar l'absurditat del

dictamen invocant una analogia del tot improcedent. L'aigua —argumentava— posseeix qualitats completament diferents de les de l'oxigen o l'hidrogen, i el protoplasma podria igualment, per la sola complexitat de la seva estructura i per l'activació d'afinitats latents, arribar a veure's dotat dels poders transcendents propis de l'existència animada. «Quina millor condició filosòfica —exclamava— té, doncs, la *vitalitat* que l'*aquositat*?»* «Certament —afegia—, el protoplasma només pot ser generat pel protoplasma, d'una manera que escapa a la nostra intel·ligència; però, ¿qui comprèn del tot el *modus operandi* de l'espurna elèctrica que travessa una mescla d'oxigen i hidrogen?» La comparació, però, és inadequada. L'espurna elèctrica no compleix cap funció constructiva: es limita a agitar les molècules i a posar en joc les seves afinitats naturals; actua com un cop mecànic aplicat a la dinamita. A més, l'aigua és un compost estable, perquè la seva formació comporta una pèrdua d'energia; representa un pla que resta ocupat de manera permanent perquè s'hi arriba per un fort pendent. El protoplasma, en aquest aspecte, n'és l'antítesi. La seva composició exigeix força; l'aigua l'exigeix per a la seva descomposició. El protoplasma necessita força i, a més, una disposició adequada: només pot ésser produït per una màquina artificiosament ajustada i amb pressió de vapor. Així, és fabricat contínuament per les plantes sota l'estímul de la

* *Collected Essays*, vol. I, pàg. 153.

llum. Elles aporten l'aparell; els raigs solars, l'energia. Tallat el subministrament de força, la màquina s'atura; el protoplasma deixa de generar-se, i l'organisme mor d'inanició.

Molts biòlegs alemanys es veuen obligats, per la impossibilitat d'explicar les activitats vitals en termes de química o de física, a associar el protoplasma amb alguna mena d'activitat psíquica.* La individualitat, si més no, implica un principi ultramaterial, i aquest principi s'afirma ja en la base mateixa de la creació animal. L'ameba és l'ésser vivent més simple. Antigament anomenada «animàcul proteic», és «tot successivament, i res per gaire temps». Pot ésser rodona o radiada, esfèrica o lenticular, segons que ho prescrivui la conveniència del moment. No posseeix òrgans; els seus membres brillen per llur absència; existeix sense tot allò que constitueix l'equip ordinari d'una criatura animada. I tanmateix, aquests glòbuls nucleats de protoplasma han prosperat amb exuberància al llarg d'innombrables edats. L'adaptabilitat n'ha assegurat la supervivència. L'ameba es troba a casa seva en gairebé qualsevol medi. Allò que no té ja fet, ho pot proveir en un instant. De qualsevol part de la seva substància pot improvisar apèndixs i tentacles per a capturar la presa, així com un estómac per a digerir-la, i d'aquesta manera recorre efectivament tot el cicle de l'economia animal. Algunes varietats, a més, són notables constructores. Els anomenats

* Neumeister, *Betrachtungen über das Wesen der Lebenserscheinungen*, 1903.

foraminífers tenen la facultat de segregar carbonat de calci de l'aigua marina, i amb aquest material construeixen delicades morades, perforades en totes direccions per permetre la protrusió de filaments exploradors. Les closques fòssils i compartimentades d'aquest tipus són extraordinàriament abundants. La seva densa conglomeració en el guix arrencà a Buffon l'exclamació que «fins i tot la pols havia estat viva!».* El *calcaire grossier* amb què és construïda París consisteix principalment d'aquestes closques, i encara avui, en les profunditats oceàniques, els materials de futures capitals són preparats per la indústria monumental d'aquestes criatures modestes.

Tal com són, mantenen un estatus incomparable amb el de les coses no vives; incomparable, per exemple, pel que fa a l'aigua en què suren. El contrast és colpidor, malgrat la seva familiaritat. Una ameba encarna un propòsit; personifica una guspira d'existència personal, que, inconscientment, inclina les forces de la natura inorgànica vers les finalitats del seu propi benestar. La subordinació és ben real, tot i que profundament misteriosa. En els mons orgànic i inorgànic regeixen les mateixes lleis; els mateixos àtoms últims exerceixen en ambdós les seves afinitats; en cap dels dos no és possible un efecte sense causa. Una bala no pot ésser disparada d'un fusell sense pólvora de la mateixa manera que un home no pot alçar un dit sense una despesa

* Owen, *Palæontology*, pàg. 11, 14.

corresponent d'aliment. Per consegüent, mentre les plantes acumulen energia i els animals la gasten, plantes i animals són igualment incapaços d'originar-la. Allò que poden fer és apropiar-se-la i aplicar-la específicament; i aquí rau l'essència de la vida. «Semblaria», escrivia sir George Stokes el 1893, «que fos alguna cosa de la naturalesa d'un poder director, que no contraresta l'acció de les forces físiques, sinó que les guia dins un canal determinat».* Seria inútil provar de definir què és aquest poder en si mateix; només sabem amb certesa que és extrafísic. La matèria no pot fer evolucionar un principi que disposi d'ella com si fos el seu amo. Evolució no significa sinó el desplegament fins a l'evidència d'allò que ja era present d'una manera obscura. El «procés latent» —per emprar un terme baconià— de l'eclosió d'un ou n'és un exemple típic i instructiu. I tanmateix, no és pas menys recòndit pel fet que es produeixi diàriament davant dels nostres ulls. Un conjunt de sols, certament, no ens impressiona tant com la meravella inefable de la «flor en el mur esquerdat», apostrofada pel darrer gran poeta del segle XIX.¹

Els dos grans regnes de la vida manquen d'una «frontera científica». La línia divisòria és mal definida i irregular. Tant és així que alguns naturalistes han establert una zona neutral, o terra de ningú, habitada per criatures de naturalesa mixta o incerta, per animals-planta, o zoòfits en el sentit literal del

* *Gifford Lectures*, pàg. 46.

mot. Però aquest expedient serveix més per emparar la ignorància que no pas per fer avançar el coneixement. Car sembla probable que no hi hagi cap organisme tan mal caracteritzat que sigui realment incapaç de donar una resposta categòrica a la pregunta: «Sota quin rei, miserable?».² Els fongs podrien, potser, a primera vista, ésser presos per híbrids. Comparteixen amb els animals el fet de no poder elaborar el seu propi aliment, mentre que en altres aspectes semblen vegetals autèntics. Són, de fet, paràsits i carronyaires. No existeix la més petita raó per suposar que constitueixin un enllaç genètic entre les dues jerarquies principals. I és que aquestes són, amb tota probabilitat, fonamentalment distintes i només mitjançant una hipòtesi gratuïta se'ls pot atribuir un ancestre comú. Cadascuna cerca un tipus diferent de perfecció; els seus ideals, per dir-ho així, segueixen camins divergents. Que aquests camins fossin traçats des del començament pot afirmar-se amb seguretat; i això implica una separació radical. Les plantes aparegueren primer, car els animals les pressuposen i les requereixen imperiosament; i aquesta anterioritat podria haver estat separada per un interval de temps immens. Sobre aquest punt, les proves geològiques, encara que no concloents, són suggeridores. Els estrats laurentians, que figuren entre les formacions estratificades més antigues, no contenen fòssils recognoscibles. En altre temps es cregué que conservaven les restes d'un organisme humil, batejat *Eozoön canadense*; però les marques que simulaven formes animals

avui se sap que són d'origen mineral.³ El grafit laurentià, en canvi, es troba en gran abundància; i el grafit es pot descriure com el carbó en un estadi més avançat de mineralització. Això ens duu a creure que aquests dipòsits consisteixen en substàncies vegetals alterades; i sembla, doncs, que aquestes roques venerables són el lloc d'enterrament d'una successió profusa de boscos verges. Que prosperaren sota el mar —que eren, en realitat, compostos d'algues— fou l'opinió del professor Prestwich, i no és fàcil de rebatre.*

La vida animal primitiva fou, sens dubte, marina; i els estrats huronians, que recobreixen els laurentians, n'ofereixen alguns vestigis en unes poques espícules d'esponja, el motlle d'un anèl·lid i altres restes igualment escasses. Més amunt, la sèrie cambriana abunda en invertebrats oceànics; els peixos, primer tipus de vertebrats, aparegueren en temps silurians; i així, per una progressió variada i sorprenent, la vida avançà al llarg de les edats, fins que la seqüència ascendent culminà en un ésser forjat en un motlle més diví, que encara avui camina per la terra amb el rostre alçat vers els estels.

Natus homo est [...] illum mundi melioris origo

[...]

*Finxit in effigiem moderantum cuncta deorum.*⁴

* *Geology*, vol. II, pàg. 22.

En el regne vegetal, la llei vital del desenvolupament ha obrat amb un efecte menys conspicu. La superioritat de les flores recents sobre les antigues és més significativa que no pas espectacular. Una falguera arborescent o una *sigillaria* admeten millor la comparació amb un roure que no pas un trilobit o un plesiosaure amb una àguila, un cavall o un lleó. Les variacions geològiques de les plantes, tanmateix, han tendit de manera inequívoca a fer-les més útils a l'home; més útils a les seves necessitats materials, i també més agradables als seus instints estètics. Per a ell foren pintats els pètals de les flors i destil·lats els perfums; per a ell, les herbes de la praderia acumulaven reserves d'aliment sustentador; en preparació de la seva arribada, fruits escollits maduraren i s'envermelliren sota el sol del terciari; mentre que la vegetació estèril i ombrívola de l'època carbonífera ja havia complert la seva funció en morir i convertir-se en vetes de carbó, destinades a proveir de força la indústria humana i de calor per al seu benestar.

Seria abusar de la paciència dels nostres lectors discutir la conjectura estèril d'un origen extraterrestre de la vida al nostre globus. La intervenció, en aquest sentit, d'aeròlits carregats de gèrmens fou invocada per primer cop per Richter, de Dresden; i lord Kelvin donà difusió a la idea mitjançant una referència incidental feta el 1871 des de la presidència de l'Associació Britànica. Adoptar-la ens obligaria a considerar els habitants del nostre planeta, fauna i flora per igual, com a restes salvades

del naufragi d'algun món desconegut de l'espai. *Credat Iudaeus Apella*.⁵ Al nostre entendre, les aventures del baró de Münchhausen semblen més versemblants que la història prenatal de l'organisme primordial que aquesta «hipòtesi desbriada» pressuposa. L'examen de la naturalesa de l'organisme suposat no fa sinó estrènyer el nus de les dificultats. La notable aridesa dels meteorits exclou la possibilitat que hagués tingut un hàbitat aquàtic. Els membres de l'ordre fungoide no són aptes per actuar com a pioners, a causa de la seva impotència pel que fa al proveïment; i no és fàcil esperar que espores, líquens o molses sobrevisquesin a les vicissituds d'un viatge com el que haurien d'haver realitzat si haguessin arribat a la Terra transportats per un meteorit. La hipòtesi immigratòria, a més, encara que fos plausible, no resultaria útil. Les dificultats no desapareixen pel fet de ser arraconades; el problema de la vida és tan formidable en un món com en un altre i no hem d'esperar que sigui més fàcil quadrar el cercle a Mart que no pas ho fou per a Dinòstrat a Grècia; estem convençuts que la matèria no mostra més iniciativa psíquica en el sistema d'Artur d'aquella que li podem atribuir en el sistema del Sol. Podem, doncs, desestimar les conjectures infructuoses, que no ens ajuden a sortir del fangar de la impotència intel·lectual.

Aquesta impotència, però, no ha de ser necessàriament absoluta. La determinació d'examinar les coses únicament sota un prisma mecànic les fa

inintel·ligibles. La ciència esdevé acientífica quan es nega a deixar-se guiar per l'experiència; i poseïm el testimoni més clar de la consciència en el funcionament en nosaltres de facultats originàries, independents de les accions físiques i irreprimibles per elles. Aquí tenim el fil per sortir del laberint. La indicació que se'ns dona és nítida: l'existència d'un Poder exterior a la natura, que actua contínuament i de manera inescrutable en favor de l'ordre, de l'elevació i de la vivificació.

Notes

Prefaci

¹ *Knowledge* va ser una revista britànica de divulgació científica que es va publicar entre 1881 i 1918, de periodicitat mensual, fundada per l'astrònom Richard Proctor. Es poden consultar tots els seus números a <<https://catalog.hathitrust.org/Record/100206858>>.

1. De Tales a Kant

¹ Referència a la famosa novel·la de ciència-ficció d'Edwin Abbot *Planilàndia: una novel·la amb moltes dimensions*, publicada el 1884. La novel·la descriu un món bidimensional i aviat es va fer famosa per la seva capacitat d'explicar conceptes geomètrics. Alhora, la novel·la és una àcida crítica de la rígida societat victoriana de l'època. Hi ha una traducció al català de Jordi Vidal (*Planilàndia*, Laertes, Barcelona, 2021).

² Els abipons eren un grup ètnic que habitava la zona del Gran Chaco, actualment a l'Argentina.

³ Emanuel Swedenborg (o Svedberg, 1688-1772) va ser un científic, filòsof i teòleg suec. Fins a l'edat d'uns cinquanta anys es va dedicar a estudis científics, i feu contribucions destacades. A l'obra *Opera philosophica et mineralia* (1735) fa un esbós de la seva cosmologia i presenta una hipòtesi nebular de formació de la Via Làctia, semblant a la de Kant i que Clerke comenta després en aquest mateix capítol.

⁴ El protil era una hipotètica substància indiferenciada, nascuda de la protomàteria primordial, que després es diferencia en els diversos elements clàssics. Per a Crookes, el protil és la

matèria primigènia original, existent abans de la formació dels elements químics.

⁵ Referència al drama líric de Percy Bysshe Shelley *Prometeu alliberat* (*Prometheus Unbound*), on el Demogorgon apareix com un descendent de Júpiter i Tetis que acaba destronant Júpiter i se'l presenta com un ésser informe i fosc. En el seu significat original, Demogorgon fa referència a un dimoni (en el sentit grec de δαίμων, *daimon*, que designa un esperit savi, però no necessàriament malèfic) associat a una deïtat primitiva de l'inframón.

⁶ *Eneida*, VI, 724-727. Utilitzem la traducció de Miquel Dolç (Editorial Alpha, Barcelona, 1958) per substituir la traducció anglesa que cita l'autora, la de John Conington de 1866 en octosíl·labs: «Know first, the heaven, the earth, the main, / The moon's pale orb, the starry train, / Are nourished by a soul, / A bright intelligence, whose flame / Glows in each member of the frame, / And stirs the mighty whole.»

⁷ Fragment del poema *Balaustion's Adventure*, del poeta i dramaturg anglès Robert Browning (1812-1889). Publicat el 1871, Browning hi presenta una reinterpretació de l'*Alceste* d'Eurípides. El fragment original és «Planets and the pale populace of heaven, / The mind of man, and all that's made to soar»; la traducció és nostra.

⁸ Es refereix a la galàxia coneguda actualment com a Galàxia del Remolí o, amb la denominació oficial, M51a / NGC 5194. Fou descoberta el 1773 per Charles Messier i el 1845 William Parsons, lord Rosse, va identificar que tenia una estructura espiral, la primera observada en el que llavors es coneixien genèricament com a *nebuloses*. En l'època en què escriu Clerke encara no estava del tot clara la naturalesa de totes aquestes nebuloses; amb els treballs d'Edwin Hubble i altres, a la dècada de 1920, es va determinar que moltes d'aquestes nebuloses eren en realitat galàxies com la nostra Via Làctia, situades a milions d'anys llum de distància, mentre que altres eren acumulacions de gas o cúmuls estel·lars situats en la nostra pròpia galàxia a pocs milers d'anys llum de la Terra.

⁹ «discutien sense aturador; mai observaven res, mai calculaven res».

¹⁰ En efecte, Thomas Wright, a l'obra *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe*, de 1750 va explicar l'aspecte de la Via Làctia com «un efecte òptic a causa de la nostra immersió en el que localment s'aproxima a una capa plana d'estrelles».

¹¹ William Herschel va endegar el primer projecte per descriure acuradament la forma de la Via Làctia i la posició del Sol el 1785. Per a això va comptar el nombre d'estrelles en diferents regions del cel i va elaborar un diagrama de la forma de la galàxia amb el sistema solar a prop del centre.

2. La hipòtesi nebular

¹ És a dir, el moment angular.

² La velocitat areolar és l'àrea escombrada pel vector de posició d'un punt en moviment per unitat de temps. És igual a la meitat del producte vectorial dels vectors posició i velocitat i es pot expressar com el moment angular dividit per $2m$, essent m la massa de cos en moviment.

³ Hervé Faye (1814-1902), astrònom francès. Es dedicà a la determinació dels períodes dels cometes, la mesura de paral·laxi i als moviments estel·lars i planetaris. També va estudiar la física del sol. Va plantejar diverses teories originals sobre la naturalesa i la forma dels cometes, els meteors, les aurores boreals i el sol. L'obra *Sur l'origine du monde* es va publicar el 1884.

⁴ Helmholtz i Kelvin van plantejar que la contracció de la massa solar podia explicar la seva emissió de calor. Quan la superfície d'una estrella o d'un planeta es refreda, la pressió interna disminueix i, com a resultat, l'estrella o el planeta es contrau. Aquesta compressió, al seu torn, escalfa el nucli del cos. Com que en l'època en què escriu Clerke la fusió nuclear,

veritable font d'energia del Sol, encara era desconeguda, aquesta contracció gravitatòria era una de les principals hipòtesis per explicar l'origen de l'energia. Tanmateix, Arthur Eddington i altres aviat van adonar-se que la quantitat total d'energia disponible a través d'aquest mecanisme només permetia que el Sol brillés durant uns quants milions d'anys en lloc dels milers de milions d'anys que les proves geològiques i biològiques suggerien per a l'edat de la Terra. D'altra banda, en l'any de publicació del llibre, 1905, feia només nou anys que s'havia descobert la desintegració radioactiva i aquest procés havia entrat com una altra hipòtesi, encara molt dubtosa, per explicar la font d'energia del Sol. Clerke en parla uns paràgrafs més endavant.

⁵ Com hem dit a la nota anterior, el descobriment de la radioactivitat va obrir una nova manera de pensar l'origen de l'energia del Sol. El 1903, poc després que Marie i Pierre Curie revelessin les extraordinàries propietats del radi, l'astrònom irlandès William Edward Wilson va suggerir en una carta a *Nature* que, com comenta Clerke al text, una petita quantitat d'aquest element dins del Sol podria ser responsable de la seva enorme emissió d'energia. Tot i que avui sabem que la hipòtesi era errònia, que al Sol no hi ha radi i que l'energia solar prové de la fusió nuclear, aquest episodi destaca com un primer i intuïtiu pas cap a la concepció moderna del Sol com una font d'energia nuclear.

⁶ NGC 1514 és una nebulosa planetària situada a uns 1500 anys llum del sistema solar. Fou descoberta per William Herschel el 13 de novembre de 1790 i l'obligà a repensar les seves idees sobre la construcció del cel. Fins a aquell moment, Herschel estava convençut que totes les nebuloses consistien en agrupacions d'estrelles massa remotes per poder-les veure separatament, però aquí es trobà una sola estrella «envoltada d'una atmosfera lleugerament lluminosa» i va concloure: «Goso dir que en la nostra opinió la nebulosa al voltant de l'estrella no és de naturalesa estel·lar» (vegeu també la nota 8 del capítol 1).

3. Crítiques a la hipòtesi nebular

¹ George Darwin (1845-1912), advocat, geòleg i astrònom britànic, cinquè fill del famós biòleg Charles Darwin.

² En resum, Clerke ens està dient que el model clàssic de Laplace de la nebulosa uniforme preveia que tot el sistema solar girés coherentment, amb cada planeta conservant el moment angular original. Les observacions mostraven, però, planetes retrògrads i períodes orbitals més curts del que aquest model permetria. Els càlculs de rotació de la nebulosa primigènia indicaven que la força centrífuga hauria estat massa baixa per formar anells o planetes, cosa que demostrava que la hipòtesi no podia explicar la formació del sistema solar sense incloure transferències de moment angular, turbulències i inestabilitats.

³ Forest Ray Moulton (1872-1952), astrònom estatunidenc conegut per ser el proponent, juntament amb Thomas Chamberlin, de la hipòtesi planetesimal de Chamberlin-Moulton, segons la qual els planetes es van formar a partir de cossos més petits que van anomenar *planetesimals*. La seva hipòtesi exigia el pas proper d'una altra estrella per desencadenar la condensació, un concepte que des de llavors ha perdut pes.

⁴ El nebuli va ser un element proposat per William Huggins el 1864. Les fortes línies d'emissió verdes (sobretot a 495,9 nm i 500,7 nm) de la nebulosa planetària de l'Ull de Gat (NGC 6543), descobertes mitjançant espectroscòpia, van dur-lo a postular que un element encara desconegut n'era el responsable. El 1927, Ira Sprague Bowen va demostrar que les línies són emeses per oxigen doblement ionitzat (O^{2+}) i que no calia cap element nou per explicar-les.

⁵ És a dir, la velocitat d'escapament, que correspon a una òrbita parabòlica, la frontera entre una òrbita el·líptica (ligada) i una òrbita hiperbòlica (no lligada amb velocitat que tendeix a zero).

⁶ Citació del *Novum Organum* de Francis Bacon.

⁷ Citació del poema de Tennyson «Ode on the Death of the Duke of Wellington», de 1852, concretament dels versos «O fallen at length that tower of strength / Which stood four-square to all the winds that blew!».

4. Canvis i millores de la hipòtesi nebular

¹ «S'alça l'ombra del nom», possible referència a un vers de la *Farsàlia* de Lucà (I.135): «[...] stat magni nominis umbra / qualis frugifero quercus sublimus in agro».

² Roche emprà el terme *trainées elliptiques*, 'ròssecs el·líptics', 'deixants el·líptics', per descriure les distribucions de matèria en forma d'anells o bandes allargassades al voltant d'un cos central, resultat de la rotació i de les forces mareals. Era una manera enginyosa d'explicar irregularitats en la formació del sistema solar, sense abandonar del tot l'esquema de Laplace.

³ Per *anellament polar* Clerke es refereix a la hipòtesi que, en el procés de formació planetària, la matèria d'una nebulosa en rotació no sols es concentrés a l'equador (on es formarien planetes i anells), sinó que pogués escapar també pels pols, produint uns anells polars.

⁴ Aquest fragment elabora la idea de Roche sobre els rastres el·líptics: la seva baixa velocitat de rotació, en comparació amb la zona equatorial, explicaria dues possibles destinacions: o bé formar anells equatorials interiors o bé tornar a caure i engruixir la massa central.

⁵ En realitat, Mercuri no presenta sempre la mateixa cara respecte al Sol, però en època de Clerke se suposava que orbitava en una relació síncrona d'1:1, com la Lluna respecte a la Terra. No fou fins l'any 1965 que es va comprovar que en realitat la relació entre els períodes de rotació i de revolució és de 3:2. La raó original per la qual els astrònoms pensaven que la relació era d'1:1 era que, sempre que Mercuri estava millor situat per a la seva observació, es trobava gairebé al mateix punt

de la seva ressonància 3:2 i, per tant, mostrava la mateixa cara. La relació de 3:2 fa que un dia de Mercuri duri dos anys mercurians.

⁶ Els dos sistemes retrògrads que esmenta Clerke són Urà respecte al Sol, amb rotació retrògrada (gira sobre sí mateix en sentit contrari al sentit de revolució al voltant del Sol) i Tritó respecte a Neptú, amb òrbita retrògrada (gira al voltant de Neptú en sentit contrari a la rotació de Neptú i de la resta de satèl·lits del sistema). Avui sabem que Venus també presenta una rotació retrògrada molt lenta, però a causa de la dificultat de determinar-ne el període de rotació, això no es va poder confirmar fins l'any 1963 amb observacions de radar; en època de Clerke la rotació de Venus era poc clara i més aviat se suposava que girava de manera síncrona amb el Sol, igual que Mercuri (vegeu la nota anterior).

⁷ És a dir, Júpiter.

⁸ En aquest sentit, vegeu les notes 4 i 5 del capítol anterior.

5. La fricció mareal com a agent cosmogònic

¹ Quan es va publicar el llibre, el 1905, només es coneixia un satèl·lit de Neptú, Tritó. Actualment, se'n coneixen setze, a més d'un feble sistema d'anells.

² Actualment, la teoria més acceptada de l'origen de la Lluna l'explica per l'impacte d'un cos de la mida de Mart, batejat com a Teia, contra la Terra primitiva, fa uns 4.500 milions d'anys. L'impacte va crear un anell de restes que finalment es va acumular en un únic satèl·lit natural. Tot i així, hi ha diverses variacions sobre aquesta hipòtesi del gran impacte i altres explicacions alternatives, com ara un cos capturat o la fissió (a la manera que explica Clerke), entre d'altres. En aquests moments la recerca sobre aquest tema continua sent un camp força actiu.

³ Febe, el novè satèl·lit de Saturn (per ordre de descobriment) fou descobert el 18 de març de 1899 per William Henry

Pickering gràcies a plaques fotogràfiques obtingudes per DeLisle Stewart a l'observatori de Carmen Alto, a Arequipa (Perú). Fou el primer satèl·lit natural en descobrir-se per mitjà de la fotografia. Durant setanta anys no es descobriren més llunes de Saturn, fins Janus i Epimeteu, el 1966, però no fou fins l'any 2000 que es descobriren altres llunes amb les mateixes característiques orbitals que Febe, l'anomenat «grup nòrdic» (actualment se'n coneixen més de cent en aquest grup, totes per sota dels deu kilòmetres de diàmetre; Febe, l'objecte principal del grup, fa 213 km). Actualment es creu que Febe és un objecte del cinturó de Kuiper capturat gravitatoriament per Saturn, no pas un objecte format a partir del cos saturnià primigeni, com se suposa en el text.

⁴ Thomas Jefferson Jackson See (1866-1962) va ser un astrònom estatunidenc. Es tracta d'un personatge prou controvertit, atès que moltes de les seves teories han estat refutades i, sobretot, la seva carrera professional va estar marcada per acusacions de plagi i per diversos conflictes ben agres amb col·legues, a més dels seus atacs a la relativitat. La diferència esmentada per Clerke entre les òrbites de binàries visuals i binàries espectroscòpiques no es va confirmar.

6. La fissió de globus en rotació

¹ Un el·lipsoide jacobità, o de Jacobi, és un el·lipsoide amb tres eixos diferents i en equilibri hidrostàtic que sorgeix quan un cos fluid autogravitant i de densitat uniforme gira amb una velocitat angular constant. Rep el nom del matemàtic alemany Carl Gustav Jacob Jacobi. Abans de Jacobi, l'esferoide de Maclaurin, un esferoide de dos eixos que es va formular el 1742, es considerava l'únic tipus d'el·lipsoide que podia estar en equilibri. El planeta nan 136108 Haumea, descobert el 2004, és un exemple d'el·lipsoide de Jacobi.

² Aquest fragment, en resum, explica el següent. Al principi, mentre la rotació és moderada, el cos té una forma força regular: és gairebé esfèric, una mica aixafat pels pols a causa del

gir. Però quan la velocitat de rotació augmenta molt, aquesta forma ja no es pot mantenir. En aquest punt, el cos deixa de tenir només dos eixos iguals i n'adopta tres de diferents. L'equador, en lloc de ser circular, es torna ovalat. Aquesta nova forma pot ser estable durant força temps. Ara bé, el procés continua: el cos es refreda, i en refredar-se es contrau. En contraure's, gira encara més ràpid (com passa amb una patinadora quan tanca els braços). Això fa que l'eix principal s'allargui cada vegada més, fins que s'arriba a un altre punt crític. Aleshores, l'equilibri torna a trencar-se. La nova forma ja no conserva cap simetria clara i el cos adopta una silueta semblant a una pera, el que s'anomena un *apioide*. Aquesta forma sembla gairebé doble, com si el cos s'estigués partint en dues masses desiguals. Aquesta aparença va portar Poincaré a suggerir que, si la rotació continuava accelerant-se, el solc que divideix la «pera» podria aprofundir-se fins a separar completament el cos original en dos: un cos principal (el planeta) i un altre de més petit orbitant-lo (un satèl·lit).

³ β Lyrae és, en realitat, no un sistema doble, sinó múltiple, situat a uns 960 anys llum del nostre sistema. Tot i que a ull nu apareix com un únic punt de llum, consta de sis components. El component més brillant, designat β Lyrae A, és en si mateix un sistema estel·lar triple, format per un parell binari eclipsant (Aa) i una estrella sola (Ab). Els dos components del parell binari es designen β Lyrae Aa1 i Aa2. Els cinc components addicionals, designats Beta Lyrae B, C, D, E i F, actualment es consideren estrelles individuals. El pla orbital del sistema està gairebé alineat amb la línia de visió des de la Terra, de manera que les dues components principals s'eclipsen periòdicament. β Lyrae constitueix el prototip d'una classe de binàries eclipsants «de contacte» el·lipsoïdals. Les binàries de contacte són estrelles binàries els components de les quals són tan propers que es troben en contacte o mesclen els seus embolcalls gasosos.

⁴ U Pegasi és, en efecte un sistema binari, situat a uns 600 anys llum de nosaltres. L'eclipsi més profund, que comenta Clerke, es produeix quan l'estrella secundària, més freda, se

superposa a l'estrella primària des de l nostre punt de vista. Estudis més actuals suggereixen que el canvi a llarg termini que s'observa en el període orbital es pot explicar per la transferència de massa entre els components, amb matèria que flueix des de l'estrella més massiva a la menys massiva.

⁵ R² Centauri (RR Centauri en nomenclatura actual) és també una binària de contacte, situada a uns 320 anys llum del Sol.

⁶ Certament, V Puppis és una binària massiva situada a 1.400 anys llum de nosaltres, formada per dues grans estrelles que orbiten gairebé en contacte, separades només per 15 radis solars, per a dues estrelles cada una de les quals té unes dimensions d'uns 5 radis solars.

7. Mons a partir de meteorits

¹ Amb «el ferro de Mazapil» Clerke es refereix al meteorit que caigué a Mazapil, a Zacatecas, el novembre de 1885. És un meteorit ferrós força ordinari, però el que el va fer remarcable va ser que va caure durant la pluja dels andromèdids, associada al cometa 3D/Biela, el que feia plausible que el meteorit hagués format part en el passat d'aquest cometa. Pel que fa a les relles de llamp d'Adare, es refereix a un meteorit que va caure a Adare, al comtat de Limerick (Irlanda), el setembre de 1813.

² Es refereix a la nebulosa planetària anomenada Saturn per la seva semblança, a través d'un telescopi poc potent, amb la imatge del planeta Saturn. La seva designació oficial és NGC 7009 i fou descoberta per William Herschel el 1782; està situada a una distància d'entre 2000 i 5000 anys llum del sistema solar (no s'ha pogut determinar amb precisió).

³ Sobre el nebuli, vegeu la nota 3 del capítol 3.

⁴ Referència a un fragment del cant primer d'*El paradís perdut* de Milton: «And chiefly Thou, O Spirit, that dost prefer / Before all Temples th'upright heart and pure, / Instruct me, for Thou know'st; Thou from the first / Wast present, and with

mighty wings outspread / Dove-like satst brooding on the vast
 Abyss / And mad'st it pregnant: What in me is dark / Illumin,
 what is low raise and support; / That to the highth of this great
 Argument / I may assert Eternal Providence, / And justifie the
 wayes of God to men.» Hem reescrit el text de Clerke perquè
 s'ajusti a la traducció catalana de Josep Maria Boix: «I tu, es-
 perit, preferentment, puix que ames / la dretura del cor més
 que cap temple, / alligona'm, car saps; present tu fores / sem-
 pre, i amb les potents ales esteses, / com un colom damunt de
 l'ample abisme, / vas tornar-lo fecund: el que és foscúria / en
 mi, il·lumina-ho; el que és baix, eleva-ho; / i que, en el cim
 d'aquesta magna història, / proclami alt l'Eterna Providència
 / i justifiqui els seus camins als homes.»

⁵ «Neix, no es fa».

8. La cosmogonia al segle xx

¹ Es considera que els cometes, dels quals a data de 2026 n'hi ha més de 4.600 catalogats, es van formar a les zones més exteriors del sistema solar, en l'anomenat núvol d'Oort, tot i que darrerament s'han descobert cometes del cinturó principal (és a dir, objectes en òrbites semblants a les dels asteroides del cinturó principal, però que mostren trets cometaris). D'altra banda, el 1987 es va descobrir el primer dels exocometes, cometes en òrbita al voltant d'altres estrelles, dels quals actualment se'n coneixen 27.

² Les últimes estimacions suggereixen que només un terç dels sistemes estel·lars de la nostra galàxia són dobles o múltiples, a diferència de la opinió prevalent fins no fa gaire (i que és la que presenta Clerke), quan es plantejava que més de la meitat dels estels podien ser dobles o múltiples.

³ Actualment s'ha confirmat de manera sòlida l'existència de planetes que orbiten estrelles múltiples, un fet que durant molt de temps s'havia considerat poc probable a causa de la complexitat dinàmica d'aquests sistemes. En alguns casos, el planeta gira al voltant d'una sola de les estrelles del sistema,

mentre que l'altra (o altres) estrelles queden a una distància prou gran perquè la seva influència sobre el planeta sigui secundària. Aquest tipus de configuració, coneguda com a *òrbita circumestel·lar* o *S-type*, està exemplificada per γ Cephei Ab, un gegant gasós descobert inicialment el 1988 i confirmat definitivament el 2003, que orbita una de les estrelles d'un sistema binari. En altres situacions, el planeta no està lligat a una sola estrella, sinó que descriu una òrbita comuna al voltant de dues estrelles alhora. Són els anomenats *planetes circumbinaris*, amb òrbites de tipus *P-type*, popularitzats en l'imaginari col·lectiu per la imatge de Tatooine a *Star Wars*. Un exemple ben conegut és Kepler-16b, descobert el 2011 gràcies a la missió Kepler, que va proporcionar una de les primeres confirmacions clares d'aquest tipus de mons. A més, s'han identificat sistemes encara més complexos, amb planetes que es mouen en entorns formats per tres estrelles. En aquests casos, com el del candidat HD 131399Ab, la dinàmica orbital esdevé especialment rica i ofereix un camp d'estudi privilegiat per entendre fins a quin punt la formació planetària pot adaptar-se a condicions extremes.

⁴ Vegeu la nota 4 del capítol 1.

9. Què és el protil?

¹ Referència al sonet de Percy B. Shelley «Lift Not the Painted Veil».

² A partir del seu estudi dels elements, el metge i alquimista Paracels (1493-1541) va adoptar la idea de conjunts tripartits per explicar la naturalesa dels medicaments, que ell creia que estaven compostos per *tria prima* o 'tres principis': un element combustible (sofre), un element fluid i canviant (mercuri) i un element sòlid i permanent (sal).

³ La hipòtesi de Prout va ser un intent d'explicar l'existència dels diversos elements químics mitjançant una conjectura sobre l'estructura interna de l'àtom. El 1815 i el 1816, el químic anglès William Prout (1785-1850) va publicar dos articles en

què observava que els pesos atòmics que s'havien mesurat per als elements coneguts en aquell moment semblaven ser múltiples enters del pes atòmic de l'hidrogen. Així, va plantejar la hipòtesi que l'àtom d'hidrogen era l'únic objecte veritablement fonamental, que va anomenar justament *protíl*, i que els àtoms d'altres elements eren en realitat agrupacions de diverses quantitats d'àtoms d'hidrogen. Tanmateix, mesures més acurades dels pesos atòmics, com les compilades per Jacob Berzelius el 1828 o Edward Turner el 1832, van refutar la hipòtesi; en particular, el pes atòmic del clor, que és 35,45 vegades el de l'hidrogen, no es podia explicar en aquell moment en termes de la hipòtesi de Prout. Alguns van arribar a l'afirmació *ad hoc* que la unitat bàsica era la meitat d'un àtom d'hidrogen (el «semiàtom» que comenta Clerke en el text), però així i tot van sorgir més discrepàncies. La diferència entre la hipòtesi de Prout i els pesos atòmics amb valors allunyats dels múltiples enters de l'hidrogen es va explicar entre 1913 i 1932 gràcies al descobriment dels isòtops i del neutró.

⁴ Vegeu la nota 3 del capítol 3.

⁵ Astolfo és un personatge fictici de la Matèria de França, on és un dels paladins de Carlemany. És fill d'Otó, el rei d'Anglaterra (possiblement referència a Offa de Mèrcia), i cosí d'Orlando i Rinaldo. La seva primera aparició important va ser al poema èpic francoitalià anònim de principis del segle XIV *La prise de Pampelune*. Munta un cavall anomenat Rabicano, un cavall màgic fet de vent i flames, que s'alimenta d'aire i trepitja amb tanta lleugeresa que no deixa petjades.

⁶ És a dir, electrons, descoberts ben poc abans, el 1897, en aquests experiments amb raigs catòdics. Thomson rebria el premi Nobel el 1906 per aquest descobriment.

⁷ Efectivament, les partícules α són nuclis d'àtoms d'heli.

⁸ És a dir, els raigs X, que són, en efecte, radiació electromagnètica d'alta freqüència. L'afirmació de Clerke a l'inici del paràgraf «caldrà dedicar molt de temps i paciència a l'ajustament del nou i millorat sistema destinat a reemplaçar-lo» era ben certa, i no fou fins el desenvolupament de la física

quàntica que tots aquests fenòmens van trobar una explicació unificada.

10. Forces universals

¹ En la teoria newtoniana, la gravetat actua de manera instantània; Newton mateix admetia que aquesta acció a distància era difícil d'explicar, però el model funcionava perfectament que la qüestió va quedar oberta. A començaments del segle XIX, Pierre-Simon Laplace va intentar calcular què passaria si la gravetat tingués una velocitat finita i va concloure que, per no desestabilitzar les òrbites planetàries, aquesta velocitat hauria de ser enorme, molt superior a la de la llum. Tot i això, el seu plantejament partia encara del marc newtonià i no resol·lia el problema de fons. El gir decisiu arribà amb els treballs de Lorentz i d'Einstein i la relativitat general. En aquesta teoria, la gravetat no és una força que viatgi per l'espai, sinó una manifestació de la curvatura de l'espai-temps. Els canvis en aquesta curvatura (les anomenades *ones gravitatòries*) es propaguen a una velocitat finita, que és la mateixa velocitat de la llum. Observacions recents d'ones gravitatòries, especialment des de 2017, han confirmat amb gran precisió aquesta predicció.

² Osborne Reynolds (1842-1912) fou un físic i enginyer irlandès, pioner en l'estudi de la mecànica de fluids. És especialment conegut pel nombre de Reynolds, que descriu el règim laminar o turbulent d'un fluid. Un dels temes que Reynolds va estudiar a la dècada de 1880 van ser les propietats dels materials granulars. El 1903 (ben poc abans de l'obra de Clerke) va publicar el seu llibre *The Sub-Mechanics of the Universe*, en què va intentar generalitzar la mecànica dels materials granulars per poder «tenir en compte tota l'evidència física, tal com la coneixem, a l'Univers». En el fons, volia construir una teoria de l'èter, que considerava que estava en estat líquid, però les idees eren complexes i difícils d'avaluar (tal com ja apunta Clerke), i en qualsevol cas van ser superades per altres desenvolupaments de la física al voltant de la mateixa època.

³ De nou, cal tenir en compte aquí, que la velocitat suposada de propagació de la gravetat és incorrecta, com s'ha comentat a la nota 1 d'aquest capítol; és justament la velocitat de la llum, i no pas sis milions de vegades aquesta. L'error només es pot corregir amb la interpretació correcta, relativista, de la gravetat. L'explicació és complexa, però a grans trets, l'atracció cap a un objecte que es mou amb una certa velocitat es dirigeix cap a la seva posició instantània sense retard. En una equació de camp coherent amb la relativitat especial (és a dir, una equació invariant de Lorentz), l'atracció entre cossos que es mouen amb velocitat relativa és sempre cap a la posició instantània de la massa, no cap a la posició amb retard temporal, com passa amb una descripció purament clàssica.

⁴ És a dir, els raigs X.

⁵ La hipòtesi de Lorentz per a la gravetat tenia un problema greu, compartit amb les anteriors hipòtesis que Clerke comenta al llarg del capítol: no és capaç de predir correctament el canvi en la posició del periheli de Mercuri, fet experimental que només aconseguirà explicar la relativitat general. D'altra banda, no deixa de ser irònic que una de les raons que Clerke, com molts altres físics del moment, addueix per descartar moltes hipòtesis és que duen a una velocitat de propagació de la gravetat massa baixa, quan en realitat donaven una velocitat de propagació correcta.

11. L'èter inevitable

¹ Més enllà de la idea d'èter de la ciència antiga i medieval, en les quals era simplement el medi que omplia les esferes celestes per sobre de la terrestre, a partir de Newton, el terme passà a fer referència a un medi amb propietats físiques més concretes. Les diverses teories de l'èter sostenien que l'espai no era realment buit, sinó que estava ple d'un medi invisible que permetia la propagació de la llum i d'altres interaccions físiques. Aquesta idea pretenia explicar el caràcter ondulatori de la llum mitjançant un suport material universal, ja que es

considerava que qualsevol ona (i, per tant, la llum) necessitava un medi per a propagar-se. Tanmateix, els intents experimentals de detectar el moviment de la Terra a través d'aquest medi hipotètic van fracassar, i la formulació de la relativitat especial per part d'Albert Einstein el 1905 va eliminar del tot la necessitat de cap èter, de cap marc de referència absolut. Des d'aleshores, l'èter clàssic ha quedat descartat en la física convencional, tot i que alguns conceptes moderns, com certes propietats del buit quàntic, han estat comparats metafòricament amb aquella noció històrica.

² Al·lusió a un fragment de l'*Odissea* (XIX 560 ss.), en què Penèlope explica a Ulisses (abans de reconèixer-lo) que els somnis arriben als humans per dues portes simbòliques: la porta de banya, per on passen els somnis veritables, i la porta d'ivori, per on passen els somnis enganyosos. En la traducció de Carles Riba: «I al seu torn li digué la molt discreta Penèlope: / Hoste, hi ha somnis que són impossibles, talment d'un llenguatge / indestriable, i no tot se n'arriba a complir per als homes. / Car són dos tanmateix els portals dels somnis inanes: / sí, un que té els batents de banya i l'altre de vori. / Doncs quan el somni ens ve pel portal de vori serrívol, / és un engany i porta paraules que en res no acaben; / i els que venen per l'altre portal de banya polida, / en veritat acaben, qui sigui dels homes que els vegi». La imatge apareix també al *Càrmi-des* de Plató (173a).

³ Aquí Clerke planteja els diversos requisits de l'*èter luminífer* i de l'*èter mecànic*.

⁴ William Thomson, que més endavant seria conegut com a lord Kelvin, es va interessar per la naturalesa dels elements químics de John Dalton, els àtoms dels quals apareixien en pocs tipus però en quantitats immenses. Inspirat pels treballs de Helmholtz, va imaginar que l'èter podia sostenir vòrtexs estables, similars als que es poden generar en els fluids. Segons els teoremes de Helmholtz, aquests vòrtexs podien correspondre a diferents tipus de nusos i Thomson proposà que cada nus representava un element químic diferent i que diverses configuracions podien agrupar-se per formar molècules,

tot i que menys estables. Va presentar aquesta teoria a l'article «On Vortex Atoms», publicat el 1867 als *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*.

⁵ Per «electró positiu», aquí Clerke no es refereix al positró, l'antipartícula de l'electró, que no es plantejaria fins el 1928 per part de Paul Dirac i no es descobriria fins el 1932. Fa referència, de manera general a partícules amb càrrega positiva més o menys hipotètiques. La discussió que segueix, malgrat que sembla anticipar la de Dirac, es basa en propietats de l'èter, que no trigaria gaire a quedar descartat com a hipòtesi vàlida de la física.

12. Les formes de les nebuloses

¹ És a dir, la teoria que la nebulosa nodreix l'estrella central (de *pabulum*, 'aliment').

² GK Persei, també anomenada Nova Persei 1901, va ser una nova molt brillant descoberta el 22 de febrer de 1901 per Thomas David Anderson. Va arribar a una magnitud màxima de 0,2, la nova més brillant dels temps moderns fins a l'aparició de Nova Aquilae 1918. Després d'atenuar-se fins a magnitud 12-13, al llarg del segle XX va començar a mostrar esclats ocasionals d'entre 2 i 3 magnituds. Des del 1980, més o menys, aquests esclats s'han tornat regulars, amb una durada d'uns dos mesos i una periodicitat aproximada de tres anys. A més, va ser la primera nova en què es va observar un aparent moviment superlumínic del material ejectat, un fenomen assenyalat ja el 1901 per Jacobus Kapteyn a partir d'estimacions de la seva distància a la Terra.

³ En tota aquesta discussió cal recordar que en aquells anys encara es considerava que les «nebuloses espirals» eren objectes situats a la nostra galàxia o molt a la vora. No fou fins als treballs de Heber Curtis el 1917 que es començà a considerar seriosament la possibilitat que aquestes espirals fossin en realitat altres galàxies. El 1925, Edwin Hubble va resoldre el debat sobre la naturalesa de la nebulosa d'Andròmeda

identificant-hi, per primera vegada, estrelles variables cefeïdes en fotografies preses amb el telescopi Hooker de 100 polzades de l'Observatori del Mont Wilson. A partir d'aquestes cefeïdes, va poder calcular-ne la distància i demostrar de manera concloent que la Gran Nebulosa d'Andròmeda no era cap objecte dins de la Via Làctia, sinó una galàxia independent situada molt més enllà dels seus límits.

⁴ Es refereix a la gran nebulosa d'Orió, M42. Malgrat que el seu descobriment es concedeix a diversos observadors, fou Huygens qui la va descriure i dibuixar en detall al seu *Systema Saturnium* (per això Clerke la qualifica de «portent huygenià»). Les fotografies de llarga exposició de Pickering i molts d'altres (Henry Draper, Ainslie Common) van revelar moltes més estrelles i grans extensions de gas impossibles de veure a ull nu o amb telescopis.

⁵ Es refereix a la galàxia IC 1296, que, efectivament, està situada visualment a només quatre minuts d'arc de la nebulosa anular de la Lira. Però a diferència del que suggereix Clerke («ambdues resten unides per plecs corbats de nebulositat i formen així un sistema espiral compost»), no tenen cap relació entre elles. La nebulosa de la Lira pertany a la nostra galàxia, la Via Làctia, i es troba a uns 2.600 anys llum de nosaltres; IC 1296 és una galàxia espiral barrada situada a uns 238 milions d'anys llum de la Via Làctia.

⁶ La nebulosa de l'halter, M 27, o nebulosa *dumbbell*, en anglès, és una nebulosa planetària visible a la constel·lació de la Guineu.

⁷ Es refereix a la que actualment es coneix com a nebulosa de la Taràntula, a la constel·lació de l'Orada, NGC 2070, una gran regió H II (un núvol de gas ionitzat, fonamentalment hidrogen i heli) situada a la banda sud-est del Núvol Gran de Magallanes (observat des de la Terra).

13. L'evolució dels sols

¹ Durant les dècades de 1860 i 1870, Angelo Secchi va crear una classificació de les estrelles en funció de les característiques dels seus espectres. Consistia en sis classes: I, I (subtipus Orió), II, III, IV i V. Abans d'acabar el segle, però, la classificació de Secchi començà a ser substituïda per la de Henry Draper i Williamina Fleming, subdividint els grups de Secchi en un total de setze, especificats de la A fins la Q. Aquest sistema de lletres mostrava la disminució gradual de l'absorció d'hidrogen en les classes espectrals en avançar per l'alfabet. El sistema de classificació va ser modificat posteriorment per Annie Jump Cannon i Antonia Maury per produir l'esquema de classificació espectral de Harvard, que el 1912 era ja pràcticament igual a l'actual, amb la tradicional classificació, de temperatura decreixent, O, B, A, F, G, K, M (ben coneguda per la frase mnemònica «*Oh, Be A Fine Girl/Guy, Kiss Me*»).

² En els paràgrafs següents, Clerke presenta una explicació detallada i força tècnica de les característiques de diversos espectres estel·lars. Avui en dia ens pot semblar exageradament tècnica per a un llibre de divulgació, però cal tenir en compte que ens trobem en la gran època de l'espectroscòpia astronòmica i tant els professionals com els aficionats a l'astronomia estaven força pendents dels avenços en aquest camp. També cal recordar que, sense tenir coneixement dels processos de fusió nuclear, l'evolució de les estrelles presentava molts interrogants de difícil solució.

³ Com ara sabem, l'heli present a les estrelles no prové de la desintegració del radi, sinó de la fusió de l'hidrogen.

14. El nostre sistema

¹ Actualment coneixem 274 satèl·lits de Saturn, a banda dels seus sistemes d'anells. Els satèl·lits els podem dividir en dos grans tipus de llunes: regulars i irregulars. Les 24 llunes regulars orbiten en sentit prògrad i amb òrbites poc inclinades respecte al pla equatorial del planeta. Hi trobem els set satèl·lits esfèrics i altres llunes petites, algunes en òrbita troiana o co-orbital (com Janus i Epimeteu). Algunes es troben dins o prop

dels anells principals i actuen com a llunes pastores que mantenen l'estructura d'anells com l'A i l'F (la majoria reben noms de titans i figures associades amb el Saturn mitològic). Les altres 250 llunes són irregulars, més petites i molt més allunyades. Presenten òrbites molt inclinades i sovint excèntriques, tant prògrades com retrògrades. Probablement són cossos capturats o fragments resultants de col·lisions. Es classifiquen en diversos grups segons les seves característiques orbitals (Inuit, Gàl·lic i Nòrdic), amb noms procedents de les mitologies corresponents.

² Els dos satèl·lits de Júpiter descoberts per Charles D. Perrine són Himàlia i Elara. Actualment es coneixen 97 llunes de Júpiter, de les quals vuit són regulars, amb òrbites prògrades, gairebé circulars i poc inclinades respecte al pla equatorial. D'aquestes, les quatre principals —els satèl·lits galileans— són gairebé esfèriques i tan massives que podrien considerar-se planetes si orbitessin directament el Sol. Les altres quatre, anomenades llunes interiors, són molt més petites i properes al planeta, i proporcionen la pols que forma els anells de Júpiter. La resta són llunes irregulars, situades molt més lluny, amb òrbites molt inclinades i sovint excèntriques, tant prògrades com retrògrades. Probablement són antics asteroides capturats per la gravetat de Júpiter, alguns dels quals es van fragmentar per col·lisions i van donar origen famílies de llunes amb òrbites similars.

³ En realitat, el sistema solar es desplaça per la Via Làctia en una òrbita aproximadament circular d'un radi d'uns 30.000 anys llum, a una velocitat d'uns 220 km/s.

⁴ Referència a l'oda a la llibertat de Shelley: «The daedal earth / That island in the ocean of the world / Hung in its cloud of ill-sustaining air».

15. Romanents i supervivents

¹ Actualment sabem que la llum zodiacal, la banda zodiacal i el *Gegenschein* estan produïts per la difusió de la llum solar

en la pols interplanetària, tal com van revelar i confirmar les observacions de les naus espacials *Pioneer 10* i *Helios* a la dècada de 1970. L'origen d'aquesta pols, però, continua essent tema de debat. El 2015, resultats de l'espectròmetre de pols d'ions secundaris COSIMA a bord de la sonda *Rosetta* van confirmar que els cossos progenitors de la pols interplanetària són molt probablement cometes de la família de Júpiter, com ara el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. D'altra banda, l'anàlisi de les imatges de la nau espacial *Juno* mostra que la distribució de la pols s'estén des de l'òrbita terrestre fins a la ressonància orbital 4:1 amb Júpiter, a 2,06 UA, i suggereix que la pols prové de Mart; tanmateix, altres instruments a bord d'altres sondes espacials no han trobat cap indici que Mart sigui una font important de pols a part dels cometes i els asteroides.

16. La vida com a resultat

¹ És a dir, Alfred Tennyson. El vers és del poema «Flower in the crannied wall»: Flower in the crannied wall / I pluck you out of the crannies, / I hold you here, root and all, in my hand, / Little flower—but if I could understand / What you are, root and all, and all in all, / I should know what God and man is.

² Cita de l'escena 3 de l'acte V de la segona part de l'*Enric IV* de Shakespeare, on Falstaff pregunta «Under which king, Be-zonian?»; en català, «Sota quin rei, brètol? Parla, o mor!».

³ Efectivament, l'*Eozoön canadense* és un pseudofòssil, és a dir, una formació inorgànica que es pot confondre amb un fòssil. Aquest, en concret, es van trobar el 1863 en calcàries precàmbriques a Côte St. Pierre, prop de Grenville (Quebec), i també en altres indrets. El descobridor, John William Dawson, ho va qualificar com «una de les joies més brillants» del Servei Geològic del Canadà. Tanmateix, el 1894 es demostrà que el seu origen estava en processos metamòrfics.

⁴ Fragment, parcialment adaptat, de les *Metamorfosis* d'Ovidi (I, 77-78, 83). Els versos originals són «Natus homo

est, siue hunc diuino semine fecit / ille opifex rerum, mundi melioris origo / [...] / finxit in efigiem moderantum cuncta decorum». En la traducció catalana d'Adela Maria Trepà i Anna Maria de Saavedra (Bernat Metge, 1929): «L'home nasqué, ja sigui que el fes d'una llavor divina aquell artesà de les coses, com a origen d'un món millor [...] la va modelar a imatge dels deus que tot ho mesuren».

⁵ Fragment de les *Sàtires* d'Horaci (I.5). Literalment, «que s'ho cregui el jueu Apella», una manera de dir que si algú crèdul i supersticiós s'ho vol creure, endavant, però no pas jo.