

ELS DESCOBRIMENTS EN ASTRONOMIA



RECONS DE
CIÈNCIA, 3

ELS DESCOBRIMENTS EN ASTRONOMIA

Herbert Hall Turner

Doctor en ciències i membre de la Royal Society
Catedràtic savilià d'astronomia a la Universitat d'Oxford

Traducció i notes de Marc Figueras

Títol original: *The Astronomical Discovery*

1a edició: juny de 2025

Aquesta traducció © 2025 per Marc Figueras està llicenciada sota Creative Commons Reconeixement-CompartirIgual 4.0 Internacional.



ISBN: 978-1-326-43618-6

Impressió: LuLu.com

ÍNDIX

PREFACI	1
1. URÀ I EROS	3
2. EL DESCOBRIMENT DE NEPTÚ	35
3. BRADLEY, L'ABERRACIÓ I LA NUTACIÓ	73
4. DESCOBERTES ACCIDENTALS	103
5. SCHWABE I LES TAQUES SOLARS.....	133
6. LA VARIACIÓ DE LATITUD	153
ÍNDIX ALFABÈTIC	189
NOTES	193

Prefaci

L'objectiu de les pàgines següents és il·lustrar, mitjançant l'estudi d'uns quants exemples triats gairebé a l'atzar, la diversitat de caràcters dels descobriments astronòmics. De fet, un cop seleccionats, he intentat endreçar la mitja dotzena d'exemples en una seqüència aproximada en funció de la quantitat d'«atzar» associada al descobriment, tot i que des d'aquest punt de vista el capítol 4 hauria de ser el primer; en qualsevol cas, no és un element en què hi vulgui insistir massa.

Sens dubte, en la majoria de descobriments hi ha un element de «sort». «Les troballes més grans són sort», m'escriu un col·lega astrònom que m'ha fet l'honor de donar una ullada a unes quantes pàgines d'aquesta obra, «però un home no ha de desaprofitar allò que li arriba a les mans. Heu llegit alguna vegada l'assaig de Montaigne “De la glòria”? Val la pena; canvieu la guerra i la glòria pel descobriment i és exactament el mateix. Si busqueu una consigna, n'hi trobareu en abundància». De fet, fins i tot en casos com els dels capítols 5 i 6, on s'assoleix un descobriment tot remenant un munt de deixalles —així considerades pels experts i, en conseqüència, bandejades— sentim instintivament que la troballa d'alguna cosa valuosa ha estat especialment «afortunada»; en qualsevol cas, amb prou feines podríem recomanar un material de rebuig d'aquesta mena com el millor terreny per a la cerca de gemmes.

Els capítols del llibre corresponen aproximadament a una sèrie de sis conferències que vaig impartir a la

Universitat de Chicago l'agost de 1904, gràcies a l'acollidora invitació del rector Harper.¹ Vaig tenir l'oportunitat de visitar diverses instal·lacions d'aquesta magnífica universitat, que només té una dotzena d'anys i que, tanmateix, mostra una energia d'allò més animosa; i, sobre tot, el seu observatori (l'Observatori Yerkes, situat a vuitanta milles de distància, al llac Geneva), que sols té vuit anys i, tot amb tot, s'ha fet un lloc entre els observatoris de primera línia. Per aquestes oportunitats, vull deixar constància aquí del meu agraïment més profund.

En una part del primer capítol resultarà evident al lector que estic en deute amb la *History of Astronomy in the Nineteenth Century* de la senyoreta Clerke; en el segon, amb la *Memoir on the Adams MSS* del professor R. A. Sampson; en el tercer, amb la *Life of Bradley* de Rigaud.² Hi ha altres deutes que espero que hagin quedat degudament reconeguts en el text. He d'expressar també el meu agraïment al senyor F. A. Bellamy per la cura amb què ha llegit les proves; i estic en deute, pel permís concedit per a la publicació de les il·lustracions, amb la Royal Astronomical Society, l'astrònom reial, els editors de *The Observatory*, la Cambridge University Press, l'Observatori Universitari Harvard, l'Observatori Yerkes i els representants vius de dos dels retrats presentats aquí.

1

Urà i Eros

D'un astrònom se n'esperen descobriments. Avui en dia, aquells que no són especialistes en el tema amb prou feines consideren que un naturalista hagi de descobrir nous animals, o que un químic hagi de trobar nous elements, excepte en comptadíssimes ocasions; en canvi, sí que pensen que un astrònom fa descobriments. La imaginació popular el representa passant les nits encimbellat en una alta torre, observant el cel a través d'un llarg telescopi i recompensat, de tant en tant, amb la troballa d'alguna cosa nova, però sense que hagi hagut de fer gaire esforç mental. M'agradaria comparar aquest quadre romàntic amb alguns fets reals, amb algunes de les maneres en què de debò es fan els descobriments; i si trobem que la imatge i la realitat difereixen, espero que, tanmateix, el romanticisme no quedi destruït, sinó que s'adapti a unes condicions més semblants als fets.

La concepció popular troba una expressió en aquests versos de Keats:

Llavors vaig ser com vigia del firmament
quan troba l'astre nou que es va obrint pas,

Keats va néixer el 1795, va publicar el seu primer volum de poemes el 1817 i va morir el 1821. En l'època en què escrivia, el descobriment de planetes era un fet comparativament nou en l'experiència humana. William Herschel havia descobert Urà el 1781, i durant els anys 1800 a 1807 van venir els primers quatre planetes menors, un nombre destinat a romandre sense addicions durant gairebé quaranta anys. Seria absurd llegir cap mena d'al·lusió exacta en les paraules citades quan recordem el conjunt de circumstàncies en què van ser escrites, però potser se'm pot perdonar si les comparo, en concret, amb el descobriment real del planeta Urà, per la raó que aquest va ser, amb diferència, el més gran dels cinc —molt més gran que qualsevol altre planeta conegut excepte Júpiter i Saturn, ja que tots els altres són molt més petits— i que Keats utilitza al llarg del poema metàfores basades en les primeres visions d'un «lloc immens» de terra o aigua. Tal vegada val la pena que reproduïxi el sonet sencer; el seu amic C. C. Clarke li havia deixat al davant la «paràfrasi» d'Homer de Chapman,³ i per llegir-la Keats i Clarke van romandre clavats a la cadira fins que es va fer de dia: «Keats cridava de joia quan algun fragment ple d'energia impressionava la seva ment. A les deu del matí següent, el senyor Clarke va trobar el sonet a la taula de l'esmorzar»:

Molt he vagat per mil reialmes daurats,
i he vist estats i regnes ben formosos;
per illots d'occident he anat, joiosos,
que Apol·lo als seus poetes ha ofrenats.

Sovint sentia dir que en un lloc immens
el gran Homer regnava amb veu serena,
però el seu alè m'arribava amb pena
fins que Chapman el parlà fort i intens.

Llavors vaig ser com vigia del firmament
quan troba l'astre nou que es va obrint pas,
o com Cortés, en aquell excels moment

que el Pacífic, amb ulls d'àliga i llaç,
veié, i els seus, des d'un cim del Darién,
muts contemplaven el gran i blau pas.

Així doncs, com a primer exemple de la manera com es fan els descobriments astronòmics, passem al descobriment del planeta Urà i vegem en quina mesura el procés es correspon amb la concepció popular tal com l'expressa Keats. En un aspecte, les seves paraules són fidels als fets. Si alguna vegada ha existit un «vigia del firmament», sens dubte William Herschel és qui té dret a tenir aquest títol. Tenia el costum de vigilar els astres durant tota la nit, des del primer moment possible fins a l'alba, i els fruits dels seus treballs van ser molts i diversos, tants que gairebé costa de creure. Ara bé, podríem dir que el planeta «es va obrir pas»? Fem una ullada a l'anunci original del seu descobriment tal com es presenta a les *Philosophical Transactions* de 1781:

Descripció d'un cometa

*Pel senyor Herschel, membre de la Royal Society
(presentat pel Dr. Watson, de Bath, membre de la RS)*

Llegit el 26 d'abril de 1781

Dimarts 13 de març, entre les deu i les onze del vespre, mentre examinava les petites estrelles de la rodalia de H Geminorum, en vaig percebre una que semblava visiblement més gran que la resta; em va impactar la seva magnitud poc comuna i la vaig comparar amb H Geminorum i la petita estrella del quartil entre Auriga

i Gèmini, i en trobar que era molt més gran que qual-sevol d'aquestes, vaig sospitar que podria ser un cometa.

En aquells dies estava jo immers en una sèrie d'observacions sobre la paral·laxi de les estrelles fixes, que aviat espero tenir l'honor de poder presentar davant la Royal Society; com que són observacions que requerien augments molt elevats, tenia a mà els diversos oculars de 227, 460, 932, 1536, 2010, etc., tots els quals vaig utilitzar amb èxit en aquella ocasió. La potència que tenia quan vaig veure el cometa per primera vegada era de 227. Per experiència sabia que els diàmetres de les estrelles fixes no augmenten proporcionalment amb potències superiors com sí ho fan els dels planetes; per això vaig col·locar els augments 460 i 932, i vaig trobar que el diàmetre del cometa augmentava en proporció a la potència, com hauria de ser si suposem que no era una estrella fixa, mentre que els diàmetres de les estrelles amb les quals el vaig comparar no augmentaven en la mateixa proporció. A més, quan vaig ampliar el cometa molt per sobre del que la seva llum admetria, va aparèixer borrós i mal definit amb aquests grans augments, mentre que les estrelles mantenien la brillantor i definició que, gràcies a molts milers d'observacions, sabia que conservarien. La continuació ha mostrat que les meves suposicions estaven ben fonamentades, i han demostrat que era el cometa que hem observat darrerament.

He resumit totes les meves observacions sobre aquest cometa en les taules següents. La primera conté les mesures de l'increment gradual del diàmetre del cometa. Els micròmetres que he fet servir, en les circumstàncies favorables, mesuraran angles extremadament petits sense superar uns pocs segons d'arc, amb un error de 6, 8 o 10 terços com a màxim; i en les pitjors situacions amb un error de 20 o 30 terços. Per tant, he donat les mesures del diàmetre del cometa en segons i terços. I reduïdes així les parts del meu

micròmetre, també he presentat la resta de mesures de la mateixa manera; així i tot, amb distàncies grans, com ara un, dos o tres minuts d'arc, no es pretén una exactitud tan gran, per diverses raons.

A primera vista, podria semblar que estem llegint la referència equivocada, ja que parla d'un cometa nou, no pas d'un planeta nou. Però és realment d'Urà de què parla Herschel; tan poc es va adonar en aquell moment de la veritable magnitud del seu descobriment que el va anunciar com el d'un cometa, i com a cometa es va considerar el cos celeste durant uns mesos. Se'n va intentar calcular l'òrbita suposant que era un cometa, però el resultat fou un fracàs; només després d'haver fet molts esforços en aquest sentit es va començar a sospitar la naturalesa real de l'objecte.

Però molt més sorprenent que aquesta concepció equivocada és la demostració de l'habilitat necessària per detectar qualsevol peculiaritat en l'objecte. Entre una munió d'estrelles, n'hi havia una que semblava tenir una mida excepcional, però la diferència només era suficient per despertar les sospites als esmolats ulls de Herschel. Hauria notat la diferència qualsevol altre observador? No tenim cap dubte que diversos bons observadors havien vist el cos amb anterioritat i l'havien examinat amb la cura necessària per registrar-ne la posició, però sense notar-hi cap peculiaritat. Més tard, es van recuperar totes aquestes observacions prèvies i es van utilitzar per fixar l'òrbita del nou planeta amb més exactitud.

En el següent capítol, recordaré al lector que Urà havia estat observat d'aquesta manera no menys de disset vegades per observadors de primer nivell, sense que els cridés l'atenció cap fet remarcable. La primera ocasió va ser l'any 1690, gairebé un segle abans del gran

descobriment de Herschel, i aquestes observacions casuals, que van passar tant de temps desapercebudes i que, en certa manera, es van considerar errònies, van demostrar més endavant que eren d'un gran valor per fixar l'òrbita del nou planeta. Però hi ha un testimoni encara més sorprenent que aquest de la naturalesa excepcional de l'assoliment de Herschel. És una experiència comuna en astronomia que un observador pot no notar, en un estudi general, algun fenomen que, en canvi, pot veure perfectament quan la seva atenció s'hi dirigeix de manera específica: quan una persona ha fet un descobriment i diu als altres què han de buscar, aquests sovint ho veuen amb tanta facilitat que s'omplen de sorpresa i disgust per no haver-s'hi fixat mai abans. No és així en el cas d'Urà. Almenys dos grans astrònoms, Lalande i Messier, han deixat constància de la sorpresa que Herschel pogués diferenciar-lo d'una estrella normal, perquè fins i tot quan se'ls va indicar on buscar i què buscar, van tenir grans dificultats per trobar-lo. Presento a continuació una traducció de les paraules de Messier, que Herschel reproduïx en l'article ja esmentat on anuncia el descobriment:

No hi havia res més difícil que identificar-lo, i no soc capaç de concebre com heu pogut retrobar diverses vegades aquest estel o cometa, perquè sens dubte ha calgut observar-lo diversos dies consecutivament per adonar-se que presentava un moviment.

Així doncs, no podem encaixar els fets a la versió de Keats. El planeta no es va revelar amb majestuositat a un observador merament passiu; més aviat, assumint la disfressa d'una estrella normal, va evadir la detecció al màxim de les seves possibilitats, de manera que va caldre l'ull més perspicaç, l'atenció més desperta i el seguiment més decidit d'una mera insinuació per desem-

mascarar-lo. Ara bé, ha fet això desaparèixer per força el romanticisme? Si pogués sorgir un altre Keats i conèixer els fets, no podria tal vegada compondre uns versos més nous i més veritables per a nosaltres i que ressonarien amb la mateixa dolçor a les nostres oïdes?

En aquest punt, he d'advertir al lector d'una possible idea equivocada. No vull pas dir que els descobriments astronòmics no es puguin fer de tant en tant de la manera que Keats descriu amb tanta exquisidesa. Fa tres anys, un persistent «vigia del firmament», el doctor Anderson d'Edimburg, va veure de sobte una nova estrella brillant a Perseu, tot i que en aquest cas més que «es va obrint pas» una expressió més adequada seria «va mostrant el seu pas». Els cometes han estat sovint detectats amb una senzilla mirada al cel per part del descobridor, sense grans esforços ni acurades disposicions. En qualsevol cas, aquests descobriments podem considerar-los excepcions; en la gran majoria dels casos cal un treball dur i un ull ben esmolat per arribar a la descoberta. La importància relativa d'aquests dos factors, per descomptat, varia en els diferents casos; per a la detecció d'Urà, potser l'ull agut és un element que es pot posar en primer lloc, tot i que no hem d'oblidar l'observació diligent que ho va permetre. Altres casos de descobriment planetari es poden atribuir d'un mode més absolut a la diligència, com veurem tot seguit. Però abans de deixar Urà, m'agradaria recordar les circumstàncies que van acompanyar la denominació del planeta. Herschel va proposar anomenar-lo *Georgium Sidus* en honor al seu patrocinador, el rei Jordi III, i essent la millor manera de donar a conèixer els seus desitjos, va escriure la següent carta al president de la Royal Society, que es va publicar al començament de les *Philosophical Transactions* de 1783:

*Carta de William Herschel, esquire, membre de la RS,
a sir Joseph Banks, baronet, president de la RS*

Senyor,

D'acord amb les observacions dels astrònoms més eminents d'Europa sembla que la nova estrella, que vaig tenir l'honor d'assenyalar-vos el març de 1781, és un planeta primari del nostre sistema solar. Un cos tan proper a nosaltres per la seva condició i situació semblants en l'extensió il·limitada del cel estrellat, sovint ha de ser objecte de debat, no només entre els astrònoms, sinó de també entre tots els amants de la ciència en general. Aquesta consideració fa que calgui donar-li un nom amb el qual se'l pugui distingir de la resta de planetes i estrelles fixes.

En les èpoques fabuloses de l'antiguitat, es van donar els noms de Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn als planetes, com els noms dels principals herois i divinitats de l'antigor. En l'època actual, més filosòfica, amb prou feines seria admissible recórrer al mateix mètode i al·ludir a Juno, Pal·les, Apol·lo o Minerva per donar un nom al nostre nou cos celeste. La primera consideració en qualsevol fet particular, o incident remarcable, sembla ser la seva cronologia: si en alguna època futura hom es preguntés «Quan es va descobrir aquest darrer planeta?», seria una resposta molt satisfactòria dir «En el regnat del rei Jordi tercer». Com a filòsof, aleshores, se'm presenta el nom de *Georgium Sidus* com un apel·latiu que transmetrà convenientment la informació de l'època i del país en què es va revelar per primer cop. Com a súbdit del millor dels reis, protector liberal de totes les arts i les ciències, com a natural del país des d'on aquesta il·lustre família fou cridada al tron britànic,⁴ com a membre d'aquesta Societat que floreix per l'assenyalada liberalitat del seu patrocinator reial i, per últim, com a persona sota la protecció, ara més que mai, d'aquest excel·lent monarca i que tot ho deu a la seva

generositat il·limitada, no puc menys de voler aprofitar aquesta oportunitat per expressar el meu sentiment de gratitud donant el nom de *Georgium Sidus*,

Georgium Sidus

... iam nunc assuesce uocari,

(Virgili, *Geòrgiques*)⁵

a una estrella que (pel que fa a nosaltres) començà a brillar sota el seu propici regnat.

En adreçar-vos aquesta carta, senyor, com a president de la Royal Society, adopto el mètode més eficaç per comunicar aquest nom als savis i literats d'Europa, que espero que rebin amb gust.

Tinc l'honor de ser, senyor meu, amb el més gran respecte, el vostre servent més humil i més obedient.

William Herschel

Aquesta carta ens recorda quant de temps feia que s'havia requerit un nou nom per a un nou planeta; per trobar una ocasió semblant, Herschel va haver d'anar al passat gairebé prehistòric, quan es van donar noms d'herois i divinitats als planetes. Potser no és estrany que considerés adequat un allunyament tan radical per a un descobriment que estava separat tant de temps dels altres. No obstant això, en general, la seva proposta no es va acceptar, sobretot al continent. Lalande va proposar, amb cortesia, el nom de Herschel per al nou planeta, en honor al descobridor, i va ser un nom utilitzat a França; Bode, d'altra banda, era partidari de mantenir l'antiga pràctica sense més complicacions i anomenar el nou planeta *Urà*. Sembla que els tres noms s'han estat utilitzant durant molts anys. Tot just l'altre dia em va resultar interessant veure una vella baralla de cartes,

utilitzada per jugar a un joc d'astronomia en la qual s'utilitza el nom de Herschel; el propietari em va dir que havia estat del seu avi i que la data de publicació era l'any 1829, a Londres, de manera que aquest nom era d'ús comú a Anglaterra gairebé mig segle després del descobriment. Per la seva banda, a l'*Almanac nàutic anglès* s'emprava de manera oficial el nom «el georgià» (sembla que es preferia al *Georgium Sidus* de Herschel) després de 1791, i no va desaparèixer d'aquesta obra fins al 1851 (publicada el 1847).

Sembla que fou el descobriment de Neptú, del qual parlarem en el capítol següent, el que dugué a aquest canvi oficial. En el volum de 1851 de l'*Almanac* s'inclou el relat d'Adams del seu descobriment, amb el títol «Sobre les pertorbacions d'Urà», de manera que hi havia una raó justificada per evitar dos noms per al mateix planeta en la mateixa obra. Ara bé, l'article de Le Verrier sobre el mateix tema encara fa servir el nom «Herschel» per al planeta.

Tal com veurem, el descobriment de Neptú va tenir un caràcter totalment diferent al d'Urà. Aquest últim es pot descriure com una troballa fortuïta d'una cosa per part d'un observador que buscava alguna altra cosa; Neptú, en canvi, va ser la troballa d'una cosa que es buscava específicament i que havia estat identificada gràcies a un treball metòdic d'allò més reeixit i brillant. Ara bé, abans d'aquest moment s'havien trobat diversos planetes com a resultat pràctic d'una recerca concreta, malgrat que el principi rector no pot arribar a provocar-nos admiració en la mateixa mesura que en el cas de Neptú. Per explicar-ho he de dir alguna cosa de les mides relatives de les òrbites en què els planetes es mouen al voltant del Sol. Aquestes òrbites són, com sabem, el·lipses, però molt properes a cercles, i, excloent els refinaments, podem considerar-les com a cercles amb el Sol al centre

de cadascuna, de manera que podem parlar de la distància de qualsevol planeta al Sol com una quantitat constant sense incórrer en cap error greu. Si disposem les distàncies planetàries en ordre, notarem una relació notable entre els termes de la sèrie. A continuació presento una taula que mostra aquesta connexió:

Planeta	Distància al Sol, considerant la Terra = 10	Llei de Bode (formulada per Titius, donada a conèixer per Bode)
Mercuri	4	$4 + 0 = 4$
Venus	7	$4 + 3 = 7$
Terra	10	$4 + 6 = 10$
Mart	15	$4 + 12 = 16$
(...)	(...)	$4 + 24 = 28$
Júpiter	52	$4 + 48 = 52$
Saturn	95	$4 + 96 = 100$
Urà	192	$4 + 192 = 196$

TAULA 1. DISTÀNCIES DELS PLANETES AL SOL

Si escrivim una sèrie de quatres i després hi sumem els números 3, 6, 12, etc., formats cadascun duplicant l'anterior, obtenim nombres que representen de molt a prop les distàncies planetàries, que es mostren, aproximadament, a la segona columna. Ara bé, cal tenir en compte tres punts. En primer lloc, el nombre abans del 3 hauria de ser 1,5, i no zero, per estar d'acord amb la resta. En segon lloc, hi ha una forat, o més ben dit hi havia un forat, després del descobriment d'Urà, entre Mart i Júpiter. En tercer lloc, veiem que quan es va descobrir Urà i se'n va determinar la distància al Sol, es va trobar que s'ajustava prou bé a la llei, que va ser establerta per primera vegada per Titius de Wittenberg.

Aquest tercer fet, naturalment, va cridar l'atenció. En aquell moment no es coneixia cap explicació de

l'anomenada «lleï», ni tampoc se'n coneix cap en aquests moments, tot i que es pot dir que tenim alguns indicis d'una possible causa; en qualsevol cas, en absència d'una explicació s'havia de considerar només com una coincidència curiosa. Però les possibilitats que ens trobem en presència d'una coincidència disminueixen molt ràpidament amb cada nou terme que podem afegir a la sèrie, i quan es va descobrir que el nou planeta de Herschel s'adaptava tan bé al final de la sèrie, va sorgir la pregunta de si el buit observat entre Mart i Júpiter era real o si potser hi havia un altre planeta que fins aleshores hagués escapat a la nostra atenció, girant en una òrbita corresponent a aquest terme en blanc.

De fet, Bode, un jove astrònom de Berlín ja havia plantejat aquesta pregunta fins i tot abans del descobriment d'Urà, i durant quinze anys va mantenir sempre vigent aquesta idea de trobar un planeta per omplir l'interval vacant. La recerca seria molt àrdua, atès que implicaria un escrutini acurat, potser no de tot el cel, però sí d'una part considerable al llarg del zodíac; una tasca excessiva perquè un sol investigador endegués el projecte tot sol. El setembre de 1800, però, Bode va aconseguir organitzar un grup de sis astrònoms alemanys (ell inclòs) amb el propòsit d'emprendre aquesta recerca.⁶ Van dividir el zodíac en vint-i-quatre zones, i tot just estaven assignant les zones als diferents observadors, quan es van veure sorpresos per la notícia que Piazzi havia trobat accidentalment el planeta que mancava, a la constel·lació de Taure. El descobriment es va produir, amb cert regust teatral, el primer vespre del segle XIX (primer de gener de 1801). Piazzi no estava buscant cap planeta, sinó que analitzava un error comès per un altre astrònom quan, en el transcurs d'aquest treball, va registrar la posició d'una estrella de vuitena magnitud. En tornar-hi la nit següent, li va semblar que l'estrella

s'havia desplaçat lleugerament cap a l'oest, sospita que va confirmar la nit següent.

El lector pot adonar-se que, en aquest cas, no va ser cap aspecte peculiar de l'estrella el que va suggerir que podria ser un cometa o un planeta, com en el cas del descobriment d'Urà. No som pas injustos en atribuir el descobriment a un pur accident, tot i que no hem d'oblidar que un observador poc acurat podria haver-ho passat per alt. Piazzzi, ben al contrari, fou molt acurat i va observar el nou objecte amb assiduitat fins l'11 de febrer, quan va emmalaltir greument. Tot i així, el 23 de gener havia escrit a Oriani, de Milà, i l'endemà, a Bode, de Berlín. Aquestes cartes, però, no van arribar als destinataris (en aquells dies de correus poc diligents) fins el 5 d'abril i el 20 de març, respectivament. Podem imaginar els sentiments contradictoris amb què Bode va rebre la notícia que el descobriment que havia contemplat durant quinze anys, i pel qual estava a punt d'organitzar una recerca exhaustiva, li havia estat arrabassat de la manera més atzarosa.

I més atzarós encara li devia semblar el descobriment a un jove filòsof de Jena anomenat Hegel, que des d'aleshores s'ha fet famós però que en aquells moments acabava de posar en perill la seva futura reputació publicant una dissertació que demostrava de manera concloent que el nombre de planetes no podia ser superior a set i menyspreava el projecte de recerca d'aquella mitja dotzena d'entusiastes que es proposaven trobar un nou planeta només per omplir un buit en una sèrie numèrica.

La sensació provocada per la notícia del descobriment es va intensificar per l'angoixa que va generar el fet que era possible que haguéssim perdut la pista del nou planeta, ja que en els mesos transcorreguts s'havia situat massa a prop del Sol per permetre observacions addicionals. Així, l'únic material disponible per

calcular-ne l'òrbita i, per tant, predir-ne el lloc al cel en dates futures eren les poques observacions fetes per Piazzi. Era possible calcular l'òrbita d'un astre a partir d'un material tan minso? Trigaria massa a explicar amb detall l'enorme dificultat d'aquest problema, però els que no tinguin formació en matemàtiques poden obtenir-ne una certa idea a partir d'una analogia aproximada. Si se'ns dona una porció de cercle, amb l'ajuda d'un parell de compassos podem completar la circumferència; podem trobar el centre des del qual es traça l'arc, ja sigui per mètodes geomètrics o amb unes quantes proves experimentals, i, després, completar la resta de la circumferència. Si l'arc que se'ns ha donat és gran ho podem fer amb certesa i precisió, però si l'arc és petit costa força determinar el centre i, en conseqüència, el nostre dibuix no serà del tot precís. Doncs bé, l'arc descrit pel petit planeta durant les observacions de Piazzi era de només tres graus. Si el lector vol treure el seu rellotge de butxaca i mirar els minuts al voltant de l'esfera, tres graus corresponen tan sols a la meitat de l'espai entre dues marques de minuts; si la resta de l'esfera del rellotge estigués destruïda i només tinguéssim aquest petit arc, tindria el lector gaire confiança en restaurar la part destruïda? Aquest problema dona una idea, tot i que força imperfecta, de les dificultats a què hom s'ha d'enfrontar.

En poques paraules, doncs, la solució exigia un nou mètode matemàtic en astronomia. Però de vegades les dificultats són les oportunitats dels grans homes, i aquesta dificultat particular va atreure cap a l'astronomia el gran matemàtic Gauss, que es va proposar aprofitar al màxim les observacions disponibles i va redactar la seva obra clàssica, *Theoria Motus*, que és l'obra de referència per a aquesta mena de càlculs fins als nostres dies. Podem aturar-nos un moment i fer una ullada a

allò que ell mateix diu al pròleg de la seva gran obra; em permeto reproduir la següent traducció aproximada (ja que el llibre està escrit en llatí, segons el costum científic de l'època):

Al setembre de 1801 m'havien passat pel cap algunes idees sobre aquest tema, en un moment en què m'ocupava d'una cosa ben diferent, idees que semblaven contribuir a la solució del gran problema del qual he parlat. En aquests casos, sovint passa que, per no estar massa distrets de la investigació atraient en què estem capficats, permetem que associacions d'idees que, si s'examinen més detingudament podrien resultar extraordinàriament fructíferes, es perdin per simple descurança. Potser aquestes idees meves haurien tingut aquest destí si no se m'haguessin acudit, per fortuna, en un moment que no podia haver estat més favorable per a la seva conservació i desenvolupament. El cas és que gairebé al mateix temps es va començar a difondre un rumor a l'estranger sobre un nou planeta que havia estat detectat el primer de gener d'aquell any a l'observatori de Palerm; poc després es van publicar les observacions reals que el reconegut filòsof Piazzi havia fet entre el primer de gener i l'11 de febrer. En els annals de l'astronomia, amb prou feines podríem trobar una ocasió tan important que ens permetés assenyalar amb tot l'èmfasi possible la rellevància d'aquest problema, ja que en aquell moment tota esperança de redescobrir, entre les innombrables estrelles del cel, aquell diminut planeta que s'havia perdut de vista des de feia gairebé un any, depenia completament d'un coneixement de la seva òrbita, la qual s'havia de deduir d'aquelles escasses observacions. Podria jo haver tingut mai una millor oportunitat per demostrar si les meves idees tenien algun valor pràctic que poder-les utilitzar per a la determinació de l'òrbita de Ceres, un planeta que, en el curs d'aquells quaranta-un dies, havia descrit al voltant de la Terra un arc de no més de tres graus i que, després

d'haver passat un any, havia de ser rastrejat en una regió del cel molt allunyada de la seva posició original? La primera aplicació d'aquest mètode es va fer el mes d'octubre de 1801, i la primera nit clara, quan es va buscar el planeta amb l'ajuda de les efemèrides que jo havia calculat, els observadors van poder retrobar el cos desaparegut. Tres nous planetes trobats des de llavors han facilitat noves oportunitats per examinar i demostrar l'eficàcia i la universalitat d'aquest mètode.

Tot just després del redescobriment de Ceres, un bon nombre d'astrònoms em va demanar que publicués els mètodes que havia utilitzat en els meus càlculs. Tot i així, hi havia força objeccions que em van impedir satisfer en aquell moment aquestes amistoses sol·licituds: altres assumptes, el desig de tractar aquest tema més a fons i, sobretot, l'expectativa que, en continuar dedicant-me a aquesta recerca, podria dur les diferents parts de la solució del problema a un grau més perfecte d'universalitat, senzillesa i elegància. Com que les meves esperances han quedat justificades, no crec que hi hagi cap motiu per penedir-me del meu retard. Els mètodes que havia aplicat repetidament des del principi admetien unes variacions tan nombroses i tan importants que amb prou feines queda cap vestigi de semblança entre el mètode per mitjà de qual havia arribat abans a l'òrbita de Ceres i els mètodes que presento en aquest treball. Malgrat que no es correspondria a la meva intenció escriure una història completa de totes aquestes investigacions que, poc a poc, he anat perfeccionant encara més, en moltes ocasions, i sobretot quan m'enfrontava a algun problema especialment greu, vaig pensar que no calia descartar del tot els primers mètodes que havia emprat. En canvi, a més de les solucions dels problemes principals, en aquest treball he seguit moltes qüestions que se m'han presentat en el curs d'un llarg estudi dels moviments dels cossos celestes en seccions còniques i que he considerat dignes d'atenció, ja fos per la pulcritud de l'anàlisi o, més

sovint, per la seva utilitat pràctica. En qualsevol cas, sempre he tractat amb més cura els temes que m'he fet meus, i només he fet esment de passada dels fets coneguts allà on la línia de pensament semblava exigir-ho.

Aquestes paraules no expliquen els mètodes introduïts per Gauss, però sí que ens donen una certa idea del to de l'obra. Amb l'ajuda d'aquestes brillants investigacions, el petit planeta va ser trobat l'últim dia de l'any per Von Zach a Gotha, i la nit següent i de manera independent, per Olbers a Bremen.⁷ Ara bé, abans d'aquest èxit, s'havia fet una recerca esgotadora que va dur a una conseqüència intrigant. Olbers s'havia familiaritzat tant amb totes les petites estrelles situades al llarg de la zona en què es cercava el cos desaparegut que de seguida va quedar sorprès per l'aparició d'un cos estrany a la vora del lloc on acabava d'identificar Ceres. Al principi, va pensar que devia ser una estrella que havia augmentat de brillantor, però aviat va descobrir que també es desplaçava i, per a gran desconcert del món astronòmic, va resultar que era un altre planeta que girava al voltant del Sol a una distància gairebé igual que Ceres. Va ser un fet extraordinari i totalment imprevist. El món s'havia preparat per a un nou planeta, però ara n'hi havia dos!

A Olbers se li va ocórrer que potser eren fragments d'un sol cos que havia quedat destruït per una explosió, i que potser hi havia més trossos; per tant, va suggerir com a guia per trobar-ne d'altres que, com que per les ben conegudes lleis de la gravitació els cossos que orbiten el Sol tornen periòdicament al seu punt de partida, de la mateixa manera tots aquests fragments tornarien en el moment oportú al punt del cel on havia explotat el planeta original. Per tant, la recerca es podria dur a terme de manera més profitosa als voltants del lloc on ja s'havien trobat els dos primers fragments (que havien estat anomenats Ceres i Pal·les). Ara tenim raons de pes

per creure que aquesta visió és errònia, però tanmateix va semblar confirmar-se amb el descobriment de dos cossos més del mateix tipus, batejats com Juno i Vesta; el segon d'aquests fou descobert pel mateix Olbers el 1807, després de tres anys de treball pacient. Així doncs, malgrat que la idea de buscar un planeta suposat amb més o menys concreció no era un fet nou, i malgrat que Bode ja havia concebut un pla semblant el 1785 i va organitzar una recerca a partir d'aquesta idea, el cert és que es van trobar tres planetes abans del primer èxit procedent d'una cerca prèviament orientada i planificada. Ceres, com ja s'ha comentat, fou trobat per pur accident, i el mateix es pot dir de Pal·les i Juno, tot i que podem afegir, amb raó, que en realitat Pal·les va ser una troballa contrària a les expectatives.

Número	Nom	Descobridor	Data
1	Ceres	Piazzi	1801
2	Pal·les	Olbers	1802
3	Juno	Harding	1804
4	Vesta	Olbers	1807
5	Astrea	Hencke	1845
6	Hebe	Hencke	1847
7	Iris	Hind	1847
8	Flora	Hind	1847
9	Metis	Graham	1848
10	Higiea	De Gasparis	1849
11	Partènope	De Gasparis	1850
12	Victòria	Hind	1850
13	Egeria	De Gasparis	1850

TAULA 2. PLANETES MENORS DESCOBERTS ENTRE 1801 I 1850

En la taula que es mostra a dalt es pot veure que s'han anat afegint altres cossos a la primera llista de quatre,

però el lector pot apreciar que no es va fer cap addició durant molt de temps. No és que s'abandonés la recerca de sobte, sinó que, com que no va conrear cap èxit durant uns quants anys, es va anar bandejant gradualment i va guanyar terreny la creença que el nombre de planetes era ja definitiu. Els descobridors d'Urà i d'aquests quatre primers planetes menors van morir tots ells abans que s'afegís cap més cos a la llista; no va ser fins a les acaballes de 1845 que un antic director de correus de la ciutat prussiana de Driessen, de nom Hencke, va descobrir Astrea. Malgrat la incredulitat general en l'existència de més planetes, Hencke es va dedicar a buscar-ne amb meticulositat i s'esforçà durant quinze anys ben bons abans de recollir el seu premi. Després, altres van reprendre la recerca; Hind, observador d'un astrònom aficionat anglès de la vora de Londres, va trobar Iris unes setmanes després que Hencke hagués estat recompensat amb un segon descobriment el 1847; l'any següent, el senyor Graham, de Markree, a Irlanda (que encara viu, i acaba de retirar-se del treball actiu a l'observatori de Cambridge), va trobar Metis. Des d'aleshores s'han anat afegint nous descobriments any rere any, fins que el nombre de planetes que ara es coneixen supera els 500, i augmenta de manera constant.⁸

El lector pot apreciar la gran varietat que caracteritza aquests descobriments; alguns són el resultat d'una recerca deliberada, altres s'han trobat accidentalment, i alguns fins i tot en contra de les expectatives. De la gran majoria dels primers es pot dir que ha calgut una enorme cura per a cada descobriment, ja que per identificar un planeta cal tenir un bon mapa estel·lar o bé conèixer a fons les estrelles, de tal manera que el mapa ja el tingui l'observador dins del cervell. Només cal recordar els quinze anys de recerca de Hencke abans de tenir èxit per adonar-se de les enormes reserves de

paciència i laboriositat que calien per dur a terme la tasca. Ara bé, els darrers anys la fotografia ha dut a una gran revolució en aquest aspecte; ja no cal fer res més que preparar allò que sir Robert Ball ha anomenat una «trampa d'estrelles» o, millor dit, una trampa de planetes. Si es fa una fotografia d'una regió del cel, mitjançant els mètodes que ja coneixen els astrònoms, de manera que cada estrella aparegui com un punt rodó a la placa fotogràfica, qualsevol objecte prou brillant que es mogui respecte a les estrelles deixarà una petita línia o rastre i, així, delatarà el seu caràcter planetari. És d'aquesta manera que s'han fet la majoria dels descobriments recents, i tot i que encara cal tenir força cura a l'hora de fer les fotografies i, després, en el moment d'identificar els objectes trobats (que ara són sovint imatges de membres ja coneguts del sistema), el tediós escrutini visual ha passat a ser una cosa del passat.

Anys	Planetes menors
1801-1850	13 descoberts
1851-1860	49 descoberts
1861-1870	49 descoberts
1871-1880	108 descoberts
1881-1890	83 descoberts
1891-1900	180 anunciats
1901	36 anunciats
1902	50 anunciats
1903	41 anunciats
Total	609

TAULA 3. DESCOBRIMENTS EN FUNCIO DELS ANYS

El nombre conegut d'aquests cossos ha augmentat amb tanta rapidesa que s'ha convertit en tot un problema; i hi ha un aspecte en què aquest problema és

molt evident: s'ha tornat força difícil trobar *noms* per als nous descobriments. En l'actualitat recordem amb cert humor que per als primers descobriments de vegades es van plantejar controvèrsies (del mateix tipus que en el cas d'Urà) sobre el nom exacte que hauria de tenir un planeta. Així, quan es va proposar anomenar Victòria el número 12 (descobert l'any 1850 a Londres pel senyor Hind), va haver-hi protestes dels astrònoms estrangers pel fet que, per mitjà d'un subterfugi, es tornava a proposar per a un planeta el nom d'un monarca regnant, i es va fer palesa una considerable oposició, sobretot als Estats Units. Però a mesura que s'anaven afegint altres descobriments, va quedar clar que la llista de deesses, o fins i tot de personatges mitològics més humils, no seria prou gran si fóssim tan crítics, i que tard o d'hora caldria complementar-la amb fonts abans considerades inadequades. Finalment, l'oposició al nom Victòria va desaparèixer. Més tard, s'ha trencat la limitació a noms femenins; un planeta ha rebut el nom d'Endimió, i un altre, del qual parlarem amb més detall, s'ha batejat com Eros. Però abans de referir-nos-hi, potser seria interessant fer una ullada a alguns dels noms seleccionats per a d'altres:

Número	Nom	Número	Nom
248	Làmia	389	Industria
250	Bettina	391	Ingeborg
261	Primno	433	Eros
264	Libussa	443	Photographica
296	Faetusa	457	Alleghenia
340	Eduarda	462	Erifile
341	Califòrnia	475	Ocillo
350	Ornamenta	484	Pittsburghia
357	Ninina	503	Evelyn
385	Ilmatar	506	Marion

TAULA 4. NOMS DE DIVERSOS PLANETES MENORS

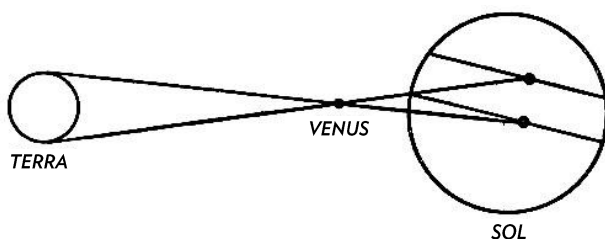
En relació al núm. 250, hi ha una petita història ben interessant. A la pàgina 63 del número de 1885 de la revista *Observatory* va aparèixer la notícia següent: «El senyor Palisa, desitjant recaptar fons per a la seva expedició prevista per observar l'eclipsi solar total de l'agost de 1886, vendrà el dret de batejar el planeta menor número 244 per 50 lliures».⁹ Sembla que aquesta brillant idea se li va ocórrer després d'haver descobert molts planetes i haver començat a trobar dificultats per assignar-los noms adequats; d'aquesta manera, podria transformar les dificultats onomàstiques que tenia en una font de finançament per a una bona causa. Ningú va respondre de manera immediata a aquesta oferta, com a mínim fins que el senyor Palisa va descobrir dos planetes més, els números 248 i 250. Va assignar noms per a dos i va deixar pendent el nom de l'últim que havia descobert, disponible per a algun mecenes. A la pàgina 142 del número de 1886 de la mateixa revista, la següent nota ens informa de la manera en què la seva paciència va ser, per fi, recompensada: «El baró Albert de Rothschild ha batejat el planeta número 250 amb el nom de Bettina». En qualsevol cas, no he sentit que aquest precedent s'hagi seguit en altres casos, i a les acaballes del segle passat l'enginy dels descobridors estava ja tan sobrecarregat que la denominació dels nous planetes va quedar molt endarrerida. No fa gaire, una comissió que s'ha creat per ocupar-se d'aquests petits cossos en general, va publicar un avís en què afirmava que, tret que els nomenaments es produïssin abans d'una data determinada, el dret de donar nom als planetes es retiraria sense miraments de les mans dels descobridors massa indiferents.

Abans de passar a altres assumptes podríem comentar el sistema provisional que es va adoptar per omplir el lapse necessari a l'hora de trobar noms adequats, que també cal per assegurar-se que el planeta sigui, de fet,

un de nou i no només un de vell redescobert. Hi havia un sistema de numeració i de nomenclatura, però no era gaire aconsellable assignar ni tan sols un número a un planeta fins que hom estigués força segur que el descobriment era nou, ja que, en cas contrari, es podrien crear llacunes en el que hauria de ser una sèrie contínua, a causa d'aquests falsos descobriments. Així doncs, al principi es va decidir assignar a l'objecte, com a nom provisional, només una lletra de l'alfabet amb l'any del descobriment. No obstant això, l'alfabet es va esgotar ràpidament, i com que era molt probable que es produïssin confusions si es repetia, després d'haver completat l'alfabet es va decidir recomençar però prefixant-hi la lletra A; per tant, els símbols adoptats serien AA, AB, AC, etc.; en tornar a esgotar l'alfabet s'hi prefixaria la lletra B, i així successivament. Amb tot això, els astrònoms van començar a témer la monòtona perspectiva d'haver d'afegir continuament nous planetes, sense cap variació més emocionant que tornar a començar l'alfabet cada vegada.¹⁰

Per sort, però, en recórrer l'alfabet per cinquena vegada, es va descobrir un objecte d'interès particular: Eros. La majoria d'aquests cossos menors giren a una distància del Sol intermèdia entre la de Mart i la de Júpiter, però va resultar que el petit planeta, que va assumir el símbol DQ i, després, el nom d'Eros, tenia una distància mitjana menor que la de Mart, fet que va donar una importància extraordinària al gran problema de determinar-ne la distància al Sol. Per explicar la rellevància del problema convindria que féssim una petita digressió.

Cap a mitjan segle passat, el nostre coneixement de la distància de la Terra al Sol era molt aproximat, tal com es pot veure a la taula de la pàg. 28. Per al 1874 i el 1882 estaven previstos dos trànsits de Venus, que s'esperava que oferissin oportunitats molt especials per a la mesura d'aquesta quantitat tan important, que és la base de tot el nostre coneixement de les masses i dimensions exactes no només del Sol, sinó també dels planetes.



El mètode es pot resumir breument així: un observador situat en cert lloc de la Terra veuria Venus creuar el disc solar per un recorregut diferent del que veuria un observador en un altre lloc de la Terra, tal com queda palès en el diagrama anterior. Si es coneix la mida de la Terra, la distància al Sol i la distància relativa a Venus, es pot calcular quina és la diferència entre aquests dos recorreguts. Ara bé, la distància relativa a Venus es coneix amb gran precisió a partir de l'observació del temps de la seva revolució al voltant del Sol; la mida de la Terra també, que podem mesurar mitjançant un estudi geodèsic; per tant, només queda una quantitat desconeguda, la distància al Sol. Com que a partir de tot això podem calcular la diferència de recorregut, és fàcil invertir el problema i calcular la distància al Sol a partir del coneixement de la diferència de recorregut observada. En conseqüència, els observadors s'havien de repartir no només en dos punts d'observació sinó en molts arreu de

la superfície de la Terra per observar el recorregut exacte que prendria Venus en el trànsit sobre el disc solar vist des de cada punt i, sobretot, determinar els moments exactes d'inici i final del trànsit. Amb la comparació dels resultats obtinguts en diferents punts s'esperava determinar aquesta quantitat tan important, la distància al Sol. Ara bé, gràcies a les experiències anteriors se sabia que hi havia certes dificultats per detectar amb exactitud l'inici i el final del trànsit: es produeix un efecte anomenat *gota negra* que ja havia causat problemes en ocasions anteriors; una aparença com si el punt negre rodó que es pot apreciar quan Venus ha avançat una certa distància sobre el disc solar es resistís a acabar d'entrar i s'aferrés a la vora, o *llimb solar* tal com s'anomena, una mica com una gota de tinta s'enganxa a una ploma que es retira lentament d'un tinter. De la mateixa manera, al final del trànsit o sortida, en comptes d'apropar-se al llimb de manera constant, el planeta sembla que en l'últim moment salta cap a ell, fent que l'estimació del moment exacte en què finalitza el trànsit sigui extremadament dubtosa.

Com ja s'ha dit, se sabia que existien aquestes dificultats, però hi ha un llarg interval entre els trànsits de Venus, o més aviat entre cada parell d'aquests trànsits. Després dels de 1874 i 1882 no n'hi haurà més fins al 2004 i el 2012, de manera que no en veurem cap altre; de la mateixa manera, abans d'aquella parella del segle passat, no s'havia produït cap ocasió semblant des de 1761 i 1769, i no hi havia ningú que recordés de primera mà els problemes que se sabia que existien. Es va proposar defugir les dificultats previstes mitjançant una acurada pràctica prèvia; es van elaborar models que s'assemblessin el màxim possible a les aparicions esperades, i es van comparar els temps registrats per diferents observadors amb el temps real, que, en aquest cas

d'un model, es podia determinar sense problema. D'aquesta manera s'esperava que es pogués calibrar prèviament l'hàbit de cada observador, la seva «equació personal», com s'anomena, i, així, poder aplicar les correccions pertinents en el moment d'observar el trànsit real. El resultat, però, va ser un fracàs considerable. Es va trobar que les aparences reals eren d'un caràcter totalment diferent de les emprades en els models, sobretot, potser, perquè havia estat impossible imitar per mitjà d'un model l'efecte de l'atmosfera que envolta el planeta Venus. S'esperava que observadors entrenats prèviament, utilitzant instruments similars i situats a pocs metres l'un de l'altre, després de tenir en compte l'equació personal, donessin el mateix instant de contacte, però es va trobar que les seves observacions diferien en gairebé un minut. Després d'una revisió exhaustiva de tot el material es va considerar que s'havia de renunciar a tota esperança de determinar amb precisió la distància al Sol amb aquest mètode. La taula següent mostrarà quant es va aprendre dels trànsits de Venus i quant queda per resoldre. El resultat es va deixar amb un error d'uns dos milions de milles.

Abans dels trànsits de Venus, les estimacions variaven entre **96** milions de milles (Gilliss i Gould, 1856) i **91** milions (Winneche, 1863), un interval de 5 milions de milles.

Els trànsits de 1874 i 1882 van donar uns resultats de **93¼** milions (Airy, d'observacions britàniques de 1874), **92½** milions (Stone, d'observacions britàniques de 1882), i **91½** milions (Puisseux, d'observacions franceses), un interval d'1¾ milions.

Els resultats de l'heliòmetre de Gill són tots a la vora de **93** milions. Les observacions de Mart de 1877 donen unes 100.000 milles per sobre d'aquest valor, però les observacions de Victòria, Iris i Safo, més confiables, concorden a donar unes 100.000 milles per sota dels 93 milions.

TAULA 5. RESULTATS DE DISTÀNCIA AL SOL

Va caldre, doncs, buscar altres mètodes; i abans que s'observés el segon trànsit de 1882, un actiu astrònom, el doctor David Gill, ja havia posat en pràctica el mètode que ara es pot considerar com l'estàndard.

Hem dit que la distància relativa de Venus al Sol es coneix amb precisió a partir de les observacions del temps exacte de revolució. És fàcil veure que aquests temps de revolució es poden mesurar amb exactitud per la mera acumulació de dades. Podem cometre un error d'uns pocs segons en anotar el moment de retorn, però si tot l'interval comprèn deu revolucions, aquest error queda dividit per deu, si en comprèn cent, l'error queda dividit per cent, i així successivament; i en l'actualitat ja s'ha registrat un gran nombre de revolucions de tots els planetes (excepte els que s'acaben de descobrir). Per això coneixem les seves distàncies relatives amb gran exactitud; així, si podem trobar la distància en milles a qualsevol d'ells, podem trobar la del Sol o la de qualsevol altre planeta mitjançant una simple regla de tres.

Fent ús d'aquest principi es poden evitar moltes de les dificultats que acompanyen la determinació directa de la distància al Sol; per exemple, com que la llum del Sol supera la de les estrelles, no és fàcil observar de manera directa el lloc on està situat exactament el Sol entre els estels, però aquest problema no es dona en el cas dels planetes. Podem fotografiar un planeta i les estrelles que l'envolten en una mateixa placa i després, mitjançant una mesura acurada, determinar-ne la posició exacta del planeta entre els estels; i com que aquesta posició difereix lleugerament segons la situació de l'observador a la superfície terrestre, comparant dues fotografies fetes en llocs situats a una distància coneguda entre ells podem trobar la distància del planeta a la Terra; i, en definitiva, com s'ha comentat abans, la distància al Sol i a tots els altres membres del sistema solar. També, en

comptes de fer fotografies des de dos punts d'observació diferents, podem fer des del mateix lloc dues fotografies amb una separació temporal coneguda; en aquest interval, el punt d'observació s'haurà desplaçat, a causa de la rotació terrestre, uns milers de milles de distància respecte a la seva posició anterior, fet que el converteix pràcticament en un segon punt d'observació separat del primer per una distància que es coneix amb precisió si sabem el temps transcorregut.

De nou, en comptes de fer fotografies i a partir d'elles mesurar la posició del planeta entre les estrelles, podem fer les mesures del planeta i de les estrelles directament al cel; i com que l'any 1878, quan el doctor Gill va iniciar la seva empresa de determinar la distància al Sol, la fotografia aplicada a l'astronomia es trobava en els seus inicis, va fer les observacions del cel de manera natural amb un instrument conegut com a *heliòmetre*. Les va dur a terme a la petita illa de l'Ascensió, que es troba en un punt ideal per a aquest propòsit, ja que en ser a prop de l'equador terrestre, la rotació de la Terra la desplaça una distància més gran en un temps determinat que altres llocs més propers als pols; en aquestes observacions de paral·laxi, tal com s'anomenen, és important que el desplaçament del punt d'observació sigui al més gran possible. Per una raó semblant, l'objecte seleccionat entre els planetes ha d'estar al més a prop possible de la Terra; així doncs, per a l'observació amb l'heliòmetre es va seleccionar el planeta Mart, que en els moments favorables s'acosta més a nosaltres que qualsevol altre planeta superior conegut en aquells moments.*

Ara ja podem veure per què va ser important el descobriment del petit planeta Eros: Mart ja no era el

* El planeta inferior Venus s'acosta més, però no és visible durant tota la nit.

planeta conegut que més s'acostava a nosaltres; havia estat substituït per aquest nou cos.

A més, un planeta petit que té l'aparença d'una estrella normal té, a banda de la seva gran proximitat, alguns avantatges clars respecte a un planeta com Mart, que apareix com un disc rodó i, a més, és d'un color un xic vermellós. Quan es mesura amb l'heliòmetre la distància lineal d'un objecte d'aquest tipus des d'una estrella, es constata que s'introdueix en les mesures un cert biaix, una mica difícil de determinar amb certesa; en conseqüència, es redueix la nostra confiança en els resultats finals. Després de les seves observacions de Mart el 1878, el doctor David Gill va quedar prou impressionat amb aquesta font d'error com per fer tres noves determinacions de la distància al Sol, utilitzant tres dels planetes menors en comptes de Mart, malgrat que estaven sensiblement més lluny; la seva elecció va quedar justificada en trobar que els resultats d'aquests tres conjunts diferents d'observacions coincidien bé entre ells i diferien lleugerament dels donats per les observacions de Mart. Per tant, sembla que s'ha demostrat de manera concloent que qualsevol d'aquests cossos és una millor opció que Mart i, així, el descobriment d'Eros, que a més oferiria l'avantatge d'una major proximitat, es va veure com una benvingudíssima oportunitat.

Amb un petit càlcul es va veure que a l'hivern de 1900-1901 el planeta s'acostaria molt a la Terra; no era la posició més propera possible (perquè també es va determinar que l'any 1894 s'havia donat una oportunitat encara millor, però no es va poder aprofitar perquè el planeta encara no s'havia descobert), però així i tot era la màxima aproximació que es produiria durant uns trenta anys. En conseqüència, es van fer extensos preparatius, tot i que una mica precipitats, per aprofitar-la al màxim. La fotografia s'havia consolidat com un mètode

precís per fer mesures del tipus requerit i tots els telescopis fotogràfics que es podien reclutar es van posar al servei del projecte i van fotografiar amb diligència el planeta i les estrelles circumdants cada nit clara durant el període favorable. La tasca de mesurar i reduir aquestes fotografies és un treball d'allò més laboriós, i encara està lluny d'haver finalitzat, però sabem prou coses com per esperar un resultat molt valuós.

No tenim més espai aquí per continuar parlant d'aquest problema, però creiem que ha quedat prou clar que just quan els astrònoms començaven a preguntar-se si valia la pena continuar amb el monòton descobriment de nous planetes menors, el descobriment número 433 va resultar ser un dels més importants.



Tot el que hem vist ens duu a que, si volem establir uns canons per a la consecució favorable dels treballs de recerca, podem afegir-hi aquest fet: que no hi ha cap línia d'investigació que ens puguem permetre descuidar, per més que pugui semblar poc important o monòtona. Just quan som a punt d'abandonar-la amb la impressió que és una mina ja esgotada, potser som a un no-res de trobar una palleta que valgui tot el nostre treball anterior i futur.

Aquesta regla potser no ens ajudarà gaire a escollir en què treballar; de fet, no és cap regla, en absolut, perquè ens deixa tot un camp d'elecció il·limitat. Però aquest resultat negatiu es repetirà una vegada i una altra quan examinem les lliçons impartides pels descobriments: sembla que no hi ha regles. Sempre que sembla que som capaços de deduir-ne una a partir d'una experiència, en trobarem alguna altra que ho contradirà

rotundament. Així podríem pensar que el descobriment d'Eros ens va ensenyar a procedir amb paciència amb una comesa monòtona, i a no desviar-nos cap a tasques més noves i atractives; no obstant això, sovint és quan deixem de banda el que tenim entre mans i el que ens reclama la nostra atenció quan ho fem millor. Al capítol següent veurem un exemple en què hom es va penedir de la incapacitat de desviar-se amb flexibilitat del camí seguit.

2

El descobriment de Neptú

En el capítol anterior hem vist que les circumstàncies en què s'han descobert els planetes són molt diverses. De vegades, els descobriments no s'esperaven i es van produir durant una exploració general del cel o una cerca d'altres objectes; i, almenys en una ocasió, es pot dir que el descobriment va ser fins i tot contrari al que s'esperava, tot i que, a mesura que es va començar a tenir clara l'existència d'una gran quantitat de planetes menors, també hi ha hagut molts casos en què el descobriment s'ha fet com a resultat d'una cerca concreta i deliberada. En qualsevol cas, no podem dir que la recerca s'hagi inspirat en cap principi molt clar o cert, perquè encara no podem dir que la llei de Bode, malgrat l'èxit que ha tingut a l'hora d'indicar la possible existència de nous planetes, es fonamenti en una llei de la naturalesa ben formulada. Ara arribem, però, a un descobriment fet en interpretació directa de la gran llei de la gravitació de Newton: el descobriment de Neptú a partir de les seves pertorbacions sobre Urà. En primer lloc, recordaré breument els fets principals relacionats amb el descobriment en si.

Després que s'hagués descobert Urà i s'hagués observat prou temps com per calcular-ne l'òrbita, es va trobar que la posició posterior del planeta no sempre estava d'acord amb aquest càlcul; i, el que era més greu, es van trobar algunes observacions anteriors que no es podien conciliar en absolut amb les posteriors. És un testimoni admirable de la cura i l'agudesia de sir William Herschel, tal com es va comentar en l'últim capítol, que després es descobrí que Urà havia estat observat, sota la impressió equivocada que era una estrella normal, per Flamsteed, Lemonnier, Bradley i Mayer, tots ells observadors d'una habilitat considerable. Les cinc observacions de Flamsteed es remunten a 1690, 1712 i 1715; les observacions d'altres van ser els anys 1748, 1750, 1753, 1756, i així successivament fins a 1771. El conjunt de testimonis era tan considerable que no hi havia lloc a cap mena de dubte sobre la incompatibilitat de les observacions amb l'òrbita calculada, com podria haver estat el cas si només hi hagués hagut una o dues observacions afectades d'errors.

És difícil esmentar una data exacta per a la transformació en certesa de la sospita que no es podia trobar cap òrbita única que satisfés totes les observacions, però sí que podem considerar-ho ja un fet establert el 1821, quan Alexis Bouvard va publicar algunes taules del planeta i en la introducció va mostrar amb gran detall que fins i tot havent aplicat totes les correccions per a l'acció pertorbadora d'altres planetes, encara era impossible conciliar les velles observacions amb l'òrbita calculada a partir de les noves. En conseqüència, va créixer la idea que podria haver-hi algun altre cos o cossos que exercissin certa atracció sobre el planeta i provoquessin aquestes discrepàncies. De nou, aquí no és fàcil dir exactament quan va sorgir aquesta noció, però sens dubte existia ja l'any 1834, com mostra la següent carta a

l'Astrònom Reial G. B. Airy. Cito a partir del seu conegut text «Descripció d'algunes circumstàncies històricament relacionades amb el descobriment del planeta exterior a Urà», que va impartir a la Royal Astronomical Society en la seva primera reunió després d'aquest famós descobriment.

Carta del rev. T. J. Hussey¹ a G. B. Airy (núm. 1)

Hayes, Kent, 17 de nov. de 1834

Amb el senyor Alexis Bouvard vaig tenir una conversa sobre un tema que havia meditat sovint; probablement us interessarà, i la vostra opinió pot determinar la meua. Després d'haver-me esforçat molt l'any passat amb algunes observacions d'Urà, vaig decidir examinar de prop les taules de Bouvard d'aquest planeta. Les discrepàncies aparentment inexplicables entre les observacions antigues i modernes em van suggerir la possibilitat d'algun cos pertorbador més enllà d'Urà, no tingut en compte pel fet de ser desconegut. La meua primera idea va ser determinar empíricament² algun lloc aproximat on es podria trobar aquest suposat cos i, després, amb el meu gran reflector examinar totes les estrelles minúscules al voltant d'aquest punt. El problema és que vaig veure que jo era totalment inadequat per a la primera part de la tasca. Si tal vegada ho hauria pogut fer abans, ara la feina em superava, fins i tot suposant que tingués temps, que no era el cas. Per tant, vaig renunciar del tot a l'assumpte, però posteriorment, en conversa amb Bouvard, vaig preguntar si no podria ser que fos així [l'existència d'un altre planeta més enllà d'Urà]; la seva resposta va ser que, com era d'esperar, se li havia passat pel cap i havia intercanviat algunes cartes amb Hansen sobre el tema. L'opinió de Hansen era que un cos pertorbador no satisfaria els fenòmens observats i, així, va conjecturar que hi havia dos planetes més enllà d'Urà. Quan vaig parlar d'obtenir-ne les posicions empíricament i després escombrar la zona del cel obtinguda, va admetre que era molt sensat i insinuà que els càlculs previs serien més laboriosos que no pas difícils i que

quan tingués temps lliure s'hi posaria i em transmetria els resultats, com a base d'una cerca detallada i acurada. No he tingut notícies d'ell des d'aleshores sobre aquest tema, i he estat massa malalt per escriure. Quina és la vostra opinió sobre l'assumpte? Si considereu que la idea és possible, podeu donar-me els límits, aproximadament, entre els quals és probable que es trobin aquest cos o aquests cossos durant l'hivern següent? Com que podríem esperar una excentricitat [inclinació?] més propera a la dels vells planetes que a la dels nous, l'amplitud de la zona a examinar serà comparativament petita. Potser m'equivoco, però estic disposat a pensar que, tal és la perfecció dels oculars del meu equatorial que podria distingir, gairebé al moment, la diferència de brillantor entre un petit planeta i una estrella. El meu pla, però, seria molt diferent: hauria de cartografiar amb precisió tot l'espai dins dels límits requerits fins a l'estrella més petita que pogués discernir; en el temps d'una setmana podria comprovar qualsevol canvi. Si tot aquest assumpte no us sembla una quimera, cosa que, fins a la meua conversa amb Bouvard, em temia que fos, m'alegraria molt rebre qualsevol mena d'indicació al respecte.

La meua resposta fou en els termes següents:

Carta de G. B. Airy al rev. T. J. Hussey (núm. 2)

Observatori, Cambridge, 23 de nov. de 1834

Sovint he pensat en la irregularitat d'Urà i, des de la recepció de la vostra carta, l'he considerat amb més atenció. És un tema desconcertant, però jo opino, sense cap mena de dubte, que encara no es troba en un estat que permeti tenir la més mínima esperança d'esbrinar la naturalesa de qualsevol acció externa al planeta [...] si fos cert que hi ha alguna acció aliena, dubto molt de la possibilitat de determinar la posició del planeta que la pugui produir; es més, estic convençut que no es podria fer fins que la naturalesa de la irregularitat estigués ben determinada a partir de diverses revolucions successives.

Tot i que només he seleccionat una o dues frases de la resposta d'Airy (que llavors encara no era Astrònom Reial), són suficients per demostrar que el problema de trobar la posició d'un potencial cos pertorbador es considerava en aquell moment un problema d'extrema dificultat, i ningú sembla haver-se plantejat seriosament embarcar-se en la seva solució; no va ser fins molts anys després que es va intentar trobar-la. Del primer intent ja en parlarem, deixant-lo de banda de moment perquè no va tenir cap relació real amb el descobriment del planeta, per raons que constitueixen un episodi extraordinari d'aquesta història. L'intent que va dur a l'èxit data del novembre de 1845. El gran astrònom francès Le Verrier, el 10 de novembre de 1845, va llegir davant l'Acadèmia Francesa un article sobre l'òrbita d'Urà, en què considerava, sobretot, les pertorbacions produïdes per Júpiter i Saturn i mostrava clarament que no hi havia cap òrbita possible que satisfés les observacions. El primer de juny de 1846 va seguir un segon article del mateix autor, en el qual considerava totes les possibles explicacions del desacord i conclouia que no n'hi havia cap d'admissible excepte la d'un planeta pertorbador exterior a Urà. Suposant, d'acord amb la llei de Bode, que la distància d'aquest nou planeta al Sol fos aproximadament el doble que la d'Urà (i és important tenir present aquesta suposició), passà a investigar l'òrbita d'aquest planeta i a calcular el punt on s'hauria de buscar en el cel. Va seguir un tercer article el 31 d'agost, on presenta una discussió força més completa i arriba a la conclusió que el planeta hauria de ser identificable pel seu disc. De bell nou, és un punt important. Recordem que en el descobriment d'Urà va caldre la considerable habilitat de sir William Herschel per detectar el disc, per apreciar la diferència entre aquest i les estrelles circumdants, i que a altres observadors els costava veure aquesta

diferència, fins i tot quan se'ls havia fet notar la presència del planeta. Es podria esperar, per tant, que amb un planeta el doble de llunyà (com s'havia suposat) el disc seria pràcticament irreconeixible, i com veurem ara, es va partir d'aquesta suposició en algunes cerques del planeta que s'havien començat fins i tot abans de la publicació d'aquest tercer article. L'anunci audaç de Le Verrier, que a partir d'una consideració sobre la massa del planeta va deduir que el disc havia de ser identificable, va dur de manera directa al descobriment del cos. Va escriure a un astrònom alemany, el doctor Galle (que, m'alegra dir-ho, encara és viu i està bé de salut tot i que ja és molt gran) i li especificà el lloc del cel on havia de buscar, tot afirmant que podria esperar detectar el planeta a partir del seu aspecte. Aquella mateixa nit, el doctor Galle, comparant un mapa estel·lar amb l'observació del cel, va trobar el planeta.

Als dos punts que he subratllat especialment en aquest breu resum (la suposició preliminar que el planeta estaria, segons la llei de Bode, situat el doble de lluny que Urà i, en segon lloc, l'afirmació que presentaria un disc visible) demanaré al lector que afegeixi un tercer: el fet que va ser trobat amb l'ajuda d'un mapa estel·lar, ja que aquest mapa va tenir un paper rellevant en la història posterior, a la qual passarem ara.

Com es pot suposar, l'anunci de la troballa d'un planeta d'aquesta manera, el càlcul de la seva posició a partir de la certesa de l'acció universal de la gran llei de la gravitació, les indicacions a un observador eminent per buscar en aquell punt una cosa en particular i el seu èxit immediat —en definitiva, aquesta extraordinària combinació de circumstàncies—, va causar una sensació profunda no només en tot el món astronòmic, sinó també entre el públic general; i aquesta sensació es va veure reforçada per un rumor que havia començat a agafar força

segons el qual, si no hagués estat per algunes circumstàncies desafortunades, el descobriment podria haver-se fet fins i tot abans i com a conseqüència de càlculs totalment independents fets per un jove matemàtic de Cambridge, J. C. Adams. Sens dubte, alguns lectors ja estaran familiaritzats amb la història en la seva forma abreujada, perquè s'ha difós a bastament en els textos. A Anglaterra, en general pren la forma de subratllar la mala fe o la desgana de l'astrònom reial que, quan li van dir on buscar un planeta, va descuidar el seu deure evident, i així un altre astrònom que va fer el càlcul molt més tard i va donar a un observador més virtuós les mateixes indicacions, va obtenir per a França la glòria d'un descobriment que s'hauria d'haver quedat a Anglaterra. No hi ha dubte que la conducta d'Airy va rebre una gran quantitat del que ell va anomenar «ofenses violentes»; quan els fets s'exposen amb claredat crec que serà evident que moltes de les coses desagradables que es van dir d'ell no eren gaire justes, si bé, al mateix temps també costa entendre la seva conducta en dos o tres punts de la història, fins i tot en les seves pròpies paraules.

Per sort, no hi ha cap dubte sobre els fets. El mateix Airy en va donar una explicació molt clara i directa en aquell moment, per la qual cosa se li ha de donar més crèdit del que sol rebre. A més, des de la mort dels principals actors d'aquest drama, s'han tornat a examinar els fets, amb el resultat que pràcticament no hi ha dubte sobre cap de les circumstàncies en qüestió. Pel que fa a les interpretacions adequades que se'n fa, és ben cert que pot haver-hi grans diferències d'opinió, però aquest fet no en desvirtua l'interès. És gairebé impossible fer-ne un relat transparent, i potser tampoc cal fer-ho. Per tant, demano al lector que recordi que en el que explicaré ara hi ha, gairebé per força, un element de biaix

personal, i que probablement un altre autor ho presentaria sota una altra lent. Dit això, espero poder parlar amb llibertat tal com apareix l'assumpte en la meua apreciació personal.

La descripció d'Airy, com s'ha dit abans, es va lliurar a la Royal Astronomical Society en la seva primera reunió posterior l'anunci sorprenent del descobriment del nou planeta, el 13 de novembre de 1846, i ja n'he citat un fragment. Comença amb un homenatge al caràcter sensacional del descobriment, i després afirma que, tot i que s'ha produït clarament gràcies a dos individus (és a dir, Le Verrier i Galle), també es podria considerar en certa mesura la conseqüència de les tendències de l'època. Les seves paraules són aquestes: «Els principals passos de les investigacions teòriques han estat fets per una persona, i el descobriment publicat del planeta ha estat necessàriament fet per una sola persona. I és a aquestes persones que s'ha dirigit l'atenció pública, persones que sens dubte es mereixen els honors que han rebut i que seguiran rebent. Tanmateix, ens equivocariem si consideréssim que només aquestes dues persones han de ser considerades com les autores del descobriment d'aquest planeta. Estic segur que es trobarà que el descobriment és una conseqüència del que es pot anomenar pròpiament una tendència de l'època, impulsat per les impressions del món científic en general i perfeccionat pels treballs addicionals però independents de diverses persones que posseeixen el talent o les capacitats més pertinents per a les diferents parts de les investigacions».

He citat aquestes paraules com un primer punt en què costa d'entendre la conducta d'Airy a l'hora d'excloure tota menció específica d'Adams, sabent com sabia que tenia el dret a rebre tal menció, un dret, de fet, que va deixar clar tot seguit. Sembla força clar que Airy

va subestimar del tot el valor del treball d'Adams, fet que resultarà més evident a mesura que avancem. El «relat» es concreta en la reproducció, en acabat, d'una sèrie de cartes amb comentaris puntuals. Airy era una persona molt metòdica, i arxivava tota la correspondència amb gran regularitat; una vegada es va comentar, en broma, que si assequés la seva ploma en un tros de paper secant, posaria data al paper secant i l'arxivaria com a referència. Les cartes reproduïdes en aquest «relat» encara es troben a l'Observatori de Greenwich, endreçades tal com les va deixar Airy; i en preparar el seu «relat» no calia fer més que copiar-les i interpolar-hi comentaris. De dues ja n'he citat fragments per mostrar com de difícil es veia l'empresa de trobar un planeta exterior a partir de la seva acció sobre Urà l'any 1834. A aquestes es pot afegir la següent frase de la carta núm. 4, datada el 1837: «Si es tracta de l'efecte d'un cos invisible», escriu Airy a Bouvard, «serà gairebé impossible esbrinar-ne mai la posició». Però la primera carta que ens ha d'ocupar és la núm. 6, sobre la qual només cal aclarir que el professor Challis era catedràtic d'astronomia a Cambridge i responsable de l'Observatori de Cambridge, càrrec en què havia succeït el mateix Airy quan aquest havia marxat de Cambridge per ocupar el lloc a Greenwich uns vuit anys abans.

Carta del professor Challis a G. B. Airy (núm. 6)

Observatori de Cambridge, 13 de feb. de 1844

Un jove amic meu, el senyor Adams del St. John's College, està treballant en la teoria d'Urà, i vol obtenir errors de les longituds geocèntriques tabulars d'aquest planeta, quan es troba a prop de l'oposició, per als anys 1818-1826, amb els factors per reduir-los a errors de longitud heliocèntrica. Estan prou avançades les vostres reduccions de les observacions planetàries com per poder proporcionar aquestes dades? Tindríeu cap objecció per tal de satisfer aquesta

petició? Si el senyor Adams es veu afavorit en aquest sentit, també vol saber si en el càlcul dels errors tabulars s'han fet modificacions a les *Taules d'Urà* de Bouvard, a més de la de la massa de Júpiter.

La meua resposta va ser així:

Carta de G. B. Airy al professor Challis (núm. 7)

Observatori Reial de Greenwich, 15 de feb. de 1844

Envio tots els resultats de les observacions d'Urà fetes amb ambdós instruments (és a dir, els errors heliocèntrics d'Urà en longitud i latitud des del 1754 fins al 1830, per a tots aquells dies en què hi va haver observacions, tant d'ascensió recta com de distància polar). No es fa cap alteració a les *Taules d'Urà* de Bouvard excepte en augmentar les dues equacions que depenen de Júpiter en 1/50 part. Com que s'han afegit constants (a les taules impreses) per fer les equacions positives, i com que s'ha sumat 1/50 part dels valors de les taules, s'ha restat 1/50 part de les constants dels resultats finals.

En acusar la recepció, el professor Challis m'expressà:

Carta del professor Challis a G. B. Airy (núm. 8)

Observatori de Cambridge, 16 de feb. de 1844

Estic molt agraït de la vostra tramesa d'una sèrie tan completa d'errors tabulars d'Urà [...] La llista que heu enviat donarà al senyor Adams els mitjans per dur a terme de la manera més eficaç la investigació en què està implicat.

La següent carta mostra que el senyor Adams ha obtingut bon resultat d'aquests errors:

Carta del professor Challis a G. B. Airy (núm. 9)

Observatori de Cambridge, 22 de set. de 1844

El meu amic el senyor Adams (que probablement us lliurarà aquesta nota) ha completat els seus càlculs respecte a la pertorbació de l'òrbita d'Urà per un suposat planeta ulterior i ha arribat a resultats que estarà encantat de comunicar-vos personalment, si poguéssiu concedir-li uns moments del vostre valuós temps. Els seus càlculs es basen en les observacions que vaig ser tan amable de proporcionar-li fa un temps; pel seu caràcter de matemàtic i la seva destresa en el càlcul, he de considerar que les deduccions obtingudes a partir de les seves premisses són fiables. En cas que no tinguéssiu la fortuna de veure-us a Greenwich, espera poder-vos escriure sobre aquest tema.

El dia en què està datada aquesta carta, vaig assistir a una reunió de l'Institut Francès. Vaig acusar-ne la tramesa amb la següent carta:

Carta de G. B. Airy al professor Challis (núm. 10)

Observatori Reial de Greenwich, 29 de set. de 1845

Suposo que estava tornant de França quan el senyor Adams va demanar per mi; en tot cas, no havia arribat a casa i, per tant, malauradament no l'he vist. Esmentareu al senyor Adams que estic molt interessat en el tema de les seves investigacions i que m'agradaria saber-ne més per carta?

Un dels últims dies d'octubre de 1845, el senyor Adams es va presentar a l'Observatori Reial de Greenwich en la meua absència i hi va deixar el següent document important:

Carta de J. C. Adams, *esquire*, a G. B. Airy (núm. 11)

Segons els meus càlculs, les irregularitats observades en el moviment d'Urà es poden explicar suposant l'existència

d'un planeta exterior, la massa i l'òrbita del qual són les següents:

Distància mitjana (assumida segons llei de Bode)	38,4
Moviment sideri mitjà en 365,25 dies	1° 30,9'
Longitud mitjana, 1 d'oct. 1845	323 34
Longitud del periheli	315 55
Excentricitat	0,1610
Massa (la del Sol és la unitat)	0,0001656

Per a les observacions modernes he utilitzat el mètode dels llocs normals, fent que la mitjana dels errors tabulars, tal com donen les observacions a la vora de tres oposicions consecutives, es correspongui amb la mitjana dels temps; s'han emprat les observacions de Greenwich fins al 1830: a partir de llavors, s'han utilitzat les observacions de Cambridge i Greenwich, i les que apareixen a l'*Astronomische Nachrichten*. Els següents són els errors restants de la longitud mitjana:

Any	Obs. – teoria	Any	Obs. – teoria
1780	+0,27	1813	-0,94
1783	-0,23	1816	-0,31
1786	-0,96	1819	-2,00
1789	+1,82	1822	+0,30
1792	-0,91	1825	+1,92
1795	+0,09	1828	+2,25
1798	-0,99	1831	-1,06
1801	-0,04	1834	-1,44
1804	+1,76	1837	-1,62
1807	-0,21	1840	+1,73
1810	+0,56		

L'error per a 1780 es conclou a partir del de 1781 obtingut de l'observació, comparat amb els de quatre o cinc anys següents i també amb les observacions de Lemonnier de 1769 i 1771.

Per a les observacions antigues, els errors restants són els següents:

Any	Obs. – teoria	Any	Obs. – teoria
1690	+44,4	1756	-4,0
1712	+6,7	1763	-5,1
1715	-6,8	1769	+0,6
1750	-1,6	1771	+11,8
1753	+5,7		

Els errors són petits, llevat de l'observació de Flamsteed de 1690. En tractar-se d'una observació aïllada, molt llunyana de la resta, vaig pensar que era millor no utilitzar-la per formar les equacions de situació. No és improbable, però, que aquest error pugui quedar eliminat per un petit canvi en el moviment mitjà assumit del planeta.

Vaig acusar la recepció d'aquest text en els termes següents:

Carta de G. B. Airy a J. C. Adams, *esquire* (núm. 12)

Observatori Reial de Greenwich, 5 de nov. de 1845

Us estic molt agraït pel document de resultats que vau deixar aquí fa pocs dies i que mostra les pertorbacions en la posició d'Urà produïdes per un planeta del qual se suposen certs elements. Tots aquests valors són extremadament satisfactoris: no estic prou familiaritzat amb les observacions de Flamsteed de 1690 per dir si impliquen aquest error, però crec que és molt probable.

De totes maneres, m'agradaria molt saber si aquesta suposada pertorbació podrà explicar l'error del radi vector d'Urà. Aquest error és ara molt considerable, com podreu comprovar comparant les equacions normals —que es donen en les observacions de Greenwich per a cada any— per als temps abans de l'oposició amb els temps posteriors a l'oposició.

Abans he dit que vaig considerar que l'establiment d'aquest error del radi vector d'Urà era una determinació molt important. Per tant, vaig considerar que si l'error del radi vector es podia explicar per la mateixa teoria que explicava l'error de la longitud, seria un autèntic *experimentum crucis*. I vaig esperar amb molta ansietat la resposta del senyor Adams a la meua pregunta. Si hagués estat afirmativa, hauria exercit de seguida tota la influència que tenia a les meves mans, directament o indirectament a través del meu amic el professor Challis, per aconseguir la publicació de la teoria del senyor Adams.

Per alguna causa que no conec, probablement accidental, no he rebut cap resposta immediata a aquesta consulta. I ho lamento profundament, per moltes raons.

Aquí podem deixar de banda el «relat» d'Airy per uns moments i considerar el motiu pel qual no va rebre cap resposta. Adams era un jove molt tímid i reservat, i també molt sensible, malgrat que era capaç de mostrar una gran resolució i una enorme perseverança per dur a terme els seus projectes. Sabem amb quina fermesa havia sostingut la idea de resoldre aquest gran problema, un aspecte que no és evident en el relat tot just presentat. Era característic d'ell que ja l'any 1841 hagués decidit comprometre-s'hi, malgrat que en aquell moment no va poder treballar-hi. El següent apunt, que encara existeix, ja que es va trobar entre els seus papers després de la seva mort, corrobora aquests fets:

1841, 3 de juliol. A principis d'aquesta setmana, vaig concebre la idea d'investigar, tan aviat com fos possible després de graduar-me, les irregularitats en el moviment d'Urà, que encara no s'han explicat: determinar si es poden atribuir a l'acció d'un planeta no

descobert situat més enllà i, si és possible, calcular-ne els elements de l'òrbita, etc., aproximadament, que és probable que portin al seu descobriment.

Així doncs, «tan aviat com va ser possible després de graduar-se» es va embarcar en aquesta empresa. La primera solució la va aconseguir durant les llargues vacances de 1843, suposant que l'òrbita del planeta desconegut era un cercle amb un radi igual al doble de la distància mitjana d'Urà al Sol (una suposició que, com hem vist, també va fer Le Verrier). Després d'haver-se convençut que hi havia un bon acord general entre els seus resultats i les observacions, Adams va abordar una solució més completa; de fet, va obtenir, des de l'inici fins al final, no menys de sis solucions independents; la que va anunciar a Airy a la carta anterior era la quarta. Per tant, ja havia fet una gran quantitat de treball sobre el problema, i estava tan justament convençut de la correcció i la vàlua dels seus resultats que podia oblidar amb facilitat que altres persones no havien tingut la mateixa oportunitat de jutjar-ne la integritat; en conseqüència, es va sentir d'allò més decebut quan el seu anunci no va ser rebut amb plena confiança.

Ara, potser primer caldria dir que, per una sèrie de contratemps, Adams ja s'havia sentit molt decebut pel fracàs dels seus intents de veure l'Astrònom Reial en les seves visites a Greenwich. No sembla que això hagi estat ben bé culpa d'Airy; aquest era, com es pot suposar, un home extremadament enfeinat, i aleshores estava molt ocupat en una qüestió de gran importància pràctica a petició directa del Govern: la fixació de l'ample de via adequat per als ferrocarrils del país. La primera vegada que Adams va anar a visitar-lo, Airy era a Londres en una reunió del comitè que s'ocupava d'aquesta qüestió, i a Adams se li va demanar que passés més tard; quan es

va repetir la visita, malauradament Airy estava sopant (i podem afegir que les seves hores de sopar eren una mica peculiars); el majordom, actuant una mica a la manera dels de la seva classe, va protegir el sopar del seu amo desempallegant-se de qui, sens dubte, considerava un visitant molest. Com he dit, hi ha ben pocs dubtes sobre cap d'aquests fets, i sembla clar que el mateix Airy no es va assabentar de les visites d'Adams fins més tard i no seria gaire just culpar-lo de la negligència d'un criat. En qualsevol cas, Adams va deixar el document que hem reproduït més amunt i Airy, amb el seus costums formals, finalment se'n va ocupar, va escriure la resposta que hem presentat abans en què plantejava a Adams una qüestió ben clara, va arxivar-ne una còpia amb la carta original i després va bandejar el tema dels seus pensaments fins a la resposta d'Adams, que esperava rebre més endavant.

El problema és que aquesta nova decepció va ser massa per a Adams, ja que va considerar que la pregunta formulada per Airy tenia una resposta tan evident que l'havia plantejada com una mena d'evasiva, malgrat que no era pas així, en absolut. Airy s'havia pres el tema seriosament, tot i que cal admetre que un estudi més acurat del problema li hauria demostrat que la pregunta plantejada era innecessària. Més tard, quan es va assabentar de les investigacions de Le Verrier, li va fer la mateixa pregunta i va rebre una resposta educada però molt clara, demostrant que la comprovació suggerida no era cap *experimentum crucis* com ell suposava. En tot cas, Adams no es va sentir a l'alçada de donar aquesta resposta; es va tancar dins de la seva closca i es va consolar calculant de bell nou una altra solució del problema que tant absorbia la seva vida en aquells moments.

He sentit dir coses força greus o despectives sobre aquest tema per part dels que més culpen a Airy. Alguns no dubten a acusar-lo d'incompetència intel·lectual; diuen que plantejar aquella qüestió era estúpid. Crec que, per començar, obliden la diferència entre un error de judici deliberat i una mera conseqüència de no parar prou atenció. Però encara es poden dir més coses en defensa de la qüestió: a Airy se li va presentar l'«error del radi vector» d'una manera totalment independent, i com un fenomen completament separat, de l'«error de longitud», i no hi havia res d'anormal en considerar que requeria una explicació independent. És cert que, tal com va quedar demostrat pels fets, un simple reajustament de l'òrbita d'Urà aconseguia eliminar l'error del radi vector (i aquesta va ser, en resum, la resposta de Le Verrier a la pregunta d'Airy), però no hem de jutjar el que era possible abans dels fets a la llum del que ara ja sabem. Les possibilitats originals eren molt més àmplies, tot i que ara ja n'hem oblidat l'extensió un cop s'han reduït gràcies al descobriment. Si en temps de guerra un sentinella sent un soroll en una determinada direcció, pot suposar que es tracta del moviment d'un enemic; i si dispara en aquella direcció i el mata i, així salva el seu propi exèrcit de la destrucció, rep merescudament els aplaudiments per l'èxit de la seva acció. Però d'això no es dedueix que el supòsit a partir del qual va actuar fos l'únic possible. O, si volem una il·lustració més repassada, quan juguem a *whist* de vegades és molt clar que la partida només es pot guanyar si les cartes es troben d'una determinada manera; aleshores, un bon jugador assumirà que aquest és el fet i jugarà en conseqüència. Adams i Le Verrier van jugar per guanyar la partida en el supòsit particular que la pertorbació d'Urà es devia a un planeta extern que orbitava a una distància del Sol que era més o menys el doble que la d'Urà. Van guanyar, i els aplaudim per la victòria, però és fàcil imaginar que

les cartes podien estar reordenades de manera que haguessin perdut. En aquest sentit, la pregunta d'Airy només implicava que estava amatent a aquestes possibilitats més generals i no veia la necessitat d'intentar guanyar la partida amb aquella suposició particular.

Ja hem esmentat una d'aquestes possibilitats alternatives: «L'opinió de Hansen era que un cos pertorbador no satisfaria els fenòmens observats i, així, va conjecturar que hi havia dos planetes més enllà d'Urà». Una altra alternativa concebible és que hi hagués algun canvi en la llei de la gravitació a la distància d'Urà, que, cal recordar, és el doble de la de qualsevol altre planeta conegut anteriorment. O, també, algun cos errant podria haver passat prou a prop d'Urà per canviar-ne l'òrbita de manera un xic sobtada. Ara sabem, per exemple, que l'eixam de meteorits que dona lloc als coneguts «meteors de novembre» devia passar molt a prop d'Urà l'any 126 d. C.,³ suposant que, mentrestant, ni el planeta ni l'eixam hagin alterat el seu moviment de cap manera apreciable però desconeguda. És a aquest encontre que devem la introducció d'aquest eixam al nostre sistema solar: vagant per l'espai, es van trobar amb Urà i, a causa de la seva atracció, els meteorits van ser arrossegats cap a una òrbita al voltant del Sol. No hi va haver cap reacció sobre el mateix Urà? El més probable és que la massa total de l'eixam fos massa petita com per afectar l'enorme planeta de manera apreciable; ara bé, qui pot dir que algun altre eixam de massa més gran, o algun un altre cos, no s'hagi acostat a Urà en alguna data entre 1690 i 1845 i sigui responsable, en part, dels errors observats? Tenim aquí dues o tres suposicions a partir de la nostra experiència familiar; i, per descomptat, més enllà hi ha possibilitats il·limitades. Quina és la veritable actitud científica? Estar amatent a totes o centrar l'atenció només en una?

Potser ens estem desviant massa del tema principal, però és cert que no costa gaire fer-ho quan hom repassa aquest extraordinari fragment d'història, en què gairebé a cada moment sorgeixen noves possibilitats.

Cal que tornem, doncs, al «relat» d'Airy. Havíem arribat al moment en què havia escrit a Adams (el 5 de novembre de 1845) i li plantejava la pregunta sobre el radi vector, que va quedar sense resposta. Pel que fa a Airy, el tema va romandre arraconat fins al juny següent, quan li va arribar la memòria de Le Verrier. Deixem que sigui ell mateix qui ens expliqui què li va semblar.

Aquesta memòria em va arribar al voltant del 23 o 24 de juny. No puc expressar prou el sentiment d'alegria i satisfacció que en vaig obtenir. La posició que va assignar al planeta pertorbador era la mateixa, fins a un grau, que la donada pels càlculs del senyor Adams, que havia examinat set mesos abans. Fins a aquest moment havia considerat que encara hi havia lloc per al dubte quant a l'exactitud de la recerca del senyor Adams, perquè crec que els resultats dels càlculs algebàrics i numèrics, tan llargs i tan complicats com els d'un problema invers de pertorbacions, estan sotmesos a molts riscos d'error en els detalls del procés: sé que hi ha errors numèrics importants en la *Mécanique Céleste* de Laplace, a la *Théorie de la Lune* de Plana i, sobretot, a les primeres taules de Júpiter i Saturn de Bouvard. En resum, sempre he considerat que la correcció d'un elaborat resultat matemàtic era un tema més d'evidència moral que no pas matemàtica. Però ara no tenia cap dubte de l'exactitud de tots dos càlculs, aplicats a la pertorbació en longitud. No obstant això, encara frisava per saber si es podia explicar del tot la pertorbació en el radi vector. Així, vaig enviar al senyor Le Verrier la següent carta:

Carta de G. B. Airy al senyor Le Verrier (núm. 13)

Observatori Reial, Greenwich, 26 de juny de 1846

He llegit, amb molt gran interès, la descripció de les seves investigacions sobre el lloc probable d'un planeta que pertorba els moviments d'Urà, recollida als *Comptes Rendus de l'Académie* del primer de juny; i ara em permeto importunar-vos amb la següent pregunta. A partir de totes les observacions posteriors d'Urà fetes a Greenwich (que es reduïen de manera més completa en les *Greenwich Observations* de cada any i mostren l'efecte d'un error en la longitud heliocèntrica tabulada o en el radi vector tabulat), sembla que el radi vector tabulat és massa petit. Vull preguntar-vos si això podria ser conseqüència de la pertorbació produïda per un planeta exterior, situat ara en la posició que heu indicat.

La carta s'allarga més, però amb això n'hi haurà prou per demostrar que va escriure a Le Verrier de la mateixa manera que a Adams i que, com ja s'ha dit, va rebre una resposta amb data de tres o quatre dies després. Però la resta de la carta no fa cap esment d'Adams i, per tant, se'ns planteja una segona dificultat a l'hora de comprendre la conducta d'Airy. Sembla extraordinari que quan va escriure a Le Verrier no esmentés els càlculs que havia rebut abans d'Adams; o que tampoc hagués escrit a Adams i hagués fet algun intent per saber les raons del seu llarg silenci, quan en aquest moment, com ell mateix afirma, «no tenia cap dubte de l'exactitud de tots dos càlculs». L'omissió pot haver estat, i probablement va ser, simple negligència o una badada, però cal admetre que no és cap sorpresa que altres ho poguessin confondre amb una acció deliberada.

Fos com fos, ara l'atenció s'havia centrat de totes totes en la possibilitat, no gaire llunyana, de trobar el planeta en qüestió. El 29 de juny de 1846, hi va haver una reunió especial de la Junta Rectora de l'Observatori de

Greenwich, i Airy va esmentar de passada aquesta possibilitat. La impressió produïda devia ser inequívoca i profunda, perquè sir John Herschel, que era present, va ser prou agosarat per dir el 10 de setembre, després de la reunió de l'Associació Britànica a Southampton:⁴ «El veiem [el probable nou planeta] com Colom veia Amèrica des de les costes d'Espanya. Hem sentit la tremolor dels seus moviments gràcies a la transcendència de la nostra anàlisi, amb una certesa en cap cas inferior a la de la comprovació ocular». Airy va comentar l'assumpte amb el professor Challis (que, recordem, li havia escrit originalment en nom d'Adams) i li va suggerir que hauria de començar tot seguit a Cambridge la recerca del suposat planeta. Ens podem preguntar per què Airy no va començar aquesta recerca ell mateix a Greenwich, i la resposta és que no tenia cap telescopi que considerés prou gran per a aquest propòsit. L'Observatori Reial de Greenwich sempre ha estat, com ara, més ben equipat que qualsevol altre observatori en certs aspectes, tal com es podria esperar de la seva gran i merescuda reputació, però posseir el telescopi més gran no ha estat mai una de les seves ambicions. Els instruments dels quals pot estar-ne més orgullós són notables per la seva fermesa i precisió més que no pas per la seva mida; i en aquella època el millor telescopi que posseïa l'observatori no era, segons Airy, prou gran per detectar el planeta amb certesa. Ara sabem que estava equivocant; però, novament, no hem de jutjar la seva conducta abans dels fets en vista del que hem descobert des de llavors. Aquí podem recordar que no va ser fins al tercer article de Le Verrier, publicat el 31 d'agost, que va recalcar que el nou planeta podria ser d'una mida suficient com per tenir un disc apreciable, i va ser aquesta observació la que va dur immediatament al seu descobriment. Fins que això no va ser exposat de manera tan convincent, segurament semblava una cosa d'allò més improbable; perquè en

l'últim capítol ja vam veure amb quina diligència s'havia garbellat el zodíac en la recerca de planetes menors, tal com durant quinze anys havia fet Hencke, per exemple, sense èxit, i semblava raonable pensar que si hi hagués un objecte prou brillant (com després s'ha vist que era Neptú) s'hauria descobert abans. Per tant, en bona lògica, Airy va considerar que calia ampliar el seu garbell per buscar objectes molt petits. El 9 de juliol va escriure al professor Challis en els termes següents:

Carta de G. B. Airy al professor Challis (núm. 15)

Vicariat d'Ely, 9 de juliol de 1846

Ja sabeu que dono importància a l'exploració d'aquella part del cel en què hi ha [...] motius per sospitar de l'existència d'un planeta exterior a Urà. He pensat en la manera de dur a terme aquesta exploració, però estic convençut que (per diverses raons, de declinació, latitud del lloc, debilitat de la llum i regularitat de la supervisió) no hi ha cap possibilitat que es completi amb èxit, excepte amb el telescopi de Northumberland.

Ara, m'agradaria preguntar-vos, en primer lloc, si estàrieu disposat a fer aquesta exploració.

Assumint que la vostra resposta seria negativa, us preguntaria, en segon lloc, si, suposant que se us proporcionés un ajudant per a aquest propòsit, supervisaríeu vós l'exploració.

Us adonareu amb facilitat que en l'actualitat tot això és poca cosa més que un projecte poc perfilat, i que plantejo aquestes preguntes gairebé a la babalà, amb l'esperança de rescatar el tema d'un estat en què, sense l'ajuda que podeu aportar vós i els vostres instruments, és gairebé desesperat. Així, em satisfaria molt rebre la vostra resposta, no només per respondre a les meves preguntes, sinó també per plantejar qualssevol consideracions que creieu que resulten pertinents.

El moment de l'exploració esmentada s'acosta.

El professor Challis no va demanar cap ajudant, sinó que va decidir emprendre el treball ell mateix i va idear el seu propi pla de treball; però també va iniciar l'empresa amb l'expectativa d'una recerca llarga i laboriosa. No li va passar pel cap la idea de trobar el planeta la primera nit. D'una banda, no tenia cap mapa de la regió que havia d'explorar, ja que tot i que s'havia publicat el mapa utilitzat per Galle, encara no n'havia arribat cap còpia a Cambridge, de manera que el professor Challis gairebé va haver d'elaborar un mapa ell mateix. En aquests dies de fotografia fer un mapa així és una qüestió senzilla, però en aquells moments el procés era terriblement laboriós. «Avanço molt lentament», va escriure el 2 de setembre a Airy, «ja que crec que és adequat incloure totes les estrelles de magnitud 10-11; i veig que explorar a fons d'aquesta manera la part del cel proposada requerirà moltes més observacions de les que puc fer aquest any». Amb aquestes expectatives, no és d'estranyar que les observacions d'una nit ni tan sols es comparessin amb les de la següent; resultava una mica avantatjós esperar fins que s'hagués acumulat una gran quantitat de material i després fer les comparacions totes juntes; aquest fou, doncs, el camí adoptat. Però quan per fi va arribar a mans del professor Challis el tercer article de Le Verrier, amb la ferma opinió que el planeta podia ser prou brillant com per apreciar-ne el disc, la visió que tenia de les possibilitats de trobar el cos van canviar de mig a mig; immediatament va començar a comparar les observacions ja fetes i va descobrir que havia observat el planeta a principi d'agost. Però ara ja era massa tard per ser el primer en la cursa, perquè Galle ja n'havia anunciat el descobriment. En una carta a Airy del 12 d'octubre, Challis només va poder lamentar-se que, després de quatre dies d'observació, el planeta estava al seu abast... si hagués examinat o cartografiat les observacions; si no

ho hagués posposat fins a disposar de més observacions per reduir; si no hagués estat molt ocupat amb algunes observacions de cometes. Oh! aquests terribles si que tantes vegades s'interposen entre un home i l'èxit! El tercer resulta peculiarment angoixant, perquè representa aquest conflicte etern entre un deure i un altre, que amb tanta assiduitat es repeteix en el treball científic. Hauríem d'enllestir un treball ja en marxa, o seria millor ocupar-nos d'alguna cosa més nova i més atractiva? Challis va pensar que el seu deure consistia a completar les observacions de cometes ja iniciades. Al capítol anterior ja hem vist que la recerca constant de nous planetes menors, un deure que s'havia tornat tediós i que aparentment no duia enlloc, de sobte va donar com a resultat l'important descobriment d'Eros. Però Challis no va ser tan afortunat quan va decidir seguir pel camí trillat; hauria fet millor deixant-lo de banda. No hi ha cap regla d'or en aquestes situacions; ens hem de guiar en cada cas per les circumstàncies concretes i, per tant, el dilema és nou en cada ocasió, i potser fins i tot més difícil cada vegada que es repeteix.

Aquests són, en resum, els fets que van dur al descobriment de Neptú, que es va fer a Alemanya amb la direcció de França, quan podria haver-se fet només a Cambridge. Tot plegat va dur a un gran enrenou en aquell moment. El «relat» dels esdeveniments, tal com va llegir Airy davant de la Royal Astronomical Society el 13 de novembre de 1846, per molt clar, directe i interessant que fos, i en el qual deixava clar en quins aspectes es considerava culpable, va despertar emocions d'enuig en molts cercles, dirigides sobretot contra el mateix Airy. Els ambients acadèmics de Cambridge estaven furiosos per la negligència d'Airy, i el consideraven responsable d'haver fet perdre a la Universitat un gran descobriment. A altres llocs també estaven indignats pel

seu intent de reclamar per a Adams part de la glòria que consideraven que hauria de dirigir-se exclusivament a Le Verrier. Cal subratllar, però, que el sentiment no era purament nacional; alguns forasters van ser cordials en el reconeixement de l'obra d'Adams, mentre que alguns dels més adelerats a l'hora d'oposar-se a les seves reivindicacions es trobaven en aquest país. En el seu afany per demostrar que no els afectaven les gelosies nacionals, aquests homes de ciència van anar massa lluny en sentit contrari.

La conducta d'Airy va ser certament estranya en diversos punts, com ja s'ha discutit. No es pot entendre el seu escrit a Le Verrier el juny de 1846 sense cap menció d'Adams; ni tan sols podria haver oblidat per un moment l'obra d'Adams, atès que ell mateix ens explica que va adonar-se de l'estreta correspondència dels seus resultats amb els de Le Verrier. Si hagués esmentat aquest fet per escrit a Le Verrier, encara que fos de passada, hauria preparat el camí per a la seva afirmació posterior. De totes maneres, podem entendre fàcilment la impressió desfavorable produïda per aquesta afirmació després del descobriment, quan no hi havia cap indicatiu anterior sobre el tema.

De tots els que van excedir-se amb Airy, Cambridge és qui tenia la pitjor excusa, perquè no hi ha cap dubte que amb un catedràtic d'astronomia raonablement competent a Cambridge, no calia que s'haguessin adreçat a Airy; no sembla que calgui una gran dosi d'intel·ligència per buscar en una regió determinada un objecte estrany si es té un instrument adequat. Hem vist que Challis tenia l'instrument, i quan se'l va acuitar a trobar el planeta va estar a l'altura de les circumstàncies; però era un home sense iniciativa, i mai li va passar pel cap la idea de fer-ho sense la direcció d'alguna persona de més autoritat. Feia molts anys que estava acostumat a comptar

amb el suport d'Airy, que l'havia precedit en el càrrec a Cambridge. Per exemple, quan va ser nomenat per succeir-lo i es va veure en la necessitat d'impartir classes als estudiants, es va trobar tan impotent que va escriure a Airy per demanar-li que tornés a Cambridge i fes les classes per ell; i així va ser: Airy va obtenir permís del Govern per deixar temporalment les seves funcions a Greenwich i poder tornar a Cambridge per ensenyar a Challis com s'havien de fer les classes. Em sembla que aquesta impotència va ser l'arrel de totes les dissorts de les quals Cambridge es va queixar després amb tanta amargor. Ja he reclamat d'entrada el privilegi d'exposar les meves opinions, amb les quals altres poden no estar d'acord; així, puc dir que de tots els errors i omissions comesos en aquest petit episodi de la història, el més imperdonable i el que va tenir conseqüències més greus em sembla que va ser aquest: que Challis mai es va interessar, ni de passada, pel resultat de la visita a Greenwich que ell mateix havia animat Adams a fer. El jutjo fins a cert punt per defecte, perquè assumeixo els fets per manca de proves en sentit contrari; en qualsevol cas, sembla prou segur que després d'enviar aquest jove a veure Airy amb relació a aquest tema tan important, Challis es va rentar les mans de tota responsabilitat, fins al punt que ni tan sols es va prendre la molèstia de preguntar-li, quan va tornar, «I doncs, com us ha anat? Què us ha dit l'Astrònom Reial?». Si hagués plantejat aquesta pregunta senzilla, que amb prou feines requeria més iniciativa que la que pot tenir una màquina, i en conseqüència hagués descobert, com hauria d'haver fet, que l'influenciable jove pensava que la pregunta d'Airy era trivial i que no tenia intenció de respondre-la, crec que podríem suposar que els esdeveniments haguessin pres un curs més adequat. Fins i tot podríem confiar en què Challis li hagués dit: «Oh! Però hauríeu de respondre la pregunta de l'Astrònom Reial; podeu pensar que

és estúpida, però és millor respondre-li educadament i demostrar-li que sabeu de què parlem». No val la pena seguir amb les especulacions; els fets no van anar així i les coses van prendre un altre camí. Però sempre m'ha semblat que la meua vella universitat va convertir en boc expiatori l'home equivocacat en llançar la seva fúria sobre Airy, quan el veritable culpable estava entre ells, i era l'home que ells mateixos havien escollit per representar l'astronomia. És de suposar que era el millor que tenien, però si no tenien ningú millor, no s'haurien d'estranyar, ni de queixar, si les coses anaven malament. Si una universitat té l'ambició de fer grans coses, ha de tenir cura de veure que en els llocs adequats hi hagi homes amb capacitat i iniciativa. En qualsevol cas, no és una tasca gens fàcil, i calen tots els incentius possibles per fer-la correctament. Mirar cap a una altra banda quan la pèrdua d'una gran oportunitat ha deixat al descobert un punt feble és perdre un bon incentiu, i potser no el menys valuós.



Passem ara a algunes circumstàncies curioses que es van produir en aquest notable descobriment d'un planeta gràcies a la recerca matemàtica. La primera és que, tot i que Neptú es va trobar molt a prop del lloc on es va predir, la seva òrbita, després del descobriment, va resultar ser molt diferent de la que havien calculat Adams i Le Verrier. Potser el lector recorda que els dos matemàtics van suposar que la distància al Sol, d'acord amb la llei de Bode, era gairebé el doble que la d'Urà. Es va trobar que la distància mitjana real del planeta al Sol era inferior a la prevista per la llei de Bode en un 25 %, una quantitat enorme en un cas així. Per exemple, si el

planeta hipotetitzat i el real iniciessin junts el seu recorregut al voltant del Sol, el real aviat es trobaria molt per davant de l'altre i l'efecte pertorbador final dels dos sobre Urà seria molt diferent. Per explicar la diferència, primer hem de recordar una propietat curiosa d'aquesta mena de pertorbacions. Quan dos planetes orbiten de manera que un triga a donar una volta al Sol exactament el doble, o el triple, o qualsevol nombre exacte de vegades, que l'altre, les expressions matemàtiques habituals per a l'acció pertorbadora d'un planeta sobre l'altre atribueixen una pertorbació *infinita*, que, traduïda al llenguatge ordinari, significa que hem de començar amb una nova hipòtesi, perquè aquest estat de coses no es pot mantenir. Si el període d'un fos una mica *més llarg* que aquest valor crític, algunes de les expressions matemàtiques serien de signe contrari a les corresponents a un període una mica *més curt*. En aquest sentit, és ben curiós que el suposat planeta i el real tinguessin òrbites en costats oposats d'un valor crític d'aquest tipus; en concret el que assignaria un període de revolució a Neptú exactament igual al doble que el d'Urà. D'acord amb això, el professor Peirce, a Amèrica, va assenyalar que l'efecte del planeta imaginat per Adams i Le Verrier era totalment diferent que l'efecte que podia produir Neptú; per tant, va declarar que el treball matemàtic no havia dut realment al descobriment, sinó que havia estat fruit d'una mera coincidència, i aquesta opinió —malgrat que resulti una mica paradoxal— va trobar un suport gens menyspreable. Adams no va replicar fins uns trenta anys més tard, amb una breu resposta al *Journal* de Liouville.⁵ L'explicació que s'hi dona és la següent: les expressions que considerava el professor Peirce són les que representen l'acció del planeta al llarg d'un passat indefinit, i no formen part del problema, que hauria estat exactament el mateix si Neptú hagués estat creat sobtadament el 1690; en canvi, si Neptú hagués existit fins al

1690 (any en què es va observar Urà per primera vegada, tot i que sense saber-ho) i després hagués estat destruït, no hi hauria hagut cap mitjà per rastrejar-ne l'existència anterior; en èpoques passades, sens dubte havia estat pertorbant l'òrbita d'Urà i hi havia provocat alteracions considerables; però si aleshores hagués estat destruït de sobte, no hauríem tingut cap mitjà per identificar aquests canvis. En lloc de Neptú podria haver-hi hagut un altre planeta, com el suposat per Adams i Le Verrier, i la seva acció en tots els temps passats hauria estat molt diferent a la de Neptú, tal com es representa correctament en les expressions matemàtiques que va considerar el professor Peirce. En conseqüència, l'òrbita d'Urà el 1690 hauria estat molt diferent de l'òrbita que es va trobar realment; però en qualsevol cas, els matemàtics Adams i Le Verrier l'haurien hagut d'assumir tal com la van trobat; i l'acció pertorbadora que van considerar en els seus càlculs va ser la pertorbació comparativament petita que va començar el 1690 i va acabar el 1846. Durant aquest nombre limitat d'anys, la pertorbació del planeta que imaginaven, malgrat que no fos exactament la mateixa que la de Neptú, era prou semblant com per donar-los la posició aproximada del planeta.

No obstant això, és una mica desconcertant fer una ullada a les expressions matemàtiques de les pertorbacions tal com les van utilitzar Adams i Le Verrier, ara que podem comparar-les amb les expressions reals a les quals haurien de correspondre; es pot dir amb franquesa que no hi ha cap mena de semblança. No fa gaire, la Royal Astronomical Society ha publicat un recordatori dels treballs d'Adams;⁶ s'hi reproduïx un facsímil del manuscrit que conté la «primera solució», que va obtenir el 1843 durant les llargues vacances després de graduar-se i que hauria donat la posició de Neptú en aquell moment amb un error de 15° . En una introducció

que descriu el conjunt de tots els manuscrits, escrita pel professor R. A. Sampson de Durham, es mostra com de diferents són les expressions reals de la influència de Neptú de les utilitzades per Adams, i és una de les curiositats d'aquest notable episodi que algunes semblen estar realment en la direcció equivocada, mentre que altres s'hi assemblen tan poc que només fixant la nostra atenció amb claredat en les consideracions abans esmentades ens podem adonar que el treball analític sí que va dur, en efecte, al descobriment del planeta.

Una segona curiositat és la idea equivocada que ha estat sostinguda, almenys, per un home eminent (sir J. Herschel), segons la qual s'hauria pogut trobar la ubicació del planeta mitjançant un càlcul matemàtic molt més senzill que el que van emprar Adams o Le Verrier. En el seu famós *Outlines of Astronomy*, sir John Herschel descriu un mètode gràfic simple que, segons ell, hauria assenyalat el lloc del planeta sense gaire complicacions. Quant a aquest mètode, em limito a citar les paraules del professor Sampson:

S'arriba a la conclusió que Urà va arribar a una conjunció amb el planeta pertorbador cap al 1822; i aquest era el supòsit. Per plausible que sembli aquest argument, és totalment gratuït. Perquè el fet que el màxim de les pertorbacions depengui de les excentricitats no té cap relació amb la conjunció, i les altres que només depenen de les diferències dels moviments mitjans són del tipus d'oscil·lacions forçades, i la conjunció no és la seva posició màxima o estacionària, sinó la seva posició de canvi més ràpid.

El professor Sampson continua i mostra que una discussió més detallada tampoc sembla més prometedora; i conclou que els refinaments emprats no eren superflus, tot i que ara sembla clar que un procediment diferent

podria haver conduït amb més seguretat a la conclusió que es volia.

El tercer aspecte curiós és que els dos científics s'adherissin tan estretament a la llei de Bode. Si no haguessin seguit aquest principi rector, sembla gairebé del tot cert que haurien aconseguit una millor aproximació a la posició del planeta, ja que en comptes d'ajudar-los, la llei de Bode en realitat els va desencarrilar. Ja hem comentat que si dos planetes es troben a distàncies diferents del Sol, per petites que siguin, i si inicien junts el seu moviment de revolució, amb el pas del temps s'aniran separant inevitablement i, al final, la magnitud de la separació serà considerable. Així, en assumir una distància per al planeta que era errònia, per petit que fos aquest error, el càlcul va fer impossible obtenir una posició per al planeta que pogués ser correcta més enllà d'un període molt breu. El professor Sampson ha presentat les següents llistes, molt interessants, de les dates en què les sis solucions d'Adams donaven la posició veritable del planeta i els intervals durant els quals l'error es trobava dins de 5° en una direcció o l'altra:

	I	II	III	IV	V	VI
<i>Correcte</i>	1820	1835	1872	1830	1861	1856
<i>Dins de $\pm 5^\circ$</i>	1812	1827	1865	1813	1815	1826
	1827	1842	1877	1866	1871	1868

TAULA 6. POSICIONS DE NEPTÚ SEGONS ADAMS

Ara, la data en què era més important obtenir la posició correcta era l'any 1845, més o menys, quan es va proposar buscar el planeta; però no sembla que cap dels investigadors tingués en compte precaucions especials per garantir algun avantatge en aquesta data concreta. Si volem criticar el procediment després dels fets (i, per

descomptat, és un mètode de crítica molt poc satisfactori), podríem dir que hauria estat millor fer diverses suposicions pel que fa a la distància en lloc de basar-nos només en la llei de Bode; però ningú, pel que jo sé, s'ha pres mai la molèstia d'elaborar una solució satisfactòria del problema tal com podria haver estat realitzada. Aquesta solució tindria molt interès, malgrat que tindria ben poc pes l'hora de formar la nostra apreciació de l'habilitat amb què es va resoldre el problema en primera instància.

En quart lloc, podem apreciar un fet molt singular. Le Verrier es va esforçar no només a indicar el lloc més probable del planeta, sinó també a assenyalar certs límits fora dels quals no calia observar. Airy comenta aquesta part de la seva obra amb un entusiasme especial, i reproduiré les seves paraules a continuació. Potser és un fragment un pèl tècnic, però els lectors que no puguin seguir-ne les matemàtiques sí que en podran apreciar el to d'admiració.

El senyor Le Verrier passa llavors a un enginyós càlcul dels límits entre els quals cal buscar el planeta. El principi és el següent: suposant un temps de revolució, totes les altres incògnites es poden modificar de tal manera que, encara que les observacions no quedin tan ben representades com abans, els errors d'observació siguin tolerables. En continuar la modificació dels elements, però, arribarà un moment en què l'error d'observació serà intolerablement gran. Aleshores, variant els elements d'una altra manera, podem, després d'un temps, cometre un altre error d'observació intolerablement gran; i així successivament. Si calculem, per a totes aquestes diferents variacions dels elements, la posició del planeta per a 1847, el seu *locus* serà evidentment una corba discontinua o polígon curvilini. Si fem el mateix amb diversos períodes,

obtindrem polígons diferents; i els períodes extrems permesos quedaran indicats pel fet que els polígons es convertiran en punts. Aquests períodes extrems són 207 i 233 anys. Si ara tracem una corba màxima que circumscrigui tots els polígons, és segur que el planeta ha de ser dins d'aquesta corba. En una direcció, el senyor Le Verrier no va trobar cap dificultat per assignar un límit; en l'altra, es va veure obligat a restringir-la, assumint un límit a l'excentricitat. Així, va trobar que la longitud del planeta no era certament inferior a 321° , i no superior a 335° o 345° , en funció de si limitem l'excentricitat a 0,125 o a 0,2. I si adoptem 0,125 com a límit, aleshores la massa estarà entre els límits 0,00007 i 0,00021, qualsevol de les quals supera la d'Urà. A partir d'aquesta circumstància, combinada amb una hipòtesi probable sobre la densitat, el senyor Le Verrier va concloure que el planeta havia de presentar un disc visible i ser prou lluminós perquè fos visible en telescopis ordinaris.

A continuació, el senyor Le Verrier remarca, com una de les proves contundents de la correcció de la teoria general, que l'error del radi vector s'explica amb tanta exactitud com l'error de la longitud. Per últim, opina que la latitud del planeta pertorbador ha de ser petita.

La meua anàlisi d'aquest article ha estat per força molt imperfecta pel que fa a les parts astronòmiques i matemàtiques, però soc conscient que, pel que fa a una altra part, és del tot inadequada. M'és impossible transmetre la impressió que em va fer la convicció indubtable de l'autor en la certesa general de la seva teoria, la tranquil·litat i la claredat amb què limitava el camp d'observació i la fermesa amb què exposava als astrònoms observadors: «Mireu en el lloc que he indicat i veureu el planeta». Des que Copèrnic va afirmar que, quan es descobrissin mitjans per millorar la visió, es trobaria que Venus tenia fases com la Lluna, no s'ha afirmat mai res, al meu entendre, tan agosarat (i

justificadament agosarat, afegiria) en la predicció astronòmica. Si no vaig errat, aquí veiem un caràcter molt superior al del matemàtic capaç, emprenedor o laboriós; aquí veiem tot un filòsof.

Però ara sabem que aquest procés de limitació era defectuós i, de fet, equívoc. Comparem el que en va dir el professor Peirce una mica més tard:

Guiat per aquest principi, ben establert i legítim, sempre que es confinés a uns límits adequats, el senyor Le Verrier va reduir amb consumada destresa el camp de recerca i va arribar a dues proposicions fonamentals, a saber:

Primera. Que la distància mitjana del planeta no pot ser inferior a 35 ni superior a 37,9. Els límits corresponents del temps de la revolució sidèria són d'uns 207 i 233 anys.

Segona. Que només hi ha una regió en la qual es pot situar el planeta pertorbador per tal de poder explicar els moviments d'Urà, i que la longitud mitjana d'aquest planeta devia estar, el primer de gener de 1800, entre 243° i 252° .

Cap d'aquestes proposicions s'oposa per si mateixa a les observacions que s'han fet sobre Neptú, però les dues combinades són decididament inconsistentes amb l'observació. És impossible trobar una òrbita que, satisfent la distància i el moviment observats, les compleixi. Si, per exemple, s'adopten una longitud i un temps de revolució mitjans segons la primera proposició, la longitud mitjana corresponent a l'any 1800 hauria d'haver estat almenys a 40° de distància dels límits establerts en la segona proposició. I de nou, si se suposa que el planeta tenia l'any 1800 una longitud mitjana propera als límits de la segona proposició, el període de revolució per al qual els seus moviments satisfan les observacions reals no pot

superar els 170 anys, uns 40 anys menys que els límits de la primera proposició.

Neptú no pot ser, doncs, el planeta de la teoria del senyor Le Verrier ni pot explicar les pertorbacions observades d'Urà expressades segons les desigualtats implicades en la seva anàlisi. (*Proc. Amer. Acad. I.*, 1846-1848, pàg. 66)

En el moment en què el professor Peirce va escriure, l'òrbita de Neptú no estava prou ben determinada per decidir si una de les dues limitacions podria no ser correcta, tot i que va poder veure que les dues alhora no podien ser-ho. Ara sabem que totes dues estaven equivocades. La distància mitjana de Neptú és de 30, que no està entre 35 i 37,9; i la longitud el 1800 era de 225° , que no es troba entre 243° i 252° . L'enginyós procediment que Airy admirava i que el mateix Peirce qualifica de fet «amb consumada destresa» era erroni de bon començament. Com ha comentat el professor Newcomb, «l'error, d'altra banda elemental, va ser que, en comptes de considerar tots els elements variables de manera simultània, Le Verrier els va agafar un a un, considerant els altres fixos i determinant els límits entre els quals podia estar contingut cadascun d'ells segons aquesta hipòtesi. En l'actualitat, ningú que solucioni equacions per mínims quadrats hauria de cometre tal error. Per descomptat, un problema en la demostració de Le Verrier, si n'hagués intentat una de rigorosa, hauria estat la impossibilitat de fer que les equacions simultànies expressessin les possibles variacions de tots els elements».

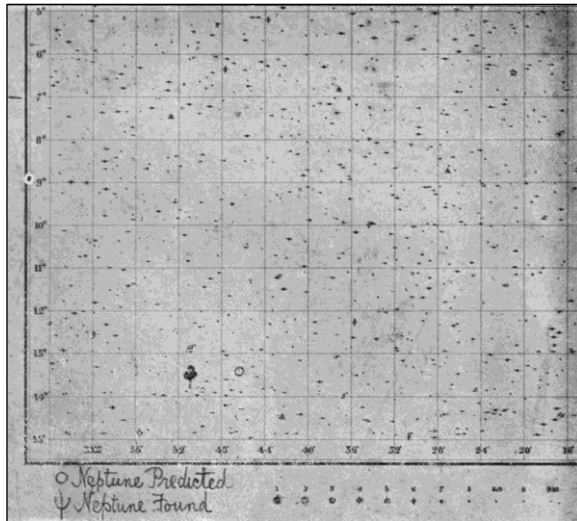
L'explicació dels límits de Le Verrier que fa el professor Peirce, tot i que mostra l'error amb una claredat manifesta, és una mica injust per a l'astrònom francès en un punt. Si, en comptes de considerar els límits per a la data de 1800, els prenem per a 1846 (quan es va fer la cerca de Neptú), trobarem que inclouen la posició real

del planeta, com va veure Airy. El moviment mitjà erroni del planeta de Le Verrier permetia que fos correcte en un moment i erroni en un altre; Airy va examinar els límits en condicions favorables, cosa que explica el seu entusiasme. En qualsevol cas, amb prou feines ens podem estranyar que el professor Peirce arribés a la conclusió que el planeta descobert no era l'assenyalat per Le Verrier, i que s'havia descobert per simple accident. Totes aquestes circumstàncies contribueixen, inevitablement, a donar la impressió general que els calculadors van gaudir d'un considerable factor de bona sort en el seu èxit. Tampoc cal que dubtem a fer una afirmació així, perquè al capdavant, sempre hi ha un element de bona fortuna en tots els descobriments.

No cal anar a buscar més lluny: si un home no hagués estat fent una cosa particular en un moment concret, com podria haver passat fàcilment, la majoria de descobriments no s'haurien fet mai. Si sir William Herschel no hagués estat observant determinades petites estrelles amb un propòsit totalment diferent, no hauria trobat mai Urà. De la mateixa manera, ningú hauria de tenir dubtes a l'hora admetre l'element d'atzar en la troballa de Neptú. I això queda ben il·lustrat si fem un cop d'ull al mapa que, com s'ha comentat, Galle solia fer servir per comparar amb el cel la nit en què va fer el descobriment. El planeta es va trobar a prop de la cantonada inferior del mapa, i com que els límits assignats per la seva posició podrien haver variat uns pocs graus cap a una banda o una altra, podria fàcilment haver caigut fora del mapa; en aquest cas, és probable que la cerca no hagués tingut èxit, o, en tot cas, que l'èxit s'hagués retardat.

En definitiva, una característica d'allò més notable del descobriment de Neptú és que gairebé tots els implicats van cometre errors, per eminents que fossin. Airy va cometre un error en considerar la qüestió del radi

vector d'una importància cabdal; sir John Herschel es va equivocar en descriure un mètode elemental que considerava que podria haver permès trobar el planeta; el professor Peirce es va equivocar en suposar que el planeta real i el suposat eren essencialment diferents en la seva acció sobre Urà; Le Verrier es va equivocar en assignar límits fora dels quals no calia mirar quan, de fet, el planeta real en restava fora; Adams estava més o menys equivocat en pensar que l'excentricitat del nou planeta es podia trobar a partir del material de què ja disposava. I, per acabar, tant Adams com Le Verrier van donar massa importància a la llei de Bode.



IL·LUSTRACIÓ 1. CARTA UTILITZADA PER GALLE



Repassar un tros d'història d'aquesta mena i constatar els errors d'aquests homes és sens dubte reconfortant, i no ha de debilitar de cap manera la nostra admiració. En el cas d'aquests investigadors, una bona part es pot

atribuir a l'emoció davant d'un possible descobriment. El professor Sampson ens ha proporcionat un petit però típic exemple d'aquest fet. Quan Adams havia completat tots els seus càlculs per trobar Neptú, i s'estava apropant a la posició real del planeta, ell, «que podia realitzar càlculs extraordinaris sense cap error», va anotar per primera vegada una xifra equivocada. L'error va ser corregit sobre el manuscrit, «probablement tan bon punt s'havia comès», però en qualsevol cas aquesta anècdota delata l'emoció que el gran científic no va poder reprimir en aquell moment crític. La tradició també diu que, de la mateixa manera, quan el magnífic Newton s'acostava a completar els seus càlculs per verificar la llei de la gravitació, la seva emoció era tan gran que es va veure obligat a encarregar a un amic que els acabés.

Per acabar, podem remarcar que la història del descobriment de Neptú torna a il·lustrar la dificultat de formular cap principi general per guiar el treball científic. De vegades convé seguir la més mínima pista, per molt imperfectament que la compreguem; en altres ocasions serà millor bandejar aquesta guia. La llei de Bode ens va assenyalar l'existència de planetes menors, i podem concebre que hauria pogut ajudar a trobar Urà; en canvi, en confiar-hi en el cas de Neptú, els investigadors van fer una marrada que va estar a punt de desviarlos del camí correcte. De vegades és millor seguir sense distraccions el treball que un té entre mans, sigui el que sigui, i desentendre's d'altres tasques; però Airy i Challis van perdre l'oportunitat precisament seguint aquest curs d'acció. La història de la ciència està plena d'experiències ben contradictòries, i l'única conclusió segura sembla ser que no hi ha regles generals de conducta per als descobriments.

3

Bradley, l'aberració i la nutació

A l'hora d'examinar diferents tipus de descobriments astronòmics, trobarem certs avantatges en variar fins a cert punt el mètode de presentació. En els dos capítols anteriors hem tingut ben poques oportunitats d'aprendre alguna cosa de la vida i el caràcter dels qui van fer els descobriments; ara proposo adoptar un mètode biogràfic més directe per tractar les troballes de Bradley, que estan tan lligades a la senzillesa i sobrietat del seu caràcter que amb prou feines podríem apreciar-ne correctament els trets essencials sense un estudi biogràfic. És cert que la crònica de la seva vida al marge de l'obra astronòmica no és el que en podríem dir enlluernadora; de fet, està singularment exempta d'incidents. Ni tan sols va tenir grans discussions científiques. En aquella època, gairebé no hi havia cap home de ciència que no hagués tingut almenys una baralla violenta amb algun altre; l'única excepció és la de Bradley, la naturalesa amable del qual sembla haver-lo mantingut allunyat de tota batussa. Segons els criteris habituals, la seva vida va ser d'allò més tranquil·la; tanmateix, podem dubtar, i amb raó, de si qui va viure aquesta vida va trobar que tingués algun moment d'avorriment. Els imprevistos li

van venir en la seva tasca científica: en la preparació d'aparells, en les observacions i, per sobre de tot, en la reflexió profunda per arribar a trobar els indicis que expliquessin aquelles observacions. Després de revisar la seva biografia,* crec que estarem disposats a admetre que si mai hi ha hagut una vida feliç, tot i que de treball incansable, aquesta va ser la de James Bradley.

Va néixer a Sherbourn, a Gloucestershire, l'any 1693. Poc sabem de la seva infantesa, excepte que va anar a la *grammar school* de Northleach, i que el record d'aquest fet encara es conservava a l'escola el 1832, quan Rigaud estava escrivint les seves memòries (actualment l'escola està tancada per falta de fons; i totes les consultes que he fet no han aconseguit revelar cap rastre d'aquest record).¹ De la mateixa manera, sabem ben poc dels seus dies d'estudis universitaris a Oxford, excepte que va ingressar com a estudiant sense beca al Balliol College el 1710, es va graduar com a *Bachelor of Arts* en el curs regular el 1714 i va obtenir el títol de màster, *Master of Arts*, el 1717. Com a carrera professional va escollir l'eclesiàstica i fou ordenat el 1719; es va presentar a la vicaria de Bridstow, a Monmouthshire, però només va exercir les funcions de vicari durant un parell d'anys, ja que el 1721 va tornar a Oxford com a professor d'astronomia, un nomenament que implicava la renúncia a les rendes parroquials. En qualsevol cas, aquesta interrupció de la seva carrera com a astrònom va ser tan lleu que gairebé podem ignorar-la i considerar Bradley com un astrònom des del primer moment. Per no donar peu a una possible concepció errònia, permeteu-me dir que

* Els fets van ser recollits amb molta cura i talent per S. P. Rigaud, i publicats per l'Oxford University Press el 1832 com a *Miscellaneous Works and Correspondence of the Rev. James Bradley*.

Bradley va entrar en la carrera eclesiàstica amb un esperit del tot honest; fer altrament hauria estat contrari a la seva naturalesa. Quan va ser vicari de Bridstow, va complir fidelment els seus deures cap a aquella petita parròquia i, a més, va ser tan actiu a la parròquia del seu oncle a Wansted que la gent es pensava que n'era ardiaca, malgrat que no hi va exercir cap càrrec real. Trenta anys més tard, quan era Astrònom Reial i residia a Greenwich, el ministre de finances li va oferir l'apreciada vicaria de Greenwich, però va rebutjar la promoció perquè «el deure de pastor era incompatible amb els seus altres estudis i responsabilitats necessàries».

Però passem ara a l'educació astronòmica de Bradley. He d'admetre, amb profunda aflicció, que no podem concedir gens de crèdit a Oxford en aquest sentit. Hi havia un gran astrònom a Oxford quan Bradley era estudiant, ja que Edmund Halley havia estat nomenat catedràtic savilià de geometria el 1703, i immediatament s'havia posat a treballar per calcular òrbites de cometes, cosa que va dur al seu descobriment immortal que alguns d'aquests cossos retornen a prop nostre una vegada i una altra, especialment el que porta el seu nom — el cometa Halley— i que retorna cada setanta-cinc anys, la tornada del qual s'espera per al 1910. Però no hi ha constància que Bradley estigués sota el mestratge o la influència de Halley com a estudiant de grau. En anys posteriors, els dos homes es coneixien bé, i l'únic desig de Halley cap al final de la seva vida era que Bradley el succeís com a Astrònom Reial a Greenwich, un desig que es va complir d'una manera més aviat malenconiosa, ja que Halley va morir sense cap garantia que se satisfés. El fet és que Bradley no va rebre cap ensenyament astronòmic a Oxford, ni de Halley ni d'altres, sinó que l'art de l'observació astronòmica el va aprendre del seu oncle matern, el reverend James Pound, rector de Wansted, a

Essex. Aquest és l'home a qui devem la formació de Bradley i els grans descobriments que se'n van derivar. Ell també era, i m'alegra dir-ho, un home d'Oxford; i molt que ho era, perquè sembla que hi va passar uns tretze anys vagant d'una residència d'estudiants a una altra. De fet, el seu historial era de la mena que els benèvolos tutors de les facultats miren amb mals ulls, perquè va trigar set anys a llicenciar-se, i no va aconseguir establir-se en cap feina. Després de deu anys a Oxford va pensar que provaria amb la medicina, però al cap de tres anys més ho va deixar córrer i l'any 1700 va marxar com a capellà cap a les Índies Orientals. De totes maneres, sembla que era un home encantador, ja que quatre anys després va decidir que volia tornar a casa, però el governador li'n va dissuadir dient que «si el doctor Pound marxa, jo i la resta de la Companyia no ens quedarem pas». Poc després, l'assentament va ser atacat en una insurrecció i Pound va ser un dels pocs que en va poder escapar amb vida, tot i que va perdre tots els béns que havia adquirit amb tant d'esforç.² Va tornar a Anglaterra el 1706 i se li van oferir les rendes parroquials de Wanssted; es va casar dues vegades i va acabar els seus dies en pau i prosperitat el 1724. Aquests són, en resum, els fets sobre l'oncle de Bradley, James Pound; però encara no hem dit el més important de tot: que d'alguna manera o altra havia après a fer observacions astronòmiques de primer ordre. No sabem com ni quan, però el fet és que el 1719 ja era tan destre que sir Isaac Newton li va pagar cinquanta guinees per una sèrie d'observacions, oferta que va repetir l'any següent. És més, tres anys abans, Halley va escriure per demanar certes observacions del senyor Pound.

És amb aquest home admirable que Bradley solia conviure, i el cert és que li feia més de pare que no pas d'oncle. Quan va tenir la verola l'any 1717, va tenir-ne

cura i va complementar de la seva butxaca l'escàs subsidi que era tot el que el pare de Bradley es podia permetre. Però el que més ens interessa ara és que va fomentar, si no implantar realment, la passió per l'observació astronòmica en el seu nebot. Tots dos van treballar junts, registrant les seves observacions una darrere l'altra en un mateix article; i de fet va ser a tots dos junts, més que no pas a l'oncle únicament, a qui Newton va fer els seus magnífics presents, i a qui Halley va escriure per demanar ajuda en les observacions. No sembla que hi hagi cap dubte que l'oncle i el nebot eren en aquesta època, si fa no fa, els millors observadors astronòmics del món. Entre ells no hi havia cap mena de rivalitat i, per tant, no cal discutir si la col·laboració implicava una dedicació igual d'ambdues parts, però és interessant observar que probablement va ser així. No hi ha cap dubte de la destresa de Pound i, de fet, molts desitjaven que fos ell, i no el seu nebot, l'escollit per a la càtedra d'Oxford el 1721, però el fet és que, a la seva avançada edat, no se sentia prou capacitat per a la tasca que se li demanava. D'altra banda, quan Bradley va perdre l'ajuda del seu oncle, no podem apreciar cap mena de vacil·lació que revelés alguna mena de dependència d'una mà de suport o d'una guia; va prosseguir el seu camí amb fermesa, i va obrir rutes per on tal vegada ni tan sols el seu oncle s'hagués pogut aventurar.

N'hi haurà prou amb alguns exemples per mostrar el tipus d'observacions que duia a terme la ferma col·laboració de Pound i Bradley. Van observar les posicions de nebuloses i estrelles fixes, que, en general, eren els resultats que els demanaven Halley i Newton. També van observar les posicions dels planetes entre les estrelles i, en particular, del planeta Mart, i van determinar-ne la distància a la Terra pel mètode de la paral·laxi, anticipant així el mètode estàndard actual per trobar la

distància al Sol; i encara que amb els seus instruments imperfectes no van obtenir una precisió més gran que 1 sobre 10, la seva mesura va representar un gran avenç respecte a allò que s'havia fet abans, i va despertar l'admiració de Halley. També van fer atenció a les estrelles dobles i van dur a terme força treballs sobre els satèl·lits de Júpiter. Podríem entretenir-nos amb profit en la crònica d'aquests primers anys, curulls de detalls interessants, però com que hem d'avançar cap a l'època dels grans descobriments, només en farem unes breus pinzellades, referents a tres punts: la diligència de Bradley, la seva destresa en el càlcul i la seva meravellosa habilitat en la manipulació dels instruments.

Un exemple de la seva diligència el trobem en els càlculs de les òrbites de dos cometes que encara existeixen. Un d'aquests càlculs omple trenta-dos folis i l'altre, seixanta; i cal recordar que els càlculs en si eren força nous en aquella època. De la seva destresa en el càlcul, a banda de la seva laboriositat, tenim una prova en un article presentat a la Royal Society força més tard (el 1726), en què determina les longituds de Lisboa i Nova York a partir dels eclipsis dels satèl·lits de Júpiter, utilitzant observacions que no eren simultànies i que, per tant, va haver de corregir mitjançant un enginyós procés que Bradley va idear expressament per a aquest propòsit. I, per últim, la seva habilitat en la manipulació d'instruments es mostra en la mesura del diàmetre del planeta Venus amb un telescopi de $212\frac{1}{4}$ peus [64,7 m] de llargària. Avui en dia ens costa adonar-nos de què significa això; fins i tot el telescopi més llarg dels temps moderns no supera els 100 peus [30 m] de llarg i està muntat de manera convenient amb tots els recursos de l'enginyeria moderna, sobre plataformes elevades i amb altres ginyes, de manera que la seva manipulació no és pas més difícil que la d'un telescopi de 10 peus [3 m]. Però

Bradley no disposava de cap mecanisme d'enginyeria més enllà d'una post per subjectar un extrem del telescopi i els seus propis dits per treballar en l'altre; tot i així, va aconseguir apuntar amb precisió al planeta aquest aparell tan poc manejable, i mesurar-ne el diàmetre amb una exactitud que seria perfectament acceptable en els temps moderns. En aquest punt, val la pena explicar breument per què s'empraven telescopis tan llargs. El motiu rau en la dificultat de desfer-se de les imatges acolorides, a causa del caràcter compost de la llum blanca. Sempre que utilitzem una única lent per formar una imatge, apareixen vores de colors. Avui dia sabem que unint dues lents de diferents tipus de vidre, gairebé podem desfer-nos d'aquestes vores de colors, però aquest descobriment encara no s'havia fet en temps de Bradley. Les úniques maneres conegudes de desfer-se del problema eren llavors utilitzar un telescopi reflector, com Newton i Gregory, o, si es feia servir una lent, emprar un telescopi de distància focal molt gran; d'aquí la necessitat bàsica d'aquests telescopis tan llargs. Un altre avantatge que tenien era que donaven una imatge grossa, sinó és molt possible que haguessin quedat bandejats pels reflectors. I és un avantatge que, poc a poc, els està tornant a fer útils; potser per a l'eclipsi de 1905 podríem fer servir un telescopi tan llarg com el de Bradley, però no el fariem servir com ell, sinó que es col·locaria pla a terra, còmodament, i els raigs de llum hi arribarien reflectits per mitjà d'un celòstat.

El 1721 Bradley va ser nomenat per a la càtedra saviliana d'astronomia a Oxford, vacant per la mort del doctor John Keill. Un cop va quedar clar que no hi havia possibilitats d'aconseguir el seu oncle per a aquest càrrec, el mateix Bradley va rebre el suport entusiasta de tots aquells el suport dels quals valia la pena tenir, sobretot el comte de Macclesfield, que aleshores era lord

canceller, en Martin Foulkes, que després va ser president de la Royal Society, i el mateix sir Isaac Newton. En conseqüència, va ser elegit el 31 d'octubre de 1721 i de seguida va renunciar als seus benifets. Aquesta renúncia va ser necessària per un estatut concret de la universitat relatiu a la càtedra i no per l'existència de deures molt laboriosos que hi estiguessin associats; de fet, sembla que aquests deures eren notòriament absents, i després de l'elecció, Bradley va passar més temps que mai amb el seu oncle a Wansted, fent les observacions astronòmiques que tots dos apreciaven, ja que a Oxford no hi havia ni un petit vestigi d'observatori. La mort del seu oncle el 1724 va interrompre la continuïtat d'aquestes observacions conjuntes i, per una curiosa casualitat, va preparar el camí per al gran descobriment de Bradley. Tenia ganes de buscar per una altra banda la companyia en el treball que se li havia fet tan essencial, i el seu nou col·lega va aportar una nova predisposició a les seves observacions.

Samuel Molyneux era un cavaller acabat molt aficionat a la ciència i, en particular, a l'astronomia, que per aquella època vivia a Kew. A més a més, era un dels pocs que no es conformava amb passar l'estona amb un telescopi, sinó que tenia l'ambició de fer una tasca seriosa i la valentia d'escollir un problema que havia desconcertat la raça humana des de feia més d'un segle. La teoria de Copèrnic, segons la qual la Terra es mou al voltant del Sol, implica un canvi aparent en les posicions de les estrelles, d'unes respecte a les altres; i un problema persistent per poder acceptar aquesta teoria era que no es podia detectar aquest canvi. En els vells temps, abans del telescopi, tal vegada era fàcil entendre que el canvi podia ser massa petit per ser apreciat a ull nu, però el telescopi havia permès mesurar canvis de posició almenys cent vegades més petits que abans, i així i tot

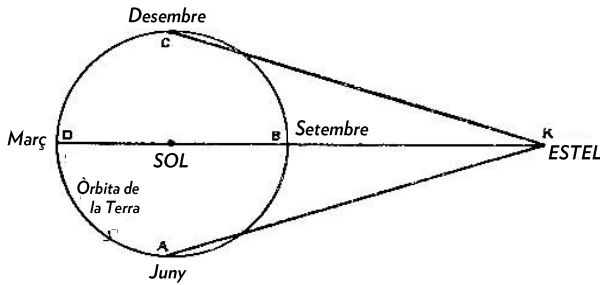
encara no es podia trobar cap *paral·laxi* —tal com es diu en la terminologia astronòmica— per a les estrelles. Les observacions de Galileu i les mesures de Tycho Brahe, reduïdes a lleis sistemàtiques per Kepler i, per últim, pel gran Newton, van deixar clar que la teoria copernicana era certa, però malgrat tot ningú no havia aconseguit demostrar la seva certesa d'aquesta manera concreta. Samuel Molyneux devia ser un home de gran coratge per decidir que era bona idea intentar resoldre aquest escull; i podem entendre l'atracció que devia exercir la seva empresa sobre en Bradley, que acabava de perdre l'estimat col·lega de tantes i tan decidides empreses astronòmiques. Sembla que la seva col·laboració fou benvinguda des del primer moment; Molyneux va acceptar la seva ajuda per muntar l'instrument i, per sort, Bradley va tenir el plaer de passar un temps considerable a Kew duent a terme les observacions amb Molyneux, de la mateixa manera a què estava acostumat a fer amb el seu oncle.

Ara he d'explicar breument quines eren aquestes observacions. Hi ha una estrella brillant, γ Draconis, que passa quasi directament per la vertical a la latitud de Londres. La seva posició canvia lentament a causa de la precessió dels equinoccis, però durant dos segles ha estat, i encara ho està ara, sota l'observació constant dels astrònoms londinencs a causa d'aquesta circumstància. Com que passa directament pel zenit, la seva posició gairebé no queda alterada per la refracció de la nostra atmosfera.

En conseqüència, en aquell moment es va pensar que, com que no hi havia pertorbació a causa de la refracció, que es coneixia amb precisió el canvi causat per la precessió i que no hi havia res més que n'alterés la posició excepte l'aparent desplaçament a causa del moviment de la Terra (que era el que s'estava buscant),

aquesta estrella hauria de ser un objecte especialment favorable per a la determinació de la paral·laxi. De fet, Hooke havia anunciat molts anys abans que l'havia detectat, però les seves observacions no van ser del tot satisfactòries, i de fet va ser amb l'objectiu de confirmar-les o de determinar on es trobava l'error que Molyneux i Bradley van començar la seva recerca. Van muntar un aparell molt més sensible del que havia emprat Hooke. Era un telescopi de 24 peus [7 m] de llarg orientat en vertical cap amunt, cap a l'estrella, i unit amb fermesa a una gran xemeneia de maó de la casa. El telescopi no estava fixat de manera absoluta, ja que l'extrem inferior es podia moure per mitjà d'un caragol per tal d'apuntar amb precisió cap a l'astre; una plomada mostrava quant allunyat es trobava de la vertical quan apuntava d'aquesta manera. Així, si l'estrella canviava de posició, encara que fos molt lleugerament, la lectura d'aquest caragol mostraria el canvi. Cal tenir en compte, a més, que abans de començar les observacions, els observadors sabien què esperar si l'estrella presentava de debò una certa paral·laxi; és a dir, sabien que l'estrella semblaria estar més al sud al desembre, més al nord al juny i en posicions intermèdies al març i setembre; tot i que no sabien *quant* més al sud apareixeria al desembre que al juny; de fet, aquesta era exactament la qüestió que calia esbrinar.

La raó d'això quedarà clara a la Il·lustració 2 (cal subratllar, però, que aquesta figura i la corresponent il·lustració 4 no representen el cas de l'estrella de Bradley, γ Draconis; se n'ha escollit una altra que simplifica el diagrama, tot i que el principi és essencialment el mateix). Suposem que la corba ABCD és l'òrbita terrestre,



IL·LUSTRACIÓ 2. ESQUEMA DE PARAL·LAXI

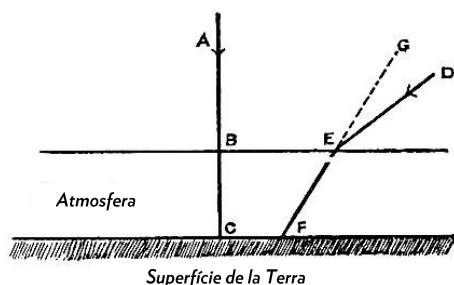
que la Terra és a A al juny, a B al setembre i així successivament, i suposem que K és la posició de l'estrella sobre la línia DB; aleshores al març i al setembre es veurà des de la Terra en aquesta mateixa direcció, és a dir, DBK, però les direccions en què es veurà al juny i al desembre, AK i CK estan inclinades en orientacions oposades respecte a la recta DBK. Com més lluny és l'estrella, menor és aquesta inclinació o *paral·laxi*. Qualsevol estrella és en realitat tan lluny que la inclinació només es pot detectar amb la màxima dificultat: les línies CK i AK són sensiblement paral·leles a la DBK. Però Bradley això no ho sabia d'antuvi; era precisament aquest punt el que havia d'examinar, i esperava que la inclinació més gran en una direcció es produís al desembre. En conseqüència, quan es van fer unes quantes observacions els dies 3, 5, 11 i 12 de desembre, es va pensar que s'havia capturat l'estrella en la seva posició aparent més al sud, i es podria esperar que després es mogués cap al nord, si és que ho feia. Però quan Bradley va repetir l'observació el 17 de desembre, va trobar, amb gran sorpresa, que l'estrella encara es desplaçava cap al sud. Era un resultat nou i inesperat, i un observador tan hàbil com Bradley es va posar en alerta de seguida. Aviat va descobrir que els canvis en la posició de l'estrella eren d'un caràcter totalment inesperat. En lloc d'ocupar les posicions extremes al juny i al desembre, es produïen al març i al

setembre, just a mig camí. A més, el rang de posicions era força gran, d'uns 40", una quantitat que no s'hagués pogut detectar en els dies anteriors als telescopis, però que nogensmenys era impossible no apreciar amb qual-sevol instrument d'una capacitat més aviat moderada.

Quina era, doncs, la causa d'aquest comportament tan imprevist de l'estrella? La primera idea dels observadors va ser que podria haver-hi alguna cosa defectuosa del seu instrument, i van examinar-lo amb cura, però sense cap resultat. La següent hipòtesi era que el moviment aparent es trobava en la plomada, la línia de referència. Si la Terra, en comptes de mantenir el seu eix en una orientació constant mentre orbita al voltant del Sol, estigués executant una oscil·lació, aleshores totes les nostres plomades també oscil·larien, i quan es comparés la direcció d'una estrella com γ Draconis amb la de la plomada, aquesta semblaria variar, quan en realitat la causa de la variació seria la de la plomada. La Terra podria tenir un moviment d'aquest tipus de dues maneres, que caldrà distingir; els noms adoptats per a aquests dos tipus són *nutació de l'eix* i *variació de latitud*, respectivament. En el cas de la nutació, el pol nord es manté en la mateixa posició geogràfica, però apunta a una zona diferent del cel. La variació de latitud, d'altra banda, significa que el pol nord es desplaça per la Terra. Parlarem del segon fenomen amb més detall al capítol sisè.³

Va ser el primer tipus de desplaçament, la nutació, del qual Bradley va sospitar; i ben aviat en la sèrie d'observacions va començar a comprovar aquesta hipòtesi. Si no era l'estrella, sinó la Terra i la plomada, allò que estava en moviment, llavors altres estrelles també s'haurien de veure afectades. S'havia limitat deliberadament la posició del telescopi per ajustar-se a γ Draconis, però com que les estrelles giren al voltant del pol, si tracem

un estret cinyell al cel amb el pol com a centre, incloent-hi γ Draconis, les altres estrelles situades dins d'aquest cinyell recorrerien el mateix circuit, precedint o seguint γ Draconis en un interval constant. La majoria serien massa febles per a l'observació amb el telescopi de Bradley, però n'hi havia una prou brillant per ser observada i que també entrava dins del seu limitat interval; aquesta estrella de seguida es va sotmetre a vigilància quan es va sospitar una nutació de l'eix terrestre. Una observació acurada va demostrar que el seu desplaçament no es veia afectat de la mateixa manera que en el cas de γ Draconis i, per tant, no podia ser degut a la plomada. Hi havia, doncs, algun efecte de l'atmosfera terrestre que s'havia passat per alt? Ja hem comentat que com que l'estrella passa directament per sobre la vertical, gairebé no hi hauria d'haver refracció, una hipòtesi que van plantejar Molyneux i Bradley a l'hora de triar aquesta estrella en particular per a l'observació. És una deducció immediata si suposem que l'atmosfera envolta la Terra en capes esfèriques. Però podria no ser així? Tal volta, al contrari, es deformava l'atmosfera pel moviment de la Terra, quedant-se enrere tal com passa amb el fum d'una locomotora en moviment? No s'ha de bandejar cap possibilitat si es vol arribar a l'explicació d'aquest fet desconcertant.

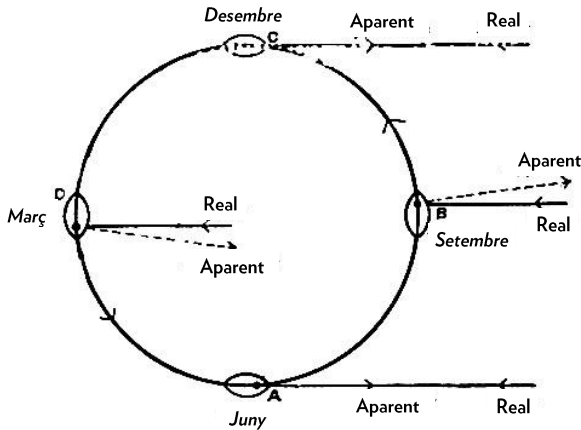


IL·LUSTRACIÓ 3. REFRACCIÓ A L'ATMOSFERA

Amb un diagrama es pot veure millor la manera en què una deformació de l'atmosfera podria explicar el fenomen. En primer lloc, cal remarcar que els raigs de llum només són doblegats per l'atmosfera terrestre, o *refractats*, si hi penetren obliquament. Si l'atmosfera fos tota de la mateixa densitat, com un tros de vidre, aleshores un raig de llum vertical, AB (vegeu la il·lustració 3), que entrés a l'atmosfera per B no patiria refracció, i una estrella que il·luminés en la direcció AB es veuria realment en aquesta direcció des de C. Ara bé, un raig oblic, DE, es refractaria en entrar a l'atmosfera a E i agafaria la direcció EF; una estrella que il·luminés en la direcció DE semblaria des d'F que il·luminés al llarg de la línia de punts GEF. D'altra banda, l'atmosfera no té la mateixa densitat a tot arreu, sinó que es fa menys densa a mesura que anem cap amunt des de la superfície; en conseqüència no hi ha un límit clar de l'atmosfera, com BE a la imatge, ni cap flexió sobtada dels raigs com passa a E: es torcen gradualment en una successió infinita de superfícies imaginàries. En qualsevol cas, continua sent cert que no hi ha cap refracció per als raigs verticals i que en el cas dels raigs oblics, com més ho siguin, més refracció patiran.

Ara, suposem que l'atmosfera de la Terra assumeix, a causa de la seva revolució al voltant del Sol, una forma allargassada com la que s'indica a la il·lustració 4 i suposem que l'estrella es troba a una distància molt gran cap a la dreta del diagrama. Quan la Terra és a la posició etiquetada com «juny», la llum incidiria verticalment sobre l'extrem davanter de l'atmosfera a A i no hi hauria refracció. De la mateixa manera al «desembre» la llum cauria a C, a l'extrem posterior, també verticalment, i no hi hauria refracció. (Cal assumir que els raigs de l'estrella llunyana al desembre són bàsicament paral·lels als de juny, malgrat que la Terra es troba al costat oposat del

Sol, com s'ha comentat a la pàg. 83). Ara bé, al març i al setembre els raigs incidirien obliquament sobre els costats de la suposada figura de l'atmosfera i, així, es refractarien en direccions oposades, tal com indiquen les línies de punts; en aquest cas, les posicions extremes es produirien al març i al setembre, tal com s'havia observat. Fins aquest moment, l'explicació sembla prou satisfactòria.



IL·LUSTRACIÓ 4. HIPÒTESI DE LA DEFORMACIÓ ATMOSFÈRICA

Un problema, però, és que hem assumit que l'estrella es troba en el pla de l'òrbita terrestre, quan les estrelles observades per Bradley no es trobaven en aquest pla, ni tampoc en direccions igualment inclinades respecte a aquella. Tenint en compte les direccions de les estrelles, va resultar impossible fer encaixar els fets amb aquesta hipòtesi que, finalment, es va haver d'abandonar.

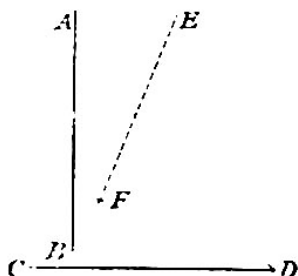
És remarcable saber que van passar dos o tres anys abans que a Bradley se li acudís l'explicació correcta d'aquest nou fenomen, temps durant el qual sens dubte va reflexionar intensament. Tots hem tingut alguna experiència en aquesta mena de reflexió, encara que només sigui a l'hora de resoldre enigmes. Som ben

conscients de l'aparent desesperança de la recerca d'una solució al començament, l'encaparrament i el neguit del cervell per buscar una pista, el tan freqüent defalliment i la renúncia consegüent, i la senzillesa de la resposta quan es revela. Però amb els enigmes científics no ens podem permetre el luxe de la renúncia. Hem de trobar la resposta per nosaltres mateixos o romandre en la ignorància; i tot i que podem estar segurs que la resposta, quan la trobem, serà tan senzilla com la del millor enigma, no sembla pas que aquesta senzillesa que esperem ens ajudi gaire en la recerca.

Bradley no es va conformar amb seure i reflexionar; es va posar a treballar per acumular més dades. L'instrument de Molyneux només permetia l'observació de dues estrelles, γ Draconis i la petita estrella esmentada més amunt, de manera que Bradley va decidir tenir un instrument propi amb què pogués observar un ventall més ampli d'estrelles; en aquest moment, ja va poder tornar a casa del seu oncle a Wansted amb aquest propòsit en ment. El seu oncle feia dos o tres anys que havia mort i, amb el temps, el record de la pèrdua es va anar suavitzant. La vídua del seu oncle estava molt contenta de rebre de nou el seu nebot, tot i que ja no a l'antiga rectoria, i li va permetre muntar un llarg telescopi que, fins i tot, el va obligar a fer forats al terra. L'extrem amb l'objectiu era al terrat, mentre que l'extrem amb l'ocular era a baix, a la carbonera; i va ser aquí, en aquest celler, on Bradley va fer les observacions que el van dur al seu descobriment immortal. Tenia una llista de setanta estrelles que volia observar, cinquanta de les quals aguiatava amb força regularitat. Pot semblar estrany que no instal·lés aquest nou instrument a Oxford, però en un vell memoràndum trobem que la seva càtedra no li aportava més de 140 lliures a l'any, i és probable que se sentís

alleujat d'acceptar l'hospitalitat de la seva tia per raons econòmiques.

Observant aquestes diferents estrelles va tenir una concepció clara de les lleis de l'aberració. La solució real del problema, segons un relat ben confirmat, se li va ocórrer gairebé per casualitat. Tots coneixem la història de la caiguda de la poma que va fer que Newton es posés a pensar en les causes de la gravitació; va ser una circumstància igualment trivial allò que va suggerir a Bradley l'explicació que havia estat buscant en va durant dos o tres anys. Segons les seves pròpies paraules, «per fi, quan ja havia perdut tota esperança de poder explicar els fenòmens que havia observat, se'm va ocórrer una explicació satisfactòria en un moment en què no l'estava cercant». Assistia a una festa en un vaixell al riu Tàmesi i l'embarcació tenia un pal amb un penell a la part superior; bufava un vent moderat i el grup va navegar amunt i avall pel riu durant un temps considerable. El doctor Bradley va remarcar que cada vegada que el vaixell virava, el penell a l'extrem del pal es desplaçava una mica, com si hi hagués hagut un lleuger canvi en la direcció del vent. Ho va observar tres o quatre vegades sense dir res; després, ho va esmentar als mariners i va expressar la seva sorpresa perquè el vent canviés tan regularment cada vegada que viraven. Els mariners li van dir que el vent no canviava pas, sinó que el canvi aparent es devia al canvi de direcció del vaixell, i li van assegurar que sempre passava el mateix en tots els casos. Aquesta observació accidental el va dur a concloure que el fenomen que tant l'havia desconcertat era degut al moviment combinat de la llum i de la terra. Per explicar exactament què volem, hem de recórrer de nou a un diagrama; i també podem aprofitar una comparació que s'ha convertit en clàssica.



IL·LUSTRACIÓ 5. ABERRACIÓ PEL MOVIMENT

Si la pluja cau verticalment, representada per la direcció AB a la figura; i si un vianant camina horitzontalment en direcció CD, la pluja li semblarà que ve en sentit inclinat, EF, i li semblarà millor inclinar el paraigua cap endavant. Com més ràpid sigui el seu ritme, més li semblarà aconsellable inclinar el paraigua. Aquesta analogia va ser plantejada per Lalande, abans de l'època dels paraigües, amb les següents paraules: «Suposo que, si no fa vent, la pluja cau perpendicularment, i que soc en un carruatge cobert però obert pel davant; si el cotxe està en repòs, jo no rebo ni una sola gota d'aigua; si el cotxe avança ràpidament, la pluja penetra amb claredat, com si hagués pres una direcció obliqua». Els professors actuals han adoptat l'exemple de Lalande, modificat per adaptar-se a les condicions modernes, i, en els exàmens, els alumnes dibuixen imatges de gent amb paraigües, aturada, amb un ritme moderat i amb un ritme rapidísim.

Si apliquem això al fenomen que es pretén il·lustrar, quan la superfície de la Terra rep la llum d'una estrella i la Terra viatja perpendicularment a la direcció del raig, el telescopi (que en aquest cas representa el paraigua) s'ha d'inclinar cap endavant per captar la llum. Ara, fent referència a la figura 4, podem veure que la Terra es desplaça perpendicularment a la direcció dels raigs de

l'estrella al març i al setembre; i en sentits oposats en els dos casos. Per tant, el telescopi s'ha d'inclinar una mica, en direccions oposades, per captar la llum; en altres paraules, l'estrella semblarà estar més al sud al març i més al nord al setembre. D'aquesta manera es va resoldre per fi el trencaclosques, i es va trobar que la solució, com passa sovint, era ben senzilla. Tan senzill que és quan ho sabem, i tan terriblement difícil d'imaginar quan no ho sabem! Pensar que Bradley va estar donant voltes al problema durant dos o tres anys ens pot reconfortar en els nostres esforços amb problemes menors. És possible que l'enigma mai fugís dels seus pensaments, mentre estava despert i mentre dormia; quan treballava era l'objecte principal dels seus esforços, i quan estava en una festa aprofitava la més mínima pista que el pogués ajudar a arribar a la solució, en aquest cas el moviment d'un penell en un vaixell.

El descobriment de l'aberració va fer famós a Bradley. Oxford pot estar orgullós dels seus dos catedràtics savilians d'aquesta època, perquè tots dos han fet descobriments mundialment famosos: Halley, el de la periodicitat dels cometes, i Bradley, el de l'aberració de la llum. Que diferents eren els seus gustos i que difícil hauria estat per a un fer la feina de l'altre! Bradley no era un gran matemàtic, i tot i que era prou capaç de calcular l'òrbita d'un cometa i es va posar amb aquest treball allà on Halley l'havia deixat, és molt possible que no li resultés gaire agradable. Halley, en canvi, gairebé menyspreava les observacions precises com una cosa massa primfilada. «Assegureu-vos que teniu la lectura correcta fins a un minut de grau», solia dir, «les fraccions no són tan importants».

Amb aquest consell Bradley no hauria fet mai els seus descobriments; no hi havia cap quantitat que fos massa petita als seus ulls, i tan bon punt es va establir

satisfactòriament l'explicació de l'aberració, es va adonar que, tot i que podia explicar els fets principals, no els explicava tots. Encara faltava alguna cosa. Això passa sovint en la història de la ciència. Fa uns anys, es pensava que coneixíem completament la constitució del nostre aire: oxigen, nitrogen, vapor d'aigua i gas d'àcid carbònic; però un gran físic, lord Rayleigh, va descobrir que, després d'extreure tota l'aigua i el gas d'àcid carbònic, tot l'oxigen i tot el nitrogen, encara quedava alguna cosa: un residu molt minúscul que un experimentador poc acurat hauria passat per alt o hauria bandejat, però que un autèntic investigador com lord Rayleigh en podia apreciar l'enorme importància que tenia. Va continuar estudiant aquella cosa que quedava i de seguida va descobrir un nou gas, que ara coneixem com *argó*. Si haguess repetit el procés, extraient tot l'argó després del nitrogen, podria haver trobat, amb una anàlisi encara molt més acurada, l'heli, que ara sabem que existeix en quantitats extremadament minúscules en l'aire. Aquest descobriment, però, es va fer d'una altra manera.

Quan Bradley va eliminar tota l'aberració de les seves observacions, va descobrir que quedava alguna cosa, un altre problema per resoldre i una mica més de reflexió per arribar a una solució. Però ara podia aprofitar els seus treballs anteriors, de manera que el segon pas el va poder fer amb més facilitat que el primer. El petit desplaçament que encara romania no era la paral·laxi que havia estat buscant originàriament, perquè no completava un cicle en un any; era més aviat un canvi progressiu d'any en any. Hi havia una pista rellevant d'una altra mena: va veure que els moviments aparents de totes les estrelles eren, en aquest cas, els mateixos; i sabia que un moviment d'aquesta mena podia atribuir-se no a les estrelles sinó a la plomada a partir de la qual se'n mesuren les direccions. Havia pensat en les possibles causes

d'aquest desplaçament de la plomada o de la mateixa Terra, i s'havia adonat que podria haver-hi una nutació que es produiria en un cicle d'uns dinou anys, el període en què giren els nodes de la Lluna. No era prou bon matemàtic per determinar-ne del tot la causa, però va veure amb claredat que per rastrejar l'efecte havia de prosseguir les observacions durant dinou anys; en conseqüència es va embranchar en aquesta llarga campanya sense dubtar-ho ni un moment. El seu instrument encara era el de la casa de la seva tia a Wansted, on va continuar vivint i fent observacions durant uns quants anys, però el 1732 es va traslladar a Oxford, tal com veurem, i devia fer molts viatges entre Wansted i Oxford durant els quinze anys restants en què va continuar encalçant els efectes de la nutació. La seva tia també va deixar Wansted per acompanyar Bradley a Oxford, i la casa va passar a altres mans. Cal lloar l'actitud de la nova ocupant, la senyora Elizabeth Williams, ja que el gran astrònom va poder continuar i completar la valuosa sèrie d'observacions que havia començat. Durant les seves visites a Wansted, Bradley no s'allotjava a casa de la senyoreta Williams, sinó que es quedava amb un amic que vivia no gaire lluny, però podia entrar i sortir lliurement de l'antiga casa de la seva tia per fer les observacions necessàries. Quants de nosaltres deixaríem que un astrònom entrés alegrement a casa nostra, a qualsevol hora de la nit, per fer observacions des del celler? Diu molt de la bonhomia de Bradley el fet d'haver obtingut aquest permís i que no hi hagi constància de cap fricció durant aquests quinze anys. Al final de tota la sèrie d'observacions de dinou anys, les seves conclusions van quedar verificades amb escreix i es va acceptar sense reserves el seu segon gran descobriment, el de la nutació. Se li van concedir grans honors, i sens dubte l'ànim agradós i amatent de la senyora Elizabeth Williams es va sentir

reconfortat amb el gloriós resultat de la seva perllongada benignitat.

Ara, però, podem deixar de banda per uns moments el treball científic de Bradley i fixar-nos una mica en la seva vida quotidiana. Ja hem dit que l'any 1732, després d'haver ocupat la seva càtedra durant onze anys, va anar per primera vegada a residir definitivament a Oxford. De fet, abans no s'ho havia pogut permetre; els seus ingressos només eren de 140 lliures a l'any i els estatuts li impedien disposar de benifets, de manera que va acceptar l'acollidor refugi de la senyora Pound. El 1729, però, se li va presentar una oportunitat per augmentar els seus ingressos, impartint conferències de «filosofia experimental». Les observacions sobre la nutació no eren com les de l'aberració: no hi estava ocupat dia i nit per intentar esbrinar la solució, sobre la que gairebé ja s'havia decidit, i les observacions van prosseguir de manera calmada i metòdica durant dinou anys, cosa que li deixava temps per buscar una altra feina. El doctor Keill, que havia estat catedràtic d'astronomia abans de Bradley, havia atret força gent a les seves lliçons, no d'astronomia sinó de filosofia experimental, però havia venut el seu equipament i altres recursos al senyor Whiteside, de Christ Church, un dels candidats que es van veure decebuts per l'elecció de Bradley. El 1729, Bradley va comprar l'equipament a Whiteside i va començar a donar conferències de filosofia experimental. El seu descobriment de l'aberració l'havia fet famós, de manera que l'assistència a les seves classes fou considerable des del primer moment i li permetia rebre un estipendi gens menyspreable. Així, de cop i volta, va passar de la pobresa a rebre uns ingressos acceptables i va poder viure a Oxford en una de les dues cases de maó vermell de la New College Lane, que en aquells dies estaven assignades als catedràtics savilians (ara habitades pels

estudiants del New College). La seva tia, la senyora Pound, a qui estava devotament vinculat, va venir amb ell, a més de dos dels seus nebots. En aquesta època de prosperitat, doncs, Bradley va poder retornar-li l'hospitalitat que li havia ofert de manera tan generosa en moments de dificultat.

Abans de completar les observacions sobre la nutació es va produir un altre canvi rellevant en les seves fortunes. El 1742 va ser elegit per succeir Halley com a Astrònom Reial. Va ser l'últim desig de Halley que el succeís Bradley, i es diu que fins i tot estava disposat a dimetir a favor seu, perquè una paràlisi li havia començat a afectar la mà dreta i la malaltia s'estava estenent a poc a poc. Fos com fos, el fet és que va morir sense que hi hagués cap garantia que el seu desig es fes realitat. La principal dificultat per aconseguir el nomenament de Bradley sembla haver estat que era l'home obvi per al càrrec segons l'opinió de tothom. «No és només la meva amistat amb el senyor Bradley el que em fa desitjar amb tanta il·lusió veure'l ocupar el càrrec», va escriure el comte de Macclesfield al lord canceller, «és la meva autèntica preocupació per l'honor científic de la nació. Perquè com que fins ara el nostre crèdit i reputació no han estat pas menyspreables entre els savis astrònoms del món, em sabia greu que ho perdéssim tot de cop atorgant a un home de destresa i capacitat inferiors el càrrec més honorable, malgrat que no el més lucratiu, de la professió (un càrrec ben ostentat pel doctor Halley i el seu predecessor), quan al mateix temps tenim entre nosaltres un home conegut per tots els astrònoms estrangers, i també pels nostres, pel fet de no ser en absolut inferior a cap d'ells, i a qui sir Isaac Newton agradava qualificar de millor astrònom d'Europa». I encara: «De la mateixa manera que les capacitats del senyor Bradley en el coneixement astronòmic són ben evidents i

sabudes per tothom, també el seu caràcter en tots els aspectes és ben conegut, un caràcter sense cap taca i tan impecable que puc desafiar el pitjor dels seus enemics (si és que un home tan bo i digne en pot tenir) a plantejar la més baixa o insignificant objecció».

«Al cap i a la fi», continua la carta, «es pot dir que si la capacitat del senyor Bradley és tan universalment reconeguda i el seu caràcter tan respectat, hi ha ben poc perill d'oposició, ja que cap competidor pot tenir la menor esperança d'èxit contra ell. Però, benvolgut lord canceller, vivim en una època en què la majoria dels homes, per minsos que siguin els seus mèrits, sembla que creguin que poden aspirar a qualsevol cosa, i sovint fan coneixença d'altres que, per la seva recomanació, tenen la mateixa opinió d'ells, i és per això que insisteixo tant amb vostra senyoria perquè no perdi gens de temps».

En qualsevol cas, aquestes recomanacions van tenir efecte: es va evitar la temuda possibilitat d'un error de valoració i Bradley es va convertir en el tercer Astrònom Reial, tot i que no va renunciar a la seva càtedra a Oxford. Halley, Bradley i Bliss, que van ser Astrònoms Reials en successió, van ocupar el càrrec simultàniament a una de les càtedres savilianes d'Oxford; però des de la mort de Bliss el 1761, el càrrec sempre ha anat a parar a algú de Cambridge.

Quan Bradley va arribar a Greenwich, el juny de 1742, al començament no va poder fer gran cosa a causa del lamentable estat en què va trobar els instruments. Halley no era un bon observador: el seu ànim no estava en el treball manual i no s'havia pres la molèstia d'arreglar els instruments quan s'espatlaven. Els contrapesos d'aquell instrument que havia d'haver estat el millor del món en aquella època fregaven contra el sostre, de manera que el telescopi amb prou feines podia col·locar-se en certes posicions; a més a més, alguns dels caragols

estaven trencats, no hi havia cap mitjà adequat per il·luminar les retícules, etc. Amb cura i paciència, Bradley va arreglar tot això i va començar les observacions. Va tenir la sort d'aconseguir l'ajuda del seu nebot, John Bradley, una col·laboració que sembla haver estat tan afortunada com l'anterior de James Bradley i el seu oncle Pound. John Bradley va poder continuar les observacions quan el seu oncle s'absentava d'Oxford, i el treball que els dos van fer junts el primer any és, en paraules del biògraf de Bradley, Rigaud, «difícil de lloar-lo com caldria». Les observacions de trànsits ocupen 177 folis, i una nit van fer fins a 255 observacions. Cal recordar que, alhora, Bradley continuava fent les seves observacions sobre la nutació a Wansted i impartia conferències a Oxford; per si no n'hi hagués prou, va començar una sèrie d'experiments sobre la longitud del pèndol dels segons. Un treball digne d'un gegant!

No obstant això, i malgrat la seva cura per arreglar els instruments de l'Observatori, aquests resultaven irremeiablement defectuosos. La història dels instruments de l'Observatori Reial és, si més no, curiosa. Quan Flamsteed va ser nomenat primer Astrònom Reial, se li va concedir el magnífic sou de cent lliures a l'any, però no disposava de cap instrument per fer observacions. Va comprar alguns instruments amb els seus propis diners, però a la seva mort van ser reclamats pels seus marmessors. Així doncs, Halley, el segon Astrònom Reial, va trobar l'Observatori completament desproveït en aquest sentit. Va aconseguir persuadir el govern perquè proporcionés els fons per a un equipament adequat, però Halley, tot i que era un home de gran habilitat en altres aspectes, era incapaç de diferenciar un bon instrument d'un de deficient. En conseqüència, els primers anys de Bradley a l'Observatori es van malgastar a causa de les imperfeccions dels equips. Quan això fou del tot

evident, va demanar fons per comprar nous instruments, i la confiança que se li tenia era tal que va aconseguir el que demanava sense gaire dificultat. Sota la seva direcció es van gastar més de mil lliures esterlines, una gran suma per aquells dies; les principals compres van ser dos quadrants per a l'observació de la posició dels estels, un orientat al nord i l'altre al sud. Amb aquests quadrants, que eren una bona mostra de la perfecció a què havia arribat aquest aparell en aquells moments, Bradley va fer la llarga i admirable sèrie d'observacions que és el punt de partida del nostre coneixement dels moviments de les estrelles. Els instruments encara es troben a l'Observatori Reial, el més important dels dos en la seva posició original tal com Bradley el va muntar i el va deixar.

Sembla sobrer esmentar el seu treball com a Astrònom Reial, però faré un resum força breu del que va assolir i, després, recordaré un incident particular que mostra fins a quin punt la seva capacitat d'observació el va situar per davant dels altres astrònoms de la seva generació. El que devem a Bradley es pot resumir en aquests punts:

1. Un millor coneixement dels moviments dels satèl·lits de Júpiter.
2. Les òrbites de diversos cometes calculades directament a partir de les seves pròpies observacions, en una època en què aquest treball era incipient i difícil.
3. Experiments sobre la longitud del pèndol.
4. La base del nostre coneixement de la refracció de l'atmosfera terrestre.
5. Millores considerables en les taules de la Lluna, i l'impuls per al mètode que permet determinar la longitud geogràfica per mitjà de distàncies lunars.

6. L'equipament del nostre Observatori nacional amb instruments adequats, i l'ús d'aquests instruments per construir els fonaments del nostre coneixement actual de les posicions i moviments dels estels.

Molts homes considerarien que qualsevol d'aquests sis èxits per si sol seria suficient per assolir la fama. Bradley els va aconseguir tots, a més dels seus grans descobriments de l'aberració i la nutació.

I val a dir que amb una mica més de sort podria haver afegit un altre gran descobriment, un que ha fet brillar el treball astronòmic de l'última dècada. Abans, en aquest mateix capítol, hem dit que l'eix de la terra es pot moure d'una o dues maneres. O bé pot assenyalar una estrella diferent, però roman fix respecte a la Terra, com passa en la nutació que va descobrir Bradley, o bé pot realment canviar la seva posició en la Terra. Fins fa vint anys es creia que aquest segon tipus de desplaçament no existia, almenys en cap quantitat apreciable, però els treballs de Küstner i Chandler van permetre descobrir que sí existia i aclarir-ne les complexitats; és un tema que tractarem en el capítol sisè. Ara fa un segle i mig, Bradley estava en el camí de descobrir aquesta «variació de latitud». Les seves acurades observacions en realitat mostraven el moviment del pol, tal com el senyor Chandler ha comprovat recentment; a més a més, el mateix Bradley va notar que hi havia quelcom que no es podia explicar. Una vegada més encara quedava un cert *residu* després d'haver eliminat de les observacions l'aberració (primer) i la nutació (després); si hagués viscut més podria haver explicat aquest residu i afegir un tercer gran descobriment als dos anteriors. També podria haver passat que algú, després d'ell, l'hagués trobat; però el cert és que després del gegant van venir homes que no van poder seguir els seus passos, de manera que

el món va haver d'esperar 150 anys fins poder explicar la discrepància.

L'actitud de les nostres universitats capdavanteres envers la ciència i els homes científics és de prou importància per justificar una altra mirada a les relacions entre Bradley i Oxford. Hem vist que el tractament que Oxford va donar a Bradley no va ser del tot satisfactori; la universitat va deixar que aprenguéssim astronomia com bonament poguéssim, i ell no li deu cap mena d'aprenentatge. El va nomenar catedràtic d'astronomia, però no li va proporcionar cap observatori alhora que li donava uns ingressos irrisoris que havia de complementar donant conferències sobre altres temes. Però després, havent-se sobreposat a tots aquests problemes i havent assolit la fama, Oxford va reclamar la seva part en els honors que se li concedien. Se'l va gratificar amb un doctorat honorari en divinitat⁴ el 1742 i quan s'anuncià el seu descobriment de la nutació el 1748 i va començar a rebre honors i reconeixements d'arreu del món, «entre totes aquestes distincions, tan àmplies com el ventall de la ciència moderna, i tan perennes com la seva història, n'hi va haver una que segurament li va arribar més al cor i li va resultar més gratificant per als seus sentiments que totes les altres. Lowth (que després seria bisbe de Londres), un home popular, un erudit de prestigi i posseïdor d'una eloqüència considerable, va haver de fer el 1751 el seu darrer discurs al Sheldonian Theatre d'Oxford com a catedràtic de poesia. En repassar els fruits pels quals la universitat estava en deute amb els seus benefactors, va esmentar els noms d'aquells que la creació de sir Henry Savile hi havia establert:⁵ “Quin erudits! quins matemàtics! A Savile devem Briggs, Wallis, Halley; a Savile devem Greaves, Ward, Wren, Gregory, Keill i un altre a qui no anomenaré, perquè la posteritat sempre tindrà el seu nom als llavis”. Bradley era present a l'acte i

no hi va haver ningú entre els nombrosos assistents que no entengués l'al·lusió ni que no considerés que era enraonada i justa; tots els ulls es van dirigir a Bradley i per les parets ressonaven expressions sinceres d'afecte i admiració; va ser com el triomf de Temístocles als jocs olímpics».

Aquestes paraules de Rigaud ens assenyalen la fama adquirida amb tot mereixement per una devoció sincera i senzilla a la ciència. Ara bé, podem aprendre alguna cosa a partir de l'anàlisi de l'obra de Bradley que ens guiï en recerques posteriors? Les principals lliçons semblarien ser que si fem una sèrie d'observacions acurades, es probable que trobem alguna desviació respecte a allò que s'espera, que hem de seguir aquesta pista fins a trobar una explicació que s'ajusti als fets, no desanimar-nos si no podem trobar-la de seguida (el mateix Bradley va quedar desconcertat durant uns quants anys), que després de trobar una causa certa i determinar-ne l'efecte, les observacions poden mostrar encara indicis d'una altra desviació, que s'haurà de buscar amb paciència, encara que això ens costi dinou anys més, i que fins i tot després haurem de deixar per al futur l'explicació completa i satisfactòria de les observacions. Si bé podem admetre la utilitat general d'aquestes indicacions, i que aquesta dedicació pacient a fenòmens residuals sembla ser un mètode que es podria aplicar amb freqüència, no podem deduir-ne cap principi universal de procediment: posem com a exemple la dificultat de tractar amb observacions meteorològiques; no sempre és possible trobar un arranjament endreçat de les dades residuals que ens permeti començar el procés. Quan aquest arranjament es manifesta, és evident que hem de seguir la pista i semblaria que no hauríem d'estalviar cap esforç, ja que és impossible preveure la importància del resultat.

4

Descobertes accidentals

En revisar diversos tipus de descobriments astronòmics he fet una mica d'èmfasi en el fet que, en general, son ben lluny de tenir un caràcter accidental. Un nou planeta no «es va obrint pas», o com a mínim no és el que passa habitualment, sinó que es troba després d'una recerca diligent, i en aquest cas només gràcies a un investigador de visió aguda o altres capacitats especials. Però això, per descomptat, no sempre és així. Alguns descobriments es fan per un simple accident, com hem tingut ocasió de remarcar de passada en el cas dels planetes menors; i per una simple qüestió d'exhaustivitat, és desitjable incloure entre els nostres tipus almenys un cas d'aquests descobriments accidentals. No obstant això, com que fer-ne una selecció és una tasca un xic odiosa, potser se'm perdonarà presentar un exemple de la meva pròpia experiència, que inclou un cas en què un d'aquests notables objectes anomenats *estrelles noves* va caure en una xarxa llençada per a la captura d'objectes totalment diferents. Hi ha una altra raó per triar aquest exemple: em donarà l'oportunitat de comentar alguna cosa sobre la investigació especial en què estem immersos realment, el treball de cartografiar el cel

mitjançant la fotografia, o, com s'ha anomenat, la *Carta Astrogràfica*, un gran pla de cooperació internacional que s'espera que deixi com a llegat un registre de l'estat del cel en la nostra època. Aquest registre no pot ser complet, perquè, per molt febles que siguin les estrelles incloses, sabem que hi ha estrelles encara més febles que es podien haver inclòs si haguéssim deixat exposicions més llargues a les plaques fotogràfiques. Tampoc pot ser un registre del tot definitiu ni perfecte; per gran que sigui l'escala a què es fa el mapa, per exemple, sempre podem imaginar una escala duplicada o augmentada moltes vegades. En qualsevol cas, el mapa suposarà un gran avenç respecte a qualsevol cosa feta fins ara i, per tant, el seu interès no serà pas minso.

Potser podem començar amb un breu relat històric de l'empresa. Fa molts anys que es van començar a fer fotografies de les estrelles, però només per part d'uns quants entusiastes i sense cap esperança seriosa de competir amb les observacions oculars del cel. La vella tècnica fotogràfica del col·lodió humit era, de fet, poc adequada per a propòsits astronòmics; per fotografiar objectes febles cal una llarga exposició, i la placa humida pot assecar-se abans que s'acabi l'exposició —és més, fins i tot abans de començar, si l'observador ha d'esperar que passin núvols—; per tant, es pot dir que l'aplicació reeixida de la fotografia a l'astronomia data del moment en què es va inventar la placa seca, quan va ser possible exposar una placa al telescopi durant hores o, per acumulació, fins i tot durant dies. Una placa seca roman sensible durant un llarg període de temps, i si es vol allargar una exposició més enllà dels límits d'una nit, és bastant fàcil tancar el telescopi i tornar a les operacions la següent nit de cel clar, i així successivament; si no indefinidament, en qualsevol cas prou com per superar els límits de la paciència humana fins al present.



IL·LUSTRACIÓ 6. EL GRAN COMETA DEL 7 DE NOV.
DE 1882 (FOTOGRAFIA DE L'OBSERVATORI REIAL,
CAP DE BONA ESPERANÇA)

De totes maneres, a l'hora de considerar el nostre projecte concret podem assignar, potser, la data de 1882 com aquella en què va començar a prendre forma. Aquell any es va poder veure un magnífic cometa brillant, l'últim cometa realment gran que hem tingut la sort de contemplar a l'hemisferi nord. Alguns de nosaltres, és clar, encara no havien nascut en aquella època, i altres que sí potser no van poder veure aquell cometa, perquè només era visible a primera hora del matí; jo mateix recordo que sentia més aviat rancúnia que no pas gratitud cap a l'home que em va despertar cap a les quatre del matí per veure'l. Per descomptat, es van fer moltes observacions d'aquest interessant visitant, però el que ens interessa especialment és que al Cap de Bona Esperança uns fotògrafs amb iniciativa van intentar fotografiar-lo. En primer lloc ho van provar amb càmeres ordinàries, i aviat van descobrir —una cosa que qualsevol astrònom els hauria pogut dir— que el moviment de

la Terra, que provoca un moviment aparent del cometa i les estrelles en sentit contrari, frustrava tots els seus esforços. Les dificultats d'obtenir imatges d'objectes en moviment són ben familiars per a tots els fotògrafs. Una «instantània» podria haver despatxat el problema, però el cometa amb prou feines tenia la brillantor necessària per impressionar la placa amb una exposició curta. A l'últim, el doctor David Gill, l'astrònom de l'Observatori del Cap, va convidar un dels fotògrafs a afixar la seva càmera a un dels telescopis de l'observatori, un telescopi que podia girar amb engranatges de la manera habitual per contrarestar el moviment terrestre i mantenir així el cometa en el camp de visió, com si estigués sempre en repòs. Com a resultat, es van obtenir unes imatges esplèndides i força reeixides del cometa, en les quals apareixia també un gran nombre d'estrelles. Com he dit, no van ser pas les primeres imatges d'estrelles obtingudes per fotografia, ni de bon tros, però en termes de facilitat i èxit van representar un avenç tan gran respecte a tot allò que s'havia obtingut abans que van rebre una atenció considerable. Es van enviar a Europa i van estimular diversos investigadors a experimentar més en aquest camp.

A Anglaterra, el difunt doctor Common, un astrònom aficionat, va iniciar un magnífic treball pioner en fotografia astronòmica, que aviat li valdria la Medalla d'Or de la Royal Astronomical Society per les seves fotografies de nebuloses. Però per al tema que ens afecta, el resultat més rellevant es va obtenir a França. L'astrònom francès Chacornac havia iniciat molts anys abans una sèrie de mapes estel·lars al voltant del zodíac similars en propòsit als mapes de Berlín que figuren en la història del descobriment de Neptú. Chacornac va morir abans de poder avançar gaire en la seva empresa i el treball va ser assumit per dos germans, Paul i Prosper Henry, que

van seguir Chacornac en adoptar per a la tasca el laboratoriós mètode d'observació ocular de cada estrella individual. Van procedir amb paciència amb la feina seguint aquestes línies, però quan van arribar a la regió on la Via Làctia travessa el zodíac i, en conseqüència, el nombre d'estrelles en una àrea qualsevol augmenta fora mida, van veure que la feina era tan gran que resultava pràcticament prohibitiva, i tenien força dubtes sobre com afrontar la dificultat. Va ser en aquest moment crític quan les fotografies de cometes, que mostraven les estrelles de fons amb tanta claredat, van suggerir el mètode alternatiu de cartografiar les estrelles fotogràficament. De seguida es van posar a treballar amb una lent de prova i van obtenir uns resultats tan encoratjadors que van procedir ells mateixos a fer una lent més gran del mateix tipus; de nou, els resultats van ser d'allò més satisfactoris, i, de manera natural, va sorgir la idea d'estendre a tot el cel el projecte que fins aleshores havien concebut només per al zodíac, que no és res més que una simple banda en el cel. Això, però, era una empresa massa gran per a un únic observatori. Va caldre, doncs, obtenir la col·laboració d'altres observatoris, i amb aquesta finalitat es va convocar un congrés internacional, que s'havia de celebrar a París el 1887, per avaluar tot el projecte. Hi van assistir delegats, si no de totes les nacions, en tot cas sí d'un nombre considerable:

França	20	Dinamarca	2
Imperi britànic	8	Bèlgica	1
Alemanya	6	Itàlia	1
Rússia	3	Espanya	1
Països Baixos	3	Suïssa	1
Estats Units	3	Portugal	1
Àustria	2	Brasil	1
Suècia	2	Argentina	1

En el congrés es van tractar diverses qüestions molt importants, ja que el coneixement del mètode fotogràfic i de les seves possibilitats estava en aquell moment a les beceroles. Hi havia, per exemple, la qüestió de si tots els instruments havien de ser del mateix tipus i disposició i, en cas afirmatiu, quin hauria de ser aquest tipus. La primera d'aquestes preguntes es va resoldre afirmativament, com era d'esperar; en interès de la uniformitat, era desitjable que els mapes fossin el més similars possible. La segona pregunta no va ser tan senzilla; hi havia almenys tres tipus diferents d'instruments que es podien utilitzar. En primer lloc, hi havia la lent fotogràfica, que és ben familiar a tots els que han fet servir una càmera ordinària, formada per dues lents amb un espai entre elles; tot i que com que cadascuna d'aquestes lents està formada per dues, si volem ser més precisos hauríem de dir quatre lents en total. Amb una lent d'aquesta mena s'havien pres les imatges del cometa al Cap de Bona Esperança, i aparentment el pla més segur seria adoptar allò que ja havia demostrat que permetia dur a terme un treball prou bo. Però això comportava la dificultat següent: les imatges del cometa eren a una escala molt petita, i fetes amb una lent petita; per al projecte que ara estem considerant calia una lent molt més gran, i quan s'han de fer quatre lents independents, cadascuna amb dues superfícies que cal polir i que requereixen un tros de vidre perfectament transparent, és evident que les dificultats de fer una gran lent composta d'aquesta mena són molt més grans i el cost econòmic molt més seriós que en el cas d'una sola lent, o fins i tot d'un doblet. Era justament aquesta qüestió econòmica la que havia dut els germans Henry a experimentar amb un tipus d'instrument diferent, en el qual només es feia servir un parell de lents en comptes de dos. De fet, el seu instrument era molt semblant a un telescopi ordinari, excepte pel fet que estaven obligats a fer que les seves

lents fossin una mica diferents per tal de focalitzar els raigs de llum de manera adequada per a la fotografia, que no és igual que en el cas de l'observació ocular amb el telescopi normal. El doctor Common, per la seva banda, va utilitzat un tercer tipus d'instrument, principalment amb l'objectiu de reduir encara més la despesa necessària o, més aviat, d'augmentar la mida de l'instrument amb la mateixa despesa. El seu telescopi no tenia cap lent, sinó un mirall corbat, fet de vidre platejat per la cara davantera (no per la part posterior com en un mirall normal). En aquest cas només hi ha una superfície que calgui polir en lloc de quatre, com en el telescopi dels Henrys, o vuit, com en el cas del doblet fotogràfic; a més, com que els raigs de llum es reflecteixen sobre la superfície del vidre, i no el travessen, l'estructura interna del vidre no és tan important com en els altres casos. Per tant, el reflector és un instrument molt barat i, a més a més, no presenta algunes de les dificultats vinculades als altres instruments; no cal cap correcció per als raigs de llum de diferents colors, ja que els raigs de tots els colors convergeixen automàticament en el mateix focus. Aquests avantatges del reflector eren tan considerables que gairebé compensaven un desavantatge ben conegut però que no és fàcil expressar amb paraules. El reflector es podria descriure com un instrument geniüt; de vegades dona uns resultats excel·lents, però d'altres sembla anar malament, encara que l'observador no sap exactament què. Cal una llarga experiència i molta paciència per amansir l'instrument i obtenir-ne els millors resultats. En definitiva, es va considerar que aquesta incertesa era suficient per desqualificar l'instrument per a la tasca rutinària però seriosa que implica la cartografia dels cels. En conseqüència, es va escollir com a model a adoptar l'instrument més pràctic i afable amb què els germans Henry havien fet tan bona feina.

És curiós que al congrés de 1887 no es digués res sobre el tipus d'instrument esmentat en primer lloc (el doblet), tot i que el professor Pickering de l'Observatori de la Universitat Harvard va escriure una carta a favor seu. Des d'aleshores hem après força sobre els seus avantatges, i és probable que si el congrés es reunís ara s'arribés a una decisió diferent; però en aquell moment els assistents tenien, per dir-ho suaument, una mica de por d'un instrument que semblava prometre uns resultats excessius, sobretot en un aspecte. Amb el reflector i el refractor s'havia trobat que el camp en què les imatges eren bones estava força limitat. El telescopi dels Henry no fotografiaria una àrea del cel amb una extensió superior a 2° de diàmetre en cap moment i el reflector era encara més limitat; dins d'aquesta zona, les imatges de les estrelles eren bones, i se sabia que les seves posicions quedaven registrades amb exactitud. El «doblet» semblava poder mostrar àrees molt més grans amb exactitud, però el cert és que ningú havia pogut comprovar-ne la precisió per veure si era suficient per a propòsits astronòmics; i encara que aquesta valoració no s'expressés obertament ni per escrit, crec que no hi ha cap dubte que hi havia un cert sentiment de desconfiança general cap a un instrument que semblava oferir promeses tan seductores. Fos quin fos el motiu, el congrés va fer cas omís a totes aquestes promeses i va adoptar la línia més segura (tal com es creia aleshores) d'adoptar com a model l'instrument dels Henry.

Aquesta va ser potser la qüestió més important resolta al congrés, i les respostes a moltes de les altres van seguir de manera natural. La mida de les plaques, per exemple, va quedar establerta automàticament. La pregunta de fins a quin grau de tenuïtat s'havien d'incloure les estrelles es va resoldre en la pregunta equivalent de quin havia de ser el temps durant el qual s'exposessin

les plaques. De la mateixa manera, la pregunta de quins observatoris havien de participar en el treball es va transformar simplement en quins observatoris es podien permetre adquirir els instruments d'aquest nou tipus i aconseguir altres fons per dur a terme el treball especificat. A l'últim, es va considerar que divuit observatoris podien disposar de l'aparell i els fons, tot i que, malauradament, des d'aleshores tres d'aquests divuit han vist que els era impossible continuar. La següent és la llista original, i entre parèntesis hem afegit els noms de tres observatoris més que l'any 1900 es van comprometre a ocupar la plaça dels que havien abandonat el projecte.

Observatori	Zones de declinació	Nombre de plaques
Greenwich	+90°, +65°	1149
Roma	+64°, +55°	1140
Catània	+54°, +47°	1008
Helsingfors	+46°, +40°	1008
Potsdam	+39°, +32°	1232
Oxford	+31°, +25°	1180
París	+24°, +18°	1260
Bordeus	+17°, +11°	1260
Tolosa	+10°, +5°	1080
Alger	+4°, -2°	1260
San Fernando	-3°, -9°	1260
Tacubaya	-10°, -16°	1260
Santiago (Montevideo)	-17°, -23°	1260
La Plata (Còrdova)	-24°, -31°	1360
Rio (Perth)	-32°, -40°	1376

Cap de Bona Esperança	-41°, -51°	1512
Sydney	-52°, -64°	1400
Melbourne	-65°, -90°	1149

TAULA 7. OBSERVATORIS PARTICIPANTS EN LA CARTA ASTROGRÀFICA

A la llista també es mostra el nombre total de plaques que havia de prendre cada observatori. Un cop establerta la mida de les plaques, va ser una qüestió senzilla dividir el cel en el nombre adequat de regions necessàries per cobrir-lo de cap a cap, no només sense espais entre les plaques, sinó amb una petita superposició de les plaques contigües. A més a més, es va decidir que tot el cel es cobriria fotogràficament *dues vegades*. Era concebible que poguessin sorgir preguntes sobre si una determinada imatge d'una estrella en una placa era, en realitat, una taca de pols, un planeta o, potser, una estrella variable o nova. Prenent dues plaques diferents en moments lleugerament diferents es podrien resoldre qüestions d'aquesta mena; i per fer que la comprovació fos més independent es va decidir que les plaques no s'havien de repetir exactament en la mateixa porció de cel, sinó que en la segona sèrie el centre d'una placa havia d'ocupar el punt assignat al vèrtex d'una placa de la primera.

Després es va plantejar la important qüestió del temps d'exposició, que va provocar un llarg debat entre els que desitjaven el projecte més modest possible i coherent amb l'eficiència, i aquells entusiastes que es delien per forçar el projecte fins al màxim límit possible. Finalment, es va decidir prendre dues sèries de plaques; una sèrie d'exposició llarga que es va establir en primer lloc en 10 minuts, després va passar a 15, després a 30, després a 40, i alguns observadors audaços l'han ampliat a una hora i mitja; l'altra, una sèrie d'exposicions

curtes que s'han fixat generalment en 6 minuts. Així doncs, en comptes de cobrir el cel dues vegades, es va decidir cobrir-lo quatre cops en total, i el nombre de plaques assignades a cada observatori de la llista anterior s'ha de considerar duplicat a causa d'aquesta nova decisió. És més, a la sèrie de plaques de curta exposició es va decidir afegir a l'exposició de sis minuts una altra de tres minuts, havent desplaçat lleugerament el telescopi entre les dues perquè no se sobreposessin; i més endavant encara s'hi va afegir una tercera exposició de vint segons. Trigaria massa estona per explicar aquí els motius d'aquests detalls, però en qualsevol cas, queda clar que el resultat general del debat va ser estendre considerablement el programa original i fer que el treball resultés encara més laboriós del que semblava al començament.

Quan s'han pres totes aquestes plaques, la feina no està acabada en absolut; de fet, tot just comença. Queda la tasca de mesurar amb precisió, en cadascuna de les plaques de curta exposició, les posicions de les estrelles que hi apareixen, amb una mitjana d'entre 300 i 400; així, per exemple, a Oxford, el nombre total d'estrelles mesurades a les mil dues-centes plaques és de gairebé mig milió. No totes són estrelles diferents, perquè el cel es fotografia dues vegades, i també hi ha la lleugera superposició de plaques contigües, però en qualsevol cas, el nombre total d'estrelles diferents mesurades en aquest observatori no és gaire inferior a un quart de milió; s'ha trigat gairebé deu anys a fer les mesures, amb l'ajuda de tres o quatre mesuradors entrenats per a aquest propòsit. Per facilitar-ho, a cada placa es fotografia una xarxa de línies creuades, o *réseau*, amb llum artificial, després d'haver estat exposada a les estrelles, de manera que quan es revela la placa apareixen aquestes línies creuades i les estrelles. D'un cop d'ull podem veure la posició aproximada d'una estrella comptant el

nombre de sectors de la xarxa, d'esquerra a dreta i de dalt a baix, en què se situa, i també podem estimar la fracció d'un sector a més del nombre enter de sectors; però per a propòsits astronòmics cal estimar aquesta fracció amb la màxima exactitud. Els nombres enters ens els proporciona l'acurada determinació de les línies creuades, la separació de les quals es pot establir amb una perfecció extraordinària. Per mesurar la fracció, posem la placa sota un microscopi en l'ocular del qual hi ha una retícula finalment dividida; el centre de la retícula es col·loca sobre la imatge de l'estrella i després es determina el punt en què les línies de la xarxa tallen la retícula. D'aquesta manera, la posició de la imatge d'una estrella es pot llegir amb precisió, i després d'un xic de pràctica també amb una rapidesa considerable. A Oxford s'ha vist que en condicions favorables, un únic mesurador pot registrar les posicions de gairebé 200 estrelles per hora, sempre que tingui algú que li anoti les xifres que va anunciant. Aquest és només un tipus d'aparell de mesura; n'hi ha d'altres en què, en comptes d'una retícula en l'ocular, es fan servir caragols micromètrics per mesurar les fraccions. El principi general de tots aquests instruments és molt semblant, i el ritme de treball no és gaire diferent; no crec que calgui esmentar aquí els petits avantatges i desavantatges de cada sistema. Sí que cal comentar, però, un aspecte concret. Després de mesurar una placa, es gira del tot, de manera que l'esquerra és ara la dreta i la part superior, la part inferior; tot seguit es repeteixen les mesures. Aquesta repetició té, en primer lloc, l'avantatge de comprovar que no s'hagi produït cap error. Quan s'emprèn un llarg treball de mesura o numèric, de qualsevol tipus, invariablement hi ha moments en què l'atenció sembla divagar i es generen petits errors. Però també hi ha certs errors de caràcter sistemàtic similars als que fa referència el terme *equació personal*, que ha trobat el seu lloc en

altres àmbits de la vida. En l'operació de col·locar una retícula exactament sobre la imatge d'una estrella, diferents observadors mostraran lleugeres diferències d'hàbit; un podria situar-la una mica més a la dreta que un altre, per exemple. Però quan es gira la placa, l'efecte d'aquest hàbit sobre la mesura s'inverteix exactament i, per tant, si prenem la mitjana de les dues mesures, qualsevol hàbit personal d'aquesta mena queda eliminat. L'experiència ha demostrat que aquests hàbits personals són molt més petits per a mesures d'aquest tipus que per a aquelles a què estem acostumats des de fa temps en les observacions oculars directes sobre els mateixos astres. Els problemes de l'«equació personal» es redueixen molt amb el mètode fotogràfic i, per mitjà de la comparació, s'han fet evidents certes peculiaritats del mètode anterior. Per exemple, ha anat quedant clar que amb les observacions oculars l'equació personal no és una quantitat constant, sinó que és diferent per a estrelles de diferent brillantor. Quan es determina el trànsit d'una estrella brillant, sembla que els observadors registren sempre un instant clarament anterior que quan registren el trànsit d'una de feble; i aquesta peculiaritat sembla ser comuna a la gran majoria d'observadors, raó per la qual és possible que no s'hagués apreciat abans. En qualsevol cas, quan es comparen les posicions de les estrelles determinades d'aquesta manera amb les seves posicions mesurades a les plaques fotogràfiques, la peculiaritat es manifesta amb tota claredat. Per exemple, a Oxford, la nostra primera feina després de prendre les mesures és comparar-les amb observacions visuals d'un nombre limitat de les estrelles més brillants fetes a Cambridge fa uns vint anys (s'hi van observar unes 14.000 estrelles i ara estem tractant amb un nombre deu vegades superior). La comparació mostra que les observacions de Cambridge es veuen afectades amb els següents errors sistemàtics:

Si s'observen correctament estrelles de magnitud 10,

- les estrelles de magnitud 9 s'observen 0,10 segons massa aviat;
- les estrelles de magnitud 8 s'observen 0,16 segons massa aviat;
- les estrelles de magnitud 7 s'observen 0,19 segons massa aviat;
- les estrelles de magnitud 6 s'observen 0,21 segons massa aviat;
- les estrelles de magnitud 5 s'observen 0,23 segons massa aviat.

Això pot servir com a il·lustració dels diversos resultats incidentals que ja s'estan obtenint de l'enorme i laboriós treball que, pel que fa a l'Observatori de la Universitat d'Oxford, tot just hem completat, encara que alguns dels altres col·legues no estan tan avançats. De totes maneres, encara no disposarem dels resultats més rellevants. Cal repetir el treball i comparar les posicions de les estrelles tot just obtingudes amb les que es determinaran en alguna data futura, per tal de veure quins canvis es produeixen en el cel. Si aquesta data futura és d'aquí a cent, cinquanta o deu anys, o si hem de començar immediatament a repetir el que s'ha fet, és una qüestió encara no decidida i que requereix una mica de consideració.

Tal vegada ja he explicat prou coses per donar al lector una idea general del treball en què hem estat implicats a Oxford durant els últims deu anys. Fa deu anys semblava que aquesta tasca s'estenia davant nostre amb una certa desesperança, atès que el ritme a què podíem avançar semblava lentíssim tenint en compte la distància que calia recórrer. Ens sentíem més aviat com l'alumne que acaba de tornar a l'escola i veu les properes vacances com una perspectiva molt remota, i ens vam consolar d'una manera no gaire diferent: vam traçar un diagrama que representava el nombre total de plaques de què ens havíem d'ocupar i hi ratllàvem cadascuna a

mesura que es completava, de la mateixa manera que de vegades l'alumne va ratllant els dies que encara falten fins a les anhelades vacances. Era ben agradable anar veient com augmentaven les creus en aquest diagrama, i a les acaballes de l'any 1902 vam tenir la satisfacció de veure que quedaven molt pocs espais en blanc. Fins aquest punt no ens havíem preocupat gaire de si alguna placa en particular es completava en un any en concret o en un any posterior, sempre que hi hagués prou plaques per mantenir-nos ocupats a mesurar-les. Però el cert és que completar cada placa a l'època adequada de l'any és una qüestió prou rellevant, perquè el Sol, com sabem, es desplaça pel zodíac entre les estrelles, ocultant amb la seva resplendor una gran part del cel durant un període d'uns mesos. Així, una regió determinada del cel és susceptible de «quedar a la llum del dia», com es diu a l'observatori, i deixa d'estar disponible per a la fotografia durant uns quants mesos, fins que el Sol torna a allunyar-se prou per permetre veure aquella regió durant la nit.

A grans trets, doncs, si una placa que s'ha de fotografiar al febrer no està completada en aquest mes a causa del mal temps, no es tornarà a produir el moment adequat per a la fotografia fins al febrer següent. Quan teníem unes bones perspectives d'acabar el nostre treball l'any 1903, va ser important garantir que cada placa es pogués prendre en el moment adequat d'aquell any. Per tant, fèiem tots els esforços per aprofitar al màxim qualsevol bona nit que la providència ens volgués enviar en el nostre camí, i en aquestes ocasions resulta molt profitós prendre les plaques sense pausa mentre el sol no brilla i la nit és clara, deixant-ne el revelat fins que es faci de dia. Per descomptat, correm el risc que d'aquesta manera es perdi tota la feina de la nit a causa d'alguna fallada en les plaques, que s'hauria pogut detectar si se

n'haguessin revelat algunes immediatament. Potser en els primers dies de la nostra tasca hauria estat temerari o ximple deixar de banda aquesta petita precaució, però feia anys que estàvem acostumats a confiar en l'excel·lència de les plaques sense que ens haguessin desil·lusionat en cap moment; a més, la sensibilitat de les plaques havia augmentat en lloc de disminuir a mesura que passaven els mesos.

Per tant, s'entén fàcilment que quan un matí calamitós vam revelar una trentena de plaques i vam trobar que, a causa d'una falta de sensibilitat inexplicada, eren totes inadequades per al nostre propòsit, la sorpresa fou d'allò més desagradable i alarmant. Per descomptat, calia assegurar-se que no s'havia passat res per alt, que el revelador no n'era el culpable i que el temps no ens havia jugat una mala passada. Totes aquestes possibilitats es van considerar amb cura abans de posar-nos en contacte amb els fabricants de les plaques, però finalment va quedar clar que hi havia hagut algun desafortunat error en la sensibilitat i que caldria repetir el treball, amb oportunitats limitades pel temps transcorregut.

Tanmateix, decepcions per aquesta causa o similars no són alienes als treballs astronòmics, de manera que vam endegar aquesta repetició amb la menor pèrdua de temps i també amb ben poca alegria. En les circumstàncies que es donaven, però, era desitjable avaluar detingudament si es podia salvar alguna cosa del naufragi, si tal vegada es podia admetre alguna de les plaques que complís uns requisits mínims. Vaig dedicar tot un matí a aquesta feina i en el curs d'aquesta recerca em vaig trobar amb una placa que, sens dubte, semblava digna de ser inclosa entre les nostres sèries pel que fa al nombre d'estrelles que hi apareixen. Mostrava un camp força ric en estrelles, potser fins i tot una mica més ric del que es podria esperar. Quan vaig preguntar per l'origen de la

placa em van dir que no era una de les plaques descartades per la manca de sensibilitat, sinó que s'havia pres després d'haver-se detectat l'error; era d'un lot nou i especialment sensible que el fabricant ens havia subministrat amablement; de totes maneres, tot i que sens dubte hi havia un nombre prou gran d'estrelles a la placa, per alguna causa inexplicada, el telescopi havia estat orientat erròniament i la regió captada no corresponia a la regió requerida. Per investigar la causa de la discrepància, vaig treure del nostre magatzem de plaques l'altra corresponent a la mateixa regió que havia estat rebutjada per no mostrar prou estrelles i, en comparar les dues, va quedar clar que hi havia un objecte estrany a la placa que s'havia pres més tard, una estrella brillant o un altre cos celeste que no es trobava a la primera placa. He explicat que repetint l'exposició més d'una vegada, és fàcil reconèixer si una marca a la placa és realment un cos celeste o és només una taca accidental o una mica de pols, i no hi havia dubte que aquesta era la imatge d'algun cos celeste estrany. Podia ser, per descomptat, un planeta nou, o fins i tot un de vell que s'hagués esquitllat per aquella regió del cel, però unes quantes mesures aviat van demostrar que no estava en moviment. Les mesures van consistir a comparar la separació de les tres exposicions amb la separació de les corresponents exposicions d'estrelles ben conegudes, perquè les exposicions no eren, és clar, simultànies, i si el cos fos un planeta i s'hagués desplaçat en el temps transcorregut entre elles, això es manifestaria a l'hora de mesurar les separacions. No es va detectar cap mena de desplaçament, de manera que les possibilitats es limitaven a dues. Pel que sabíem, l'objecte era una estrella, però podria ser una estrella de la classe coneguda com a *variable* o de la que es coneix com a *nova*. En el primer cas, l'astre es faria brillant i tènue a intervals més o menys regulars, i era possible que ja hagués catalogat; perquè el nombre d'aquests

cossos coneguts ascendeix a uns centenars. Després de fer una cerca en els catàlegs, però, no se'n va trobar cap que hi correspongués, tot i que encara podria ser que fos una estrella d'aquest tipus que fins ara hagués escapat a la detecció. També podia ser una «estrella nova», un d'aquests cossos peculiars que brillen sobtadament i després desapareixen gradualment fins que es tornen pràcticament invisibles. El més famós és, potser, l'estrella que va aparèixer el 1572, i que va ser observada amb tanta cura per Tycho Brahe; però aquestes aparicions són rares i, en total, amb prou feines en tenim registres d'una vintena; si es tractés d'aquest darrer cas, doncs, el descobriment tindria molt més interès que en el primer. En qualsevol cas, calia informar els altres observadors de l'existència d'un cos estrany tan aviat com fos possible; ja havia passat un cert temps des que s'havia exposat la placa, el 16 de març, i l'avaluació que he comentat no es va fer fins al 24 de març. En conseqüència, es va enviar immediatament un telegrama a l'Oficina Central de Kiel, que s'encarrega de distribuir aquesta mena informació per tot el món;¹ a més a més, es van enviar unes quantes postals als observadors propers que podrien observar l'estrella aquella mateixa nit. Unes quantes observacions amb l'espectroscopi aviat van deixar clar que l'objecte era realment una «estrella nova».

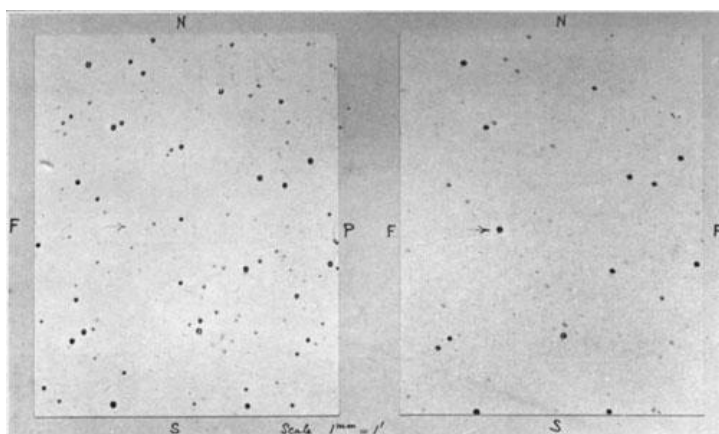
Aquest és, doncs, el descobriment que vam fer a Oxford, d'una manera totalment accidental i en el curs d'una feina en la qual no es va plantejar mai. La seva naturalesa purament accidental queda prou il·lustrada pel fet que si les plaques subministrades originalment pels fabricants haguessin estat de la qualitat adequada, no s'hauria pres mai la placa que va dur al descobriment. Si les plaques exposades al febrer haguessin estat satisfactòries, hauríem quedat complaguts i no hauríem repetit l'exposició el 16 de març. De nou puc testimoniar

personalment com de casual va ser que l'examen es fes el 24 de març per veure si es podia recuperar alguna cosa del naufragi. La idea em va venir a la ment casualment mentre caminava per la sala i vaig veure el munt de plaques rebutjades; es pot dir que va ser un impuls fortuït. Aquesta estrella nova no és, però, el primer d'aquests objectes que s'ha descobert «accidentalment»; hi ha molts altres que s'han trobat per casualitat, tot i que cal fer una excepció notable pel que fa als descoberts a l'Observatori de Harvard, que són el resultat d'una recerca deliberada d'aquests cossos mitjançant l'examen acurat de plaques fotogràfiques. La senyora Fleming, que es dedica a aquesta feina, ha tingut la sort de detectar no menys de sis d'aquests meravellosos objectes com a recompensa del seu laboriós escrutini;² i era l'única persona que havia trobat noves estrelles mitjançant la fotografia fins a aquest descobriment accidental a Oxford. A continuació presento una llista completa de noves estrelles descobertes fins ara:

Núm. ref.	Constel·lació	Any	Descobridor
1	Cassiopea	1572	Tycho Brahe
2	Cigne	1600	Janson
3	Serpentari	1604	Kepler
4	Guineu	1670	Anthelm
5	Serpentari	1848	Hind
6	Escorpí	1860	Auwers
7	Corona boreal	1866	Birmingham
8	Cigne	1876	Schmidt
9	Andròmeda	1885	Hartwig
10	Perseu	1887	Fleming
11	Auriga	1891	Anderson
12	L'escaire	1893	Fleming

13	La Quilla	1895	Fleming
14	Centaure	1895	Fleming
15	Sagitari	1898	Fleming
16	L'àguila	1899	Fleming
17	Perseu	1901	Anderson
18	Bessons	1903	a Oxford

TAULA 8. LLISTA D'ESTRELLES NOVES



IL·LUSTRACIÓ 7. L'ESTRELLA NOVA D'OXFORD

Fotografies del primer i el 14 de març de 1903, des de l'observatori de Harvard abans i després de l'aparició de l'estrella nova d'Oxford.

La fletxa n'indica la posició. Es pot veure que a la imatge de l'esquerra, tot i que mostra estrelles més febles que l'altra, no es veu cap rastre de la nova estrella.

En general, aquestes estrelles s'han descobert mitjançant l'observació ocular, com en el cas de les dues trobades pel doctor Anderson d'Edimburg. En aquests casos també podem dir que la recerca deliberada va rebre una merescuda recompensa, perquè el doctor Anderson és probablement el «vigilant dels cels» més diligent en vida, encara que poques vegades fa servir un telescopi; de vegades empra una ullera de llarga vista, però

normalment fa les seves observacions a ull nu. Ell es descriu a si mateix com un «astròfil» més que com un astrònom. «M'encanten les estrelles», diu, «i sempre que brillen, m'he de posar a mirar-les». I així cada nit clara, dret o assegut, roman al costat de la finestra del seu estudi contemplant el cel. Crec que estava a punt de deixar l'observació per anar a dormir, cap a les tres de la matinada de la nit del 21 de febrer de 1901, quan, amb una última mirada cap amunt, va veure de sobte una estrella brillant a la constel·lació de Perseu. La seva primera sensació va ser en realitat de decepció, perquè estava segur que aquest objecte havia d'haver estat allà des de feia un cert temps sense que ell se n'adonés, i li va molestar el temps perdut quan podria haver estat observant-lo. Més amb un sentiment de lament que de recerca, l'endemà es va dirigir a l'Observatori Reial d'Edimburg per veure què havien de dir al respecte, tot i que li va costar abordar el tema. Primer va parlar del temps, i dels conreus, i de temes similars d'interès general; i només després d'una estona va gosar expressar una referència casual al «nou portent del cel». En veure que el seu interlocutor es quedava en blanc, es va aventurar a anar una mica més enllà i va fer una referència directa a la nova estrella a Perseu; aleshores, per a la seva sorpresa i també per al seu gran delit, va descobrir que era el primer a tenir-ne notícies. La novetat es va comunicar aviat a altres observadors i ben aviat tots els telescopis del món la van enfocar. Aquesta meravellosa «nova estrella del nou segle» ens ha ensenyat més sobre la naturalesa d'aquests cossos extraordinaris que tot el que sabíem abans.

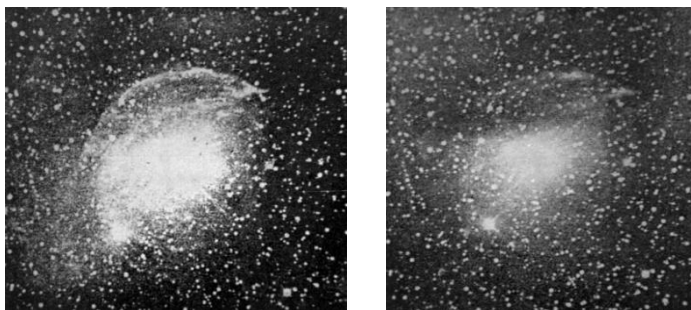
No seria sobrer afegir ara algunes observacions sobre una o dues característiques d'aquests cossos. En primer lloc, cal esmentar que el professor Pickering de Harvard pot fer una contribució molt important a la història

prèvia d'aquests objectes, és a dir, a la història anterior a la seva detecció real. Recordem que, després de descobrir Urà, es va trobar que, molt abans, diversos observadors n'havien registrat la posició sense ser conscients que es tractava d'un nou planeta; de la mateixa manera, el professor Pickering i el seu personal solen fotografiar altres objectes nous sense ser-ne conscients. A les prestatgeries de Harvard hi ha munts de fotografies, tantes que no poden examinar-les totes després de fer-les; ara bé, quan es descobreix qualsevol objecte d'interès, no costa gaire dirigir-se al magatzem i examinar les plaques concretes que podrien mostrar aquest objecte en una data anterior. D'aquesta manera es va trobar que la nova estrella del doctor Anderson havia sigut visible només durant uns pocs dies abans del seu descobriment, sense que n'hi hagués cap rastre en plaques anteriors. De manera semblant, en el cas de la nova estrella trobada a Oxford, les plaques obtingudes els dies 1 i 6 de març, quinze dies i deu dies, respectivament, abans de la placa del descobriment del 16 de març, mostraven l'estrella. En aquest cas en particular, però, tenen un interès més gran dues plaques, encara anteriors, preses en un altre lloc i amb exposicions molt més llargues que les disponibles a Harvard. Un l'havia obtingut a Heidelberg el doctor Max Wolf, i l'altra, el senyor Parkhurst a l'Observatori Yerkes de la Universitat de Chicago; en ambdós casos sembla apreciar-se un estel força feble de magnitud catorze o quinze, aproximadament, al lloc que posteriorment ocuparia l'estrella nova. La pregunta sorgia de manera natural: era aquest l'objecte que després va esclatar i es va convertir en la nova estrella? Per resoldre aquest punt, calia mesurar-ne la posició, amb referència als estels veïns, amb una precisió extrema; malauradament, però, les fotografies no ens van ajudar tant com hauríem pogut esperar, perquè amb prou feines es podien mesurar amb la precisió necessària. La qüestió era

important, perquè si es pogués establir la identitat de la *nova* amb aquesta estrella tènue, seria el segon cas d'aquest tipus; però fins allà on podien arribar amb la seva precisió, les mesures de les fotografies anaven clarament en contra de la correspondència entre els dos objectes. Aquesta va ser la conclusió del senyor Parkhurst, extreta només a partir de la seva fotografia; confirmada després per mesures fetes a Oxford sobre còpies de les dues plaques, que hi van ser amablement enviades amb aquest propòsit. La conclusió semblava ser que hi havia una estrella tènue *molt a prop*, però no *en el lloc* de la nova estrella i, per tant, era probable que, tot i que aquesta estrella tan feble fos temporalment invisible per la brillantor de l'estrella nova adjacent, a mesura que aquesta es debilités (de la manera a què ens hem familiaritzat en el cas de les estrelles noves), podria ser possible veure les dues estrelles una al costat de l'altra. Aquesta observació crítica la van fer finalment els ulls esmolats del professor Barnard, amb l'ajuda de l'enorme telescopi de l'Observatori Yerkes. Sembla clar, per tant, que l'objecte que es va convertir en la *nova* de 1903 no podia haver estat abans una dèbil estrella de catorzena magnitud. Tot i que aquesta és només una conclusió negativa, és important en la història d'aquests cossos.

El segon punt sobre el qual vull cridar l'atenció és la història de l'altra *nova* que acabem d'esmentar: l'estrella nova del doctor Anderson de 1901. En aquest cas, no és la història anterior al descobriment, sinó el que va venir molts mesos després, allò que va tenir un més gran interès; i de nou l'Observatori Yerkes, amb el seu magnífic equipament, va tenir un paper important en l'episodi. Quan, amb el seu gran telescopi reflector, es van fer fotografies de la regió de Nova Persei després que s'hagués tornat comparativament tènue, es va trobar

que hi havia una nebulositat d'allò més feble al voltant de l'estrella. Quan es van repetir les fotografies, a intervals, es va trobar que la nebulositat canviava de forma ràpidament. *Ràpidament* és un terme relatiu, és clar, i de fet una inspecció casual de dues de les fotografies pot no transmetre cap impressió de rapidesa; és només quan tenim en compte l'enorme distància a la qual han de tenir lloc aquests desplaçaments, o desplaçaments aparents, de les nebuloses que es fa evident la rapidesa amb que s'han de produir. No es va poder determinar aquesta distància amb exactitud, però sí que es van poder establir certs límits i, tenint-los en compte, semblava probable que la velocitat de desplaçament fos comparable a la de la llum o, de fet, fins i tot idèntica a la de la llum, i en aquest cas el que estariem veient no seria el moviment de la matèria real, sinó simplement el de la il·luminació, que viatjava d'un punt a un altre per la matèria ja existent.



IL·LUSTRACIÓ 8. LA NEBULOSA DE NOVA PERSEI

A l'esquerra, el 20 de setembre de 1901; a la dreta, el 13 de novembre de 1901. Fotografies obtingudes per G. W. Ritchey a l'Observatori Yerkes.

Una analogia amb el cas familiar del so pot aclarir el que volem dir. Si fem un soroll fort en una sala gran, podrem sentir els ecos de les parets. El so viatja a una

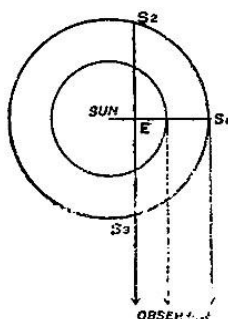
velocitat d'uns 1100 peus per segon [335 m/s], arriba a les parets, s'hi reflecteix i torna cap a nosaltres amb la mateixa velocitat. Del temps esmerçat en anar i tornar podem calcular la distància a què es troben les parets. La velocitat de la llum és tan gran en comparació amb la del so que en condicions normals no podem observar cap fenomen semblant en el cas de la llum. Si encenem un llumí dins de la sala més gran que imaginem, totes les seves parts s'il·luminen de manera tan immediata que ens és impossible apreciar que, en realitat, hi ha hagut un interval de temps entre l'encesa del llumí, el viatge de la llum fins a les parets i el seu retorn als nostres ulls. L'escala del nostre fenomen terrestre és massa petita per fer que aquest interval de temps sigui perceptible. Però els que accepten la teoria esmentada sobre les manifestacions al voltant de Nova Persei (tot i que n'hi ha que la desacrediten) creuen que en aquest cas tenim precisament una il·lustració d'aquest fenomen dels «ecos de llum» a una escala prou gran perquè sigui visible amb facilitat. Plantegen que, al voltant de l'estrella central que va brillar amb tanta lluïssor el febrer de 1901, hi havia una extensa nebulosa fosca, de la qual no en sabíem res, perquè no brillava amb cap mena de llum pròpia. Quan l'estrella va augmentar de brillantor, la llum va viatjar d'un punt a un altre d'aquesta nebulosa fosca i la va il·luminar; però la mida de la nebulosa és tan gran que, tot i que la llum viatja a l'enorme velocitat de 200.000 milles per segon [300.000 km/s], no va ser fins mesos després que va arribar a diferents parts d'aquesta nebulosa i, en conseqüència, vam saber de la seva existència uns mesos després que ens arribés la informació de l'esclat central, fos el que fos aquest esclat. Cal assenyalar que l'únic que podem dir amb certesa és que la informació de la nebulosa ens va arribar *uns mesos més tard* que la de l'esclat. Encara no tenim cap mitjà per saber el moment real en què va passar cap de

les dues coses; pot ser que faci centenars o fins i tot milers d'anys que es va produir la conflagració de la qual vam tenir coneixement el febrer de 1901, ja que la llum haurà trigat tot aquest temps a arribar-nos des d'aquell llunyà racó de l'espai; la llum reflectida per la nebulosa, per la seva part, la seguia en el seu camí cap a nosaltres durant tots aquests anys, després d'aquest mateix interval d'uns quants mesos.

Ara, abans de deixar aquest tema, permeteu-me comentar la principal objecció que s'ha plantejat contra aquesta hipòtesi. S'ha sustentat que la il·luminació hauria de viatjar cap a l'exterior des del centre, tendint a una certa uniformitat, mentre que la velocitat de propagació que s'observa no és uniforme i la il·luminació, fins i tot, s'ha estat aproximant al centre en lloc d'allunyar-se'n, com si parts de la nebulosa més apartades del centre quedessin il·luminades abans que d'altres més properes. Amb una il·lustració simple del nostre sistema solar, veurem que aquestes curioses anomalies es poden explicar amb facilitat. Considerem per senzillesa només dos planetes, per exemple la Terra i Saturn. Sabem que Saturn gira al voltant del Sol en una òrbita deu vegades més gran que la de la Terra. Suposem ara que el Sol s'apagués de cop i volta; la llum triga uns vuit minuts a viatjar del Sol a la Terra i, en conseqüència, no sabríem res de l'extinció durant uns vuit minuts; el Sol ens semblaria que encara continua brillant durant vuit minuts després que s'hagués apagat realment. Com que Saturn és unes deu vegades més lluny del Sol, la notícia trigaria vuitanta minuts a arribar-hi, i des de la Terra veuríem Saturn brillar més de vuitanta minuts després que el Sol s'hagués apagat, malgrat que nosaltres hauríem deixat de veure la llum del Sol al cap de vuit minuts. Crec que ja comencem a veure possibilitats perquè es produeixen anomalies curioses; però ho podem

deixar encara més clar. En lloc d'imaginar un observador a la Terra, suposem que s'ha situat a una gran distància en el mateix pla de les dues òrbites, i suposem que ara el sol s'encén de nou tan sobtadament com la nova estrella de febrer de 1901. Aleshores, un observador com aquest veuria primer aquesta encesa al centre; vuit minuts després la llum arribaria a la Terra i s'il·luminaria un petit punt lluminós prop del Sol, tal com vam veure il·luminada una part de la nebulosa fosca al voltant de Nova Persei; vuitanta minuts més tard, començaria a lluir un altre punt, Saturn. Però semblaria Saturn a l'observador llunyà per força més lluny del Sol que la Terra? Mirant el diagrama de la il·lustració Il·lustració 9, podem veure que si Saturn estigués a S_1 , llavors presentaria aquesta aparença natural de ser més lluny del sol que de la Terra; però podria ser a S_2 o S_3 , i en aquest cas semblaria ser més a prop del Sol, i la propagació de la il·luminació semblaria viatjar cap endins, cap al cos central, en lloc de cap enfora. Sense considerar altres casos en detall, queda prou clar que gairebé qualsevol aparença anòmala es podria explicar escollint una disposició adequada de la matèria nebulosa que suposem que és il·luminada per l'explosió de Nova Persei. Una altra objecció contra la teoria que he esbossat és que la llum reflectida per una nebulosa així seria tan feble que no afectaria les nostres plaques fotogràfiques. Això depèn de diverses suposicions que aquí no tenim temps de comentar, però crec que podem dir que hi ha espai del tot raonable per acceptar la teoria.

Si aquesta nebulosa fosca ja existia abans al voltant de l'estrella que es va encendre, sorgeix naturalment la pregunta de si ha tingut alguna cosa a veure amb l'explosió. ¿Hi havia tal vegada una estrella, tan freda o tan llunyana com per no brillar amb cap llum apreciable, i que, viatjant per l'espai, es va trobar amb aquesta vasta



IL·LUSTRACIÓ 9. ESQUEMA DE LA
IL·LUMINACIÓ DE COSSOS EN DIVERSES
POSICIONS

nebulosa i per l'efecte de la fricció es va fer de sobte tan lluminosa com per eclipsar una estrella de primera magnitud? El cas de les roques meteorítiques que impacten en la nostra atmosfera sembla suggerir aquesta possibilitat. Aquestes petites roques són força fredes i invisibles, i d'alguna manera viatgen per l'espai —moltes, probablement, giren al voltant del Sol—. Si en el seu viatge troben per casualitat la nostra Terra, encara que només sigui amb l'atmosfera extremadament tènue, tan subtil que amb prou feines doblega els raigs de llum de manera apreciable, la fricció serà suficient per escalfar-les fins al roig, donant lloc als estels fugaçs que ens són tan familiars. Plantegem aquesta analogia però hem de ser prudents a l'hora d'acceptar-la, perquè sabem molt poc de la naturalesa de les nebuloses tal com n'hem estat parlant. En qualsevol cas, s'han presentat davant dels nostres ulls una sèrie de fenòmens totalment nous gràcies a aquestes meravelloses fotografies fetes a l'Observatori Yerkes i a l'Observatori Lick en els pocs anys que han transcorregut del segle actual.

Una cosa és ben certa: no hem de perdre cap oportunitat d'estudiar les estrelles que puguin aparèixer, i no podem fer el ronso per descobrir-les al més aviat

possible. Fins al moment, només n'hem descobert, com ja s'ha dit, menys d'una vintena, i d'aquestes moltes no ens han aportat gaire informació, en part perquè es van descobrir massa tard —després d'haver-se afeblit— i en part perquè no es van poder observar amb l'espectroscopi, que llavors encara no s'havia inventat. Sembla clar que en el futur no hem de permetre que l'accident tingui un paper tan important en el descobriment d'aquests objectes i s'ha de treballar més per a una recerca deliberada. Per bé que sabem per endavant que això implicarà una gran quantitat de feina aparentment inútil, que s'han de dedicar mesos i anys a comparar plaques fotogràfiques, o porcions del cel, sense detectar-hi res remarcable, no seria la primera vegada que s'inverteixen anys alegrement en aquestes cerques sense cap resultat. Per adonar-nos-en només cal recordar els quinze anys de recerca infructuosa de Hencke abans de trobar un planeta menor.

Una cosa ben important que es pot fer és millorar els nostres mètodes de cerca per tal d'estalviar feina, i ja s'han fet diversos intents amb èxit en aquesta direcció. La idea més senzilla és superposar dues fotografies fetes en dates diferents, de manera que les estrelles d'una estiguin molt a prop de les de l'altra; aleshores, si es troba una imatge que no està emparellada, pot ser que hàgim trobat una nova estrella, tot i que, per descomptat, l'objecte pot ser només un planeta o una estrella variable. A més, la superposició de les plaques pot ser real o virtual. S'ha concebut un instrument molt elegant, basat en el principi de l'estereoscopi, per examinar dues plaques col·locades una al costat de l'altra, una amb cada ull. Sabem que d'aquesta manera dues fotografies d'un mateix objecte, observades des de diferents punts de vista, semblen unir-se i, alhora, donar una aparença de solidesa a l'objecte o paisatge, parts del qual semblen destacar per

davant del fons. Aplicant aquest principi a dues fotografies d'estrelles, el que passa és el següent: si els estels s'han mantingut exactament en les mateixes posicions, les dues imatges semblaran unir-se i trobar-se sobre un fons pla, però si en l'interval entre les exposicions de les dues plaques una de les estrelles s'ha mogut de manera apreciable o ha desaparegut, observada amb aquest instrument semblarà destacar davant del fons. En conseqüència, es pot detectar amb força facilitat. Aquest nou instrument, al qual s'ha donat el nom d'*estereocomparador*, promet ser d'un valor immens en el futur per escombrar el cel a la recerca de cossos insòlits. M'alegra dir que un magnànim benefactor ha donat amablement a l'Observatori de la Universitat d'Oxford un d'aquests bells instruments, construïts pels senyors Zeiss de Jena a partir dels hàbils dissenys del doctor Pulfrich. Queda per veure si serem capaços de repetir mitjançant una recerca deliberada l'èxit que el simple accident ens va posar a l'abast.

5

Schwabe i les taques solars

En els capítols anteriors hem fet un repàs de diversos descobriments, alguns dels quals s'han obtingut com a resultat d'una recerca deliberada i d'altres de manera accidental en el curs d'un treball dirigit a una finalitat totalment diferent. Fins ara, però, no hem considerat el cas en què el descobridor es llancés a una empresa de la qual se'l va dissuadir de totes totes.

En el capítol següent ens trobarem amb un exemple molt cridaner d'aquest tipus; però fins i tot en el descobriment de la periodicitat a les taques solars, que és el que em proposo tractar tot seguit, el senyor Schwabe va començar el seu treball davant les opinions dissuasives d'homes eminents. El seu anunci definitiu es va fer per primera vegada el 1843, tot i que ell ja n'estava convençut des d'uns anys abans. El 1857, la Royal Astronomical Society li va concedir la seva medalla d'or pel descobriment, i en el discurs pronunciat per a l'ocasió, el president va començar fent atenció a aquest fet, que els astrònoms que havien expressat alguna opinió sobre el tema s'hi havien mostrat de manera uniforme i convençuda contra la probabilitat que es pogués extreure

alguna cosa profitosa de l'estudi de les taques solars. Cito aquí les paraules exactes del president, el senyor Manuel Johnson, després Observador Radcliffe a Oxford:

Va ser l'any 1826 quan Heinrich Schwabe, un cavaller que resideix a Dessau, va iniciar les investigacions a què ara dediquem la nostra atenció. No soc conscient del motiu que el va induir; si li havia vingut alguna idea particular a la seva ment o si era un desig general d'investigar, més a fons que els seus predecessors, les lleis d'un fenomen notable, que feia temps que era habitual menystenir. Dificilment podria haver previst el tipus de resultat al qual ha arribat; alhora, no podem imaginar un procés més ben ideat per a la seva detecció que el que ha seguit des de l'inici de la seva carrera, fins i tot tenint en compte que ja se n'havia fet a la idea. És ben clar que si va considerar una idea així no va ser pas manllevada de les autoritats del segle passat, per a les quals les taques solars eren objectes de menys interès del que han tingut els darrers anys:

- «*et nulla constanti temporum lege apparent aut evanescent*», diu Keill el 1739 (*Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam*, pàg. 253).¹
- «*Il est manifeste par ce que nous venons de rapporter qu'il n'y a point de règle certaine de leur formation, ni de leur nombre et de leur figure*», diu Cassini fill el 1740 (*Eléments d'Astronomie*, vol. I, pàg. 82).
- «*Il semble qu'elles ne suivent aucune loi dans leur apparitions*», diu Le Monnier el 1746 (*Institution astronomique*, pàg. 83).
- «Les taques solars no observen regularitat en la seva forma, magnitud, nombre o en el moment de la seva aparició o continuïtat», diu Long el 1764 (*Astronomy*, vol. II, pàg. 472).

- «*Les apparitions des tâches du soleil n'ont rien de régulier*», diu Lalande el 1771 (*Astronomie*, vol III, par. 3131).

I l'opinió de Delambre es pot deduir d'un fragment ben conegut del tercer volum de la seva *Astronomie* (pàg. 20), publicat el 1814, on tractant les taques solars, diu: «*Il est vrai qu'elles sont plus curieuses que vraiment utiles*».

És evident, doncs, que el senyor Schwabe va tenir el coratge d'endegar una línia d'investigació que altres havien condemnat pràcticament com inútil, i que el seu descobriment va ser totalment contrari al que es podia esperar. És una lliçó per a tots nosaltres que ni tan sols la línia de treball més improbable s'ha de considerar menyspreable, perquè el resultat dels treballs de Schwabe va ser el primer pas de tota la sèrie de descobriments que han anat construint progressivament la moderna ciència de la física solar, que, sense anar més lluny, ocupa una part tan gran, i amb raó, de les energies del gran observatori adjunt a la Universitat de Chicago.

És la pràctica habitual recordar les paraules autèntiques amb què el descobridor va anunciar la seva troballa, i reproduiré el modest anunci original de Schwabe, tot i que per comoditat dels que no llegeixen l'alemany n'intentaré una traducció aproximada. Havia anat comunicant any rere any els resultats del seu recompte diari de les taques solars a l'*Astronomische Nachrichten*, i després d'haver donat resultats de deu anys d'aquesta manera, els va reunir, però no va fer cap comentari sobre la curiosa seqüència que ja en aquell moment mostraven sense cap mena de dubte. Després d'esperar pacientment sis anys per obtenir més material, el 1843 es va aventurar a fer el seu anunci definitiu de la següent manera:

De les meves observacions anteriors, que he comunicat anualment a aquesta revista, ja es manifestava una certa periodicitat de les taques solars; i la probabilitat que sigui realment així es confirma amb els resultats d'enguany. Per bé que en el volum 15 ja vaig presentar el nombre total de grups per als anys 1826-1837, repetiré aquí una sèrie completa de totes les meves observacions de taques solars, en què exposo no només el nombre de grups, sinó també el nombre de dies d'observació i, a més, els dies en què no hi havia taques al Sol. El nombre de grups, per si sol, no aporta prou precisió per a la determinació d'un període, ja que estic convençut que quan hi ha moltes taques solars el seu nombre s'avaluarà un xic per sota, i quan n'hi ha poques, un xic per sobre; en el primer cas sovint es compten diversos grups com si fossin un, mentre que en el segon és fàcil dividir un grup format per dues parts en dos grups independents. Aquesta és la meva excusa per repetir el catàleg anterior, de la següent manera:

Any	Nombre de grups	Dies sense taques	Dies d'observació
1826	118	22	277
1827	161	2	273
1828	225	0	282
1829	199	0	244
1830	190	1	217
1831	149	3	239
1832	84	49	270
1833	33	139	267
1834	51	120	273
1835	173	18	244
1836	272	0	200
1837	33	0	168
1838	282	0	202

1839	162	0	205
1840	152	3	263
1841	102	15	283
1842	68	64	307
1843	34	149	324
(1844)	(52)	(111)	(320)

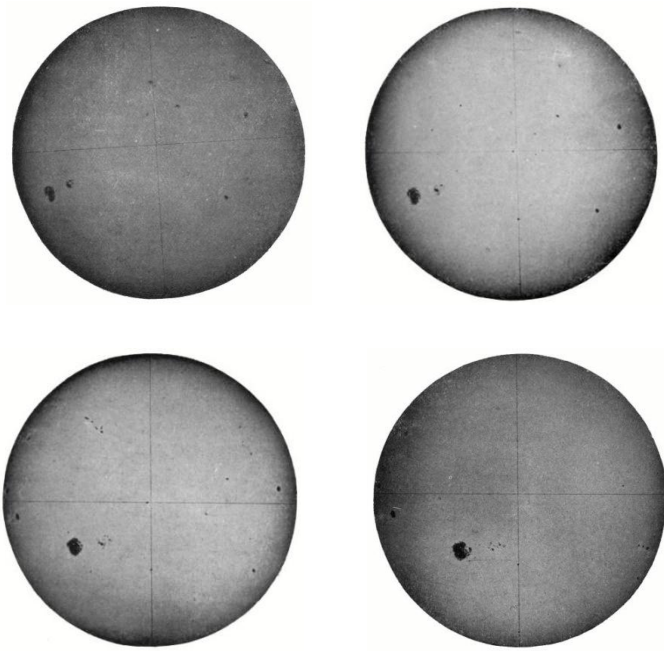
Si ara comparem conjuntament el nombre de grups i els dies sense taques, trobem que les taques solars tenen un període d'uns deu anys, més o menys, i que durant uns cinc anys són tan nombroses que en el transcurs d'aquest període hi ha ben pocs dies sense taques, si és que n'hi arriba a haver. La continuació [de les observacions] mostrarà si aquest període és constant, si l'activitat mínima del Sol en la producció de taques dura un o dos anys i si aquesta activitat augmenta més ràpidament que no pas disminueix.

Aquest breu anunci és tot el que diu el descobridor sobre el tema; i potser no és sorprenent que atragués ben poca atenció, sobretot quan recordem que es referia a una qüestió que el món astronòmic havia decidit bandejar com a poc fructífera i poc digna d'atenció. L'any següent, en presentar el seu treball habitual sobre les taques per a 1844, recorda el tema en la frase següent: «La periodicitat d'uns deu anys de les taques, exposada en el meu resum publicat l'any passat, queda confirmada per les observacions d'aquest any». A la taula anterior he afegit entre parèntesis els valors de 1844 que va donar posteriorment, i es pot veure fins a quin punt podrien haver estat predits.

Malgrat tot, el tema va captar poc l'atenció. Passant els fulls de la revista a l'atzar, em vaig trobar amb l'informe anual de l'Astrònom Reial d'Anglaterra, publicat en tota la seva extensió, però no s'hi fa cap referència a

aquest descobriment, que va obrir tota una línia de treball ara ben representada en el programa anual de l'Observatori Reial de Greenwich. El senyor Johnson comenta que l'única persona que l'havia assumit va ser Julius Schmidt, que llavors residia prop d'Hamburg. Però Schwabe va continuar acumulant fets amb paciència, i el 1851 el gran Von Humboldt, en el tercer volum del seu *Cosmos*, va fer esment del descobriment i, en conseqüència, va passar al coneixement general per primera vegada. Com veurem, no hi ha gaires fets d'interès general relacionats amb el descobriment com a tal més enllà del coratge amb què es va iniciar la feina en una direcció d'allò menys prometedora i de l'escassa atenció que va rebre després de donar-se a conèixer. Hem d'admetre que l'interès se centra principalment en les fantàstiques conseqüències que se'n deriven; ara reconeixem que hi ha molts altres fenòmens que estan lligats a aquesta aparició i desaparició de les taques solars. Aquesta relació podria semblar-nos raonable en fenòmens clarament vinculats amb el propi Sol, però un descobriment inesperat i sorprenent va ser que els fenòmens magnètics a la Terra també tenien una relació clara amb els canvis en les taques solars, i potser no és d'estranyar que quan ens vam adonar d'aquesta connexió entre els fenòmens solars i els terrestres, es comencessin a fer intents d'ampliar-la a àmbits en què encara no tenim gens clar que hi estiguin relacionats. S'ha parlat del temps atmosfèric i de les fams a la Índia que es produeixen en cicles idèntics al cicle de les taques solars; i és evident que seria importantíssim per a nosaltres que aquesta relació fos certa, perquè d'aquesta manera podríem predir anys de possible escassetat i fam i protegir-nos-en; o si poguéssim predir, encara que fos parcialment, el tipus de temps que es produirà d'aquí uns anys, podríem prendre mesures agrícoles en conseqüència. La importància de la relació, si poguéssim arribar a establir-la, és sens

dubte la raó que ha dut els investigadors a realçar indegudament proves que no suportarien un escrutini exhaustiu. De moment, hem de dir amb claredat que no s'ha presentat cap prova que permeti prestar una atenció seriosa a la influència de les taques solars en el temps. Ara bé, deixant tot això de banda, les seqüeles del descobriment de Schwabe tenen una importància de primer ordre.



IL·LUSTRACIÓ 10. FOTOGRAFIES DE LES TAQUES SOLARS PRESES A L'OBSERVATORI REIAL DE GREENWICH ELS DIES (D'ESQUERRA A DRETA I DE DALT A BAIX) 18, 19, 20 I 21 DE FEBRER DE 1894.

Repassem els fets per ordre. La majoria de nosaltres, tot i que potser no hem tingut l'oportunitat de veure una taca solar real a través d'un telescopi, sí que n'hem vist dibuixos o fotografies. Hi ha una il·lustració famosa feta per James Nasmyth (cèlebre pel martell de vapor) el

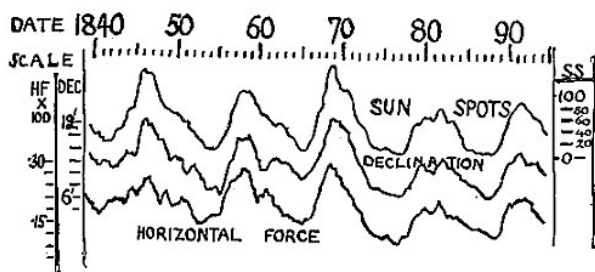
juliol de 1864 que té un interès particular, perquè en aquella època Nasmyth estava convençut —i va convèncer molts altres— que la superfície solar estava formada per una munió diversa de cossos sòlids en forma de fulles de salze, o grans d'arròs, acumulats gairebé a l'atzar, i va fer el dibuix per il·lustrar aquesta idea. Comparant una fotografia moderna amb aquella imatge, podem veure que hi ha alguna cosa a favor de la visió de Nasmyth, que va rebre força atenció en aquell moment i va provocar una polèmica una xic acalorada. Des de la invenció de l'espectroscopi, però, és una hipòtesi que ha quedat força obsoleta i és molt probable que no correspongui de cap manera a la realitat. Però en lloc de mirar imatges ampliades per mostrar l'estructura detallada de les taques solars i del seu voltant, fem millor un cop d'ull a una sèrie d'imatges completes del Sol obtingudes en dies successius a Greenwich, en les quals les taques són per força molt més petites, però que en mostren el comportament dia a dia (vegeu la il·lustració 10). A partir de la data indicada en cadascuna, es pot veure que travesen a poc a poc el disc solar (fet descobert per primera vegada per Galileu l'any 1610) i es demostra que el Sol gira sobre un eix una vegada cada vint-i-cinc dies, aproximadament. Hi ha molts fets interessants associats a aquesta rotació; en especial, que el Sol no gira com un cos sòlid, ja que les parts properes a l'equador solar flueixen més ràpid que les més properes als pols, però és un tema en què no podem aturar-nos en aquest moment. El que ens interessa ara és la història de les taques, no d'un dia per l'altre, sinó d'un any al següent, tal com ha fet Schwabe per a una sèrie d'anys.

Quan es va establir amb claredat que hi havia una periodicitat, Rudolf Wolf de Zuric va recollir els fets disponibles sobre les taques solars des de la data més antiga possible i va representar aquesta història amb una sèrie

de números que encara s'anomenen *nombres de Wolf*. A partir del diagrama, es pot veure un augment i una disminució evidents durant onze anys (no deu anys, com pensava Schwabe, sinó una mica més d'onze). El treball realitzat a l'Observatori Reial de Greenwich presenta els fets d'una manera més completa. Forma part del treball diari habitual d'aquest observatori fotografiar el Sol almenys dues vegades. Molts dies estan ennuvolats o són massa humits, de manera que no es poden obtenir fotografies; però n'hi ha d'obtingudes de la mateixa manera a l'Índia o a Maurici, on el temps és més favorable, i amb aquestes s'omplen tan bé els buits que queden molt pocs dies de l'any sense cap fotografia de la superfície del Sol, si és que n'arriba a quedar algun. En aquestes fotografies, es mesuren acuradament sota un microscopi les posicions i les àrees de les taques, i els resultats es publiquen any rere any després de sotmetre's a certs càlculs necessaris. Per tenir una estimació més precisa de l'abundància de taques del Sol és clarament millor mesurar l'àrea total ocupada per totes les taques que no pas comptar-ne el nombre, ja que en aquest últim cas una taca gran i una de petita compten per igual. En conseqüència, els registres de Greenwich segurament ens donaran una millor idea de la periodicitat que els nombres de Wolf.

En aquest mateix observatori també es fan observacions magnètiques contínuament. Quan es penja un imant lliurement estem acostumats a dir que apuntarà cap al pol nord; però això només és cert d'una manera molt aproximada. En primer lloc, el lector probablement ja sap que hi ha una desviació considerable respecte al nord a causa del fet que el pol nord magnètic no és el mateix que el pol nord geogràfic; però això de moment no ens ha d'amoïnar. El que sí que ens inquieta és que si pengem l'agulla i es deixa el temps suficient per

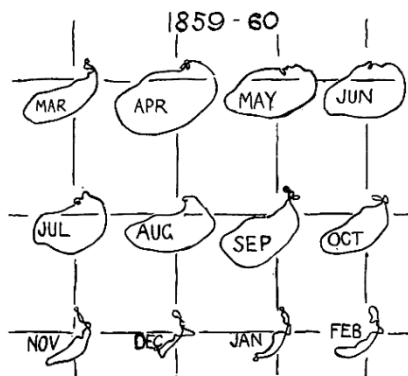
arribar a romandre en repòs, el cert és que llavors no roman sempre en repòs, sinó que executa lentes i petites oscil·lacions cap enrere i endavant, amunt i avall al llarg del dia; l'endemà repeteix aquestes oscil·lacions d'un mode gairebé idèntic, però alhora va canviant gradualment el comportament de tal manera que l'oscil·lació és diferent a l'estiu i a l'hivern. Es tracta d'uns canvis molt petits, i passarien desapercebuts a simple vista; però quan es miren amb atenció amb un telescopi, o encara millor, quan es fotografien amb algun aparell que també els amplifiqui, són visibles amb facilitat. Quan es rastreja la història d'aquests canvis de seguida es veu que hi ha una connexió manifesta amb el cicle dels canvis de les taques solars; per exemple, si mesurem el rang d'oscil·lació cap enrere i cap endavant durant el dia i calculem la mitjana per a tots els dies de l'any, i després comparem el resultat amb el nombre mitjà de taques solars, veurem que les mitjanes augmenten i disminueixen conjuntament. De la mateixa manera, podem considerar l'oscil·lació amunt i avall, trobar-ne el valor mitjà al llarg de l'any i, de nou, veurem que es correspon molt estretament amb el nombre mitjà de taques solars.



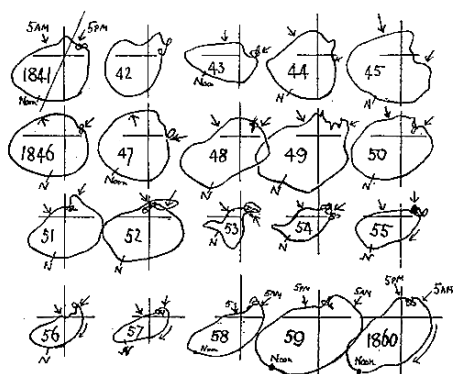
IL·LUSTRACIÓ 11. NOMBRE DE TAQUES SOLARS COMPARAT AMB EL RANG DIARI DE DECLINACIÓ MAGNÈTICA I AMB EL RANG DIARI DE FORÇA HORIZTONTAL, TAL COM S'HA OBSERVAT A GREENWICH

Però potser la manera més sorprenent de mostrar la relació és combinar diferents variacions de l'agulla en una sola imatge. Primer hem de remarcar que hi ha una altra variació important de l'acció magnètica terrestre que encara no hem tingut en compte. Hem esmentat l'oscil·lació de l'agulla endavant i endarrere i cap amunt i cap avall, accions que corresponen a canvis en la *direcció* de la força d'atracció sobre l'agulla. Però també hi pot haver canvis en la *intensitat* d'aquesta acció, ja que l'atracció pot ser una mica més forta o una mica més feble que abans. Aquestes variacions no estan representades per cap moviment real de l'agulla, tot i que es poden mesurar mitjançant experiments adequats. Podem imaginar-les representades per un moviment de l'extrem de l'agulla si suposem que és d'un material elàstic, de manera que s'allargui quan la força és més gran i es contraïgui una mica quan la força és menor. Si uníssim un llapis a l'extrem d'aquesta mena d'agulla elàstica de manera que poguéssim fer marques en un full de paper, i si per un moment exclouem els moviments amunt i avall, el llapis descriuria una corba sobre el paper al llarg del dia, a mesura que l'extrem de l'agulla girés d'un costat a l'altre amb el canvi de direcció i també amb el canvi d'intensitat. Quan es representen aquestes corbes per a un dia de cada mes de l'any, podem apreciar diferències sorprenents entre les seves formes. Durant els mesos d'estiu són, en general, força grans i àmplies, i durant els mesos d'hivern són petites i limitades. Aquest canvi de forma s'aprecia amb una ullada a la il·lustració 12, que presenta les corbes al llarg de tot un any. Si ara, en comptes de traçar una corba d'aquesta mena per a cada mes, en tracem una sola de mitjana per a tot l'any i després ho fem per a tota una sèrie d'anys (il·lustració 13), veiem que les corbes canvien d'un any per l'altre d'una manera molt semblant a com canvien d'un mes a un altre durant un any concret, i la llei del canvi és tal que en els anys en

què hi ha moltes taques solars obtenim una gran corba oberta semblant a les que es troben a l'estiu, mentre que durant els anys en què hi ha poques taques solars obtenim petites corbes tancades molt semblants a les de l'hivern.



IL·LUSTRACIÓ 1212. CORBES MAGNÈTIQUES A GREENWICH, 1859-1860



IL·LUSTRACIÓ 13. CORBES MAGNÈTIQUES A GREENWICH PER A L'ABRIL, 1841-1860

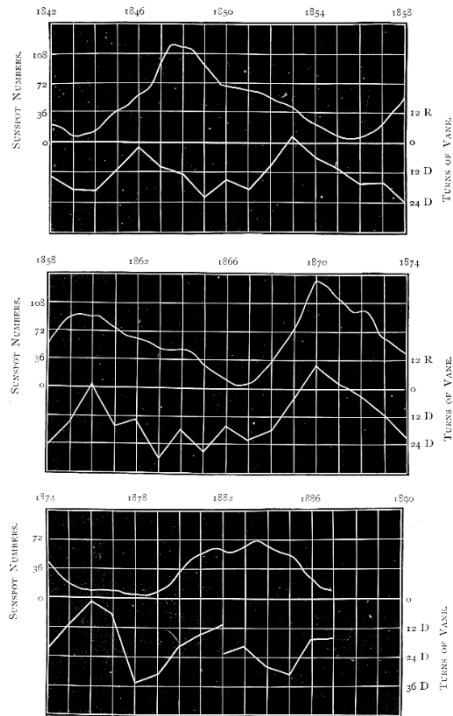
Per tant, podem plantejar dues conclusions definitives: en primer lloc, que els canvis en la força es corresponen amb els canvis en les taques solars; i en segon

lloc, que els moments de màxims en les taques solars corresponen a l'estiu, i els de mínims, a l'hivern. Arribats a aquest punt, he d'admetre que això és el màxim que sabem actualment pel que fa a aquesta relació. No més tenim idees molt vagues sobre perquè l'agulla es comporta així; s'han plantejat hipòtesis de diferents tipus, és clar, però encara no es pot dir que cap tingui gaires proves a favor. Per al nostre propòsit actual, però, n'hi ha prou amb assenyalar que aquesta connexió és ben real i que, en conseqüència, el període de les taques solars de Schwabe pot tenir una importància molt clara pel que fa als canvis al nostre planeta.

De totes maneres, vull repetir aquí l'avertència que ja he expressat en contra de generalitzar sense proves suficients aquesta idea de la influència de les taques solars en altres fenòmens, com ara el temps atmosfèric. Potser ens resultarà més útil un exemple senzill que no pas un argument elaborat a l'hora de mostrar tant la manera com s'han comès certs errors com la manera en què es pot veure que són errors. A l'Observatori Reial de Greenwich hi ha un instrument per indicar la direcció del vent; la part essencial és un penell normal, els moviments de la qual s'enregistren automàticament en un full de paper. A mesura que el vent canvia, diguem, de nord a est, el llapis es mou en una direcció, i quan vira de nou cap al nord, el llapis es mou en sentit invers. Però de vegades el vent es desplaça contínuament de nord a est, sud, oest i de nou cap al nord, i el penell fa, en conseqüència, una revolució completa; i això fa que el llapis es mogui tota l'estona en una direcció, fins que quan el penell ha tornat al nord, el llapis està lluny de la posició convenient per al registre; en aquestes ocasions sovint cal fer-ho a mà. De la mateixa manera, el penell pot girar en la direcció oposada, enviant el llapis cap a l'altra banda del registre, de manera poc convenient. Durant

l'any és fàcil comptar el nombre de canvis complets de vent en qualsevol de les dues direccions; restant un nombre de l'altre, obtenim l'excés de revolucions completes del penell en una direcció respecte a l'altra. Si any rere any es tabulen aquests nombres, més aviat arbitraris, o es representen en forma de diagrama, obtenim una corba que es pot comparar amb la corba de les taques solars, i podem veure que durant un període de no menys de setze anys —des de 1858 fins a 1874— hi va haver una correspondència notable entre els dos diagrames. A partir d'aquesta evidència, exclusivament, es podria inferir amb raó que les taques solars han tingut algun efecte peculiar sobre el temps atmosfèric a Greenwich, que es pot seguir d'aquesta manera tan notable en els canvis del vent. Però la manera particular en què es registren aquests canvis és tan arbitrària que trobaríem ben sorprenent que hi hagués una connexió real entre els dos fenòmens; per sort, disposàvem d'altres registres anteriors a aquests anys i també de posteriors, que ens van permetre comprovar la connexió més a fons i, tal com podríem esperar, va quedar demostrat que no hi havia cap mena de relació. En observar els diagrames (il·lustració 14) dels períodes anteriors i posteriors, no es pot apreciar cap similitud entre la corba de les taques solars i la corba del vent; deduïm així que la similitud durant el període esmentat va ser totalment accidental. Això demostra que hem de ser prudents a l'hora d'acceptar com a real i fonamentada una connexió entre dos fenòmens a partir d'una quantitat limitada de proves, perquè pot ser purament casual. En particular, podem assenyalar que és desitjable tenir dades repetides durant diversos períodes complets en lloc d'un de sol. És possible reduir a lleis matemàtiques les regles de prudència en aquesta matèria; i el professor Schuster de Manchester i altres ja han fet molt treball útil en aquesta direcció, tot i que molts investigadors naturalment desitjosos de

descobrir connexions insospitades entre fenòmens diversos encara no hi han prestat prou atenció.²



IL·LUSTRACIÓ 13. CORBA DE TAQUES SOLARS SUAVITZADA COMPARADA AMB EL NOMBRE DE GIRS DE CADA ANY DE L'ANEMÒMETRE OSLER DE L'OBSERVATORI REIAL DE GREENWICH (EXCÉS DE GIRS DIRECTES, D, SOBRE ELS RETRÒGRADS O A L'INREVÉS, R. EN ELS TRES CASOS, LA CORBA SUPERIOR ÉS LA DE TAQUES SOLARS

Després d'aquest exemple de la necessitat de precaució, podem tornar a fixar-nos en fenòmens dels quals podem dir amb certesa que varien de manera consonant amb les taques solars. A grans trets, tota la història del Sol sembla estar-hi lligada. A més d'aquestes zones fosques que anomenem *taques* (que, per cert, no són realment fosques, sinó menys brillants que la part circumdant), hi ha clapes més brillants que la resta, que han rebut el nom de *fàcules*. Amb telescopis normals, ja

siguin visuals o fotogràfics, en general només es poden detectar a prop de la vora del disc solar; però fins i tot amb aquesta limitació es pot establir fàcilment que les fàcules varien en nombre i mida, d'any en any, de la mateixa manera que les taques, i aquesta conclusió queda confirmada àmpliament gràcies a l'elegant mètode d'observació de les fàcules amb el nou instrument dissenyat pel professor Hale de l'Observatori Yerkes. Amb aquest instrument, anomenat *espectroheliògraf*, es poden fotografiar les fàcules arreu del disc solar i, d'aquesta manera, obtenir-ne una història molt més completa. La conclusió és que no hi ha cap dubte de que la seva variació es correspon amb la de les taques. Tampoc hi ha cap dubte sobre variacions similars en altres parts del Sol que no podem veure de cap manera amb telescopis normals, excepte en les ocasions en què el Sol està totalment eclipsat. A grans trets, aquestes porcions exteriors del Sol consisteixen en dos tipus: la *cromosfera* i la *corona*; la primera sembla una capa més del Sol, irregular i propera, la segona és més aviat un halo nacrat de llum que s'estén a molts diàmetres del disc solar, però amb una forma força irregular.

Actualment, la cromosfera, de la qual surten les protuberàncies o «flames vermelles», es pot observar sense cap eclipsi si fem servir el superb instrument abans esmentat, l'espectroheliògraf; el professor Hale ha aconseguit fotografiar taques, fàcules i protuberàncies en una mateixa placa. Però tot i que molts ho han intentat (i potser ha estat el professor Hale qui ho ha intentat amb més afany), encara ningú ha aconseguit obtenir alguna imatge o prova de l'existència de la corona excepte en ocasió d'un eclipsi solar total.

Ara bé, aquestes ocasions són molt poc habituals. Hi ha dos o tres eclipsis de Sol cada any, però acostumen a ser del tipus que es coneix com a *parcials*, quan la Lluna

s'interposa entre nosaltres i el Sol però només oculta una part de la seva llum i es veu un disc negre ben definit que cobreix una part més o menys extensa de la superfície del Sol. La majoria de nosaltres hem tingut l'oportunitat de veure un eclipsi parcial, probablement més d'una vegada; però pocs hem vist un eclipsi total. Perquè es produeixi, la Lluna ha de situar-se amb gran exactitud en una posició central entre nosaltres i el Sol; i la zona on aquesta condició es compleix al cent per cent només cobreix uns quants centenars de milles de la superfície terrestre en qualsevol moment. A mesura que la Terra gira i la Lluna es desplaça en la seva òrbita, aquesta zona des de la qual el Sol es veu totalment eclipsat viatja per la superfície terrestre, traçant una pista d'uns milers de milles de llarg, però de no més de 200 milles [320 km] d'ample; per veure el Sol eclipsat del tot, fins i tot en les rares ocasions en què és possible (perquè, com ja hem comentat, en la majoria dels casos l'eclipsi és només parcial), cal que estiguem situats en alguna estació dins d'aquest estret cinturó, que sovint passa de manera temptadora per sobre de l'oceà o per algunes regions de difícil accés per a l'home civilitzat. A més, si viatgem a aquests llocs ideals, el temps durant el qual el Sol està totalment eclipsat no supera els pocs minuts i, per tant, les observacions es fan en condicions força precipitades i difícils. En aquests dies moderns de la fotografia resulta més fàcil que abans aprofitar aquests valuosos moments, quan només podíem confiar en els ulls i la memòria d'un observador apassionat. Potser no és d'estranyar que algunes de les dades recollides en aquestes ocasions anteriors fossin contradictòries; però avui dia els observadors, en general, s'esforcen en primer lloc a muntar amb precisió en la posició adequada aparells fotogràfics de diferents tipus, on cada element està dissenyat especialment per resoldre algun problema particular de la manera més adient; en segon lloc, assagen amb

molta cura el programa exacte d'exposicions fotogràfiques necessàries durant els minuts crítics; finalment, s'asseguren que aquestes fotografies es facin amb els mínims errors possibles quan arriben els moments crítics. Fins i tot aleshores és molt probable que tots els seus esforços no hagin servit per res a causa d'algun núvol passatger; i la decepció és d'allò més amarga quan, després de viatjar milers de quilòmetres i passar mesos preparant-se, tota l'empresa acaba en no-res a causa dels capritxos de la meteorologia.

Per tant, no costa gaire veure que el nostre coneixement de la corona, la part del Sol que encara només podem estudiar quan es produeix un eclipsi solar total, avança però lentament. Durant els darrers vint anys hi ha hagut gairebé mitja hora disponible per a aquesta investigació, tot i que es pot dir, amb raó, que se n'ha fet el millor ús possible. I, el que és més important per al nostre propòsit immediat, s'ha determinat de mica en mica, comparant les fotografies d'un eclipsi amb les d'un altre, que la corona pateix diferents canvis de forma seguint el mateix període que regeix els canvis de les taques solars. Quan hi ha moltes taques solars, la corona s'estén en totes direccions des de la vora del disc solar; quan hi ha poques taques solars, la corona s'estén molt més en la direcció de l'equador del Sol, de manera que quan es produeix un mínim de taques solars la corona presenta l'aparença de dues ales enormes. Tot i que les proves es recullen necessàriament d'una manera incompleta, en aquest moment n'hi ha prou perquè aquesta relació ja no sigui una mera sospita i puguem afirmar-ho com una part ben establerta del nostre coneixement de l'entorn del Sol.

La corona solar es pot comparar amb algun animal esmunyedís que només podem veure si visitem alguna terra llunyana, i fins i tot ens podem considerar

afortunats d'albirar-lo. Es podria pensar que els hàbits d'un animal com aquest no haurien de tenir una gran importància en la nostra vida quotidiana, però, lluny d'això, pel que fa a la corona és ben possible que el coneixement dels seus canvis pugui ser d'interès vital per a nosaltres. Ja he dit que, fins ara, no tenim cap explicació satisfactòria de la raó per la qual els canvis en les taques solars semblen influir en els canvis dels nostres imants a la Terra; però una de les teories proposades com a explicació, i que en cap cas és la menys plausible, és que aquesta influència pot provenir, no de les taques solars en sí mateixes, sinó d'algun altre fenomen solar que varia en simpatia amb elles i, en particular, que pot provenir de la corona. Es pot veure que aquestes «ales» que s'estenen quan es produeix el mínim de taques solars arriben a una distància considerable, i no hi ha cap raó per suposar que cessen realment en el punt en què es tornen massa tènues perquè puguem detectar-les; poden estendre's fins a la mateixa Terra i fins i tot més enllà; i poden ser de tal naturalesa que influeixin en els nostres imants. Quan la Terra gira al voltant del Sol, en algun moment pot submergir-se en elles, per després sortir-ne i passar-hi per sobre o per sota; com que les «ales» s'allargassen durant els mínims de taques solars i semblen encongir-se durant els màxims, els nostres imants poden respondre-hi mitjançant vibracions simpàtiques tot i que molt petites. Així doncs, és molt possible que la corona influeixi directament en els canvis magnètics a la Terra.

En qualsevol cas, es pot plantejar que aquests canvis són tan lleus que només tenen interès científic. Això pot ser cert avui, però qui serà prou agosarat per dir que també ho serà demà? Si estem pensant només en la utilitat pràctica, podem recordar que dues grans forces de la natura que hem lligat al servei de l'home, el vapor i

l'electricitat, van mostrar originàriament unes manifestacions d'allò més febles, que fàcilment podrien haver estat menyspreades com a mancades de valor; en canvi, amb una atenció acurada a les condicions adequades s'han obtingut resultats d'aquestes forces d'una importància pràctica aclaparadora, forces que podrien haver estat menystingudes durant molts segles com a massa trivials per merèixer la pena. Recentment, el món s'ha sorprès pel descobriment de nous elements, com el radi, l'existència dels quals només es va detectar amb un triomf de l'agudesia científica en la investigació, i que, tanmateix, prometen generar una influència en les nostres vides que podria desbordar en importància tot el que ha passat abans. De la mateixa manera, pot ser que aquests canvis magnètics, quan s'interpretin o desenvolupin correctament, puguin tenir una importància futura del tot desproporcionada a l'atenció que fins ara han rebut. Per tant, encara que tal volta ja han quedat prou clares les immenses conseqüències que deriven del notable descobriment de Schwabe sobre la periodicitat en les taques solars, és possible que només estiguem entrellucant-ne el valor real.

De quines causes més menudes sorgeixen fets transcendents! Ben poc es podia haver imaginat Schwabe, quan va començar a apuntar el seu modest telescopi cap al Sol i a comptar el nombre de taques —aquelles taques menyspreades que altres li havien assegurat que no tenien cap interès, que no estaven sotmeses a lleis i que l'estudi de les quals no duria a res profitós— que estava fent el primer pas en la creació de la gran ciència de la física solar, una ciència que, si se'm permet dir-ho, ocupa actualment bona part de l'interès no només del gran Observatori Yerkes, sinó també de molts altres observatoris escampats arreu del món.

6

La variació de latitud

Si volem classificar els descobriments per ordre de mèrit, sens dubte hem d'assignar un lloc privilegiat als que es fan quan se n'ha desaconsellat fer cap recerca sobre la qüestió. En l'últim capítol hem vist que Schwabe va iniciar el seu treball en condicions d'aquesta mena, ja que l'opinió d'astrònoms experimentats que havien considerat el tema era que observar les taques solars no tenia cap interès. En aquest capítol em proposo tractar un descobriment fet sota la mateixa i unànime opinió desfavorable del món astronòmic, per part d'un aficionat nord-americà, el senyor S. C. Chandler de Cambridge (Massachusetts). El meu propòsit és deixar que sigui ell mateix qui expliqui els passos d'aquest descobriment, a partir de fragments de la magnífica sèrie d'articles que va publicar a l'*Astronomical Journal* sobre el tema durant els anys 1891-1894. De totes maneres, per a la comprensió d'aquests extractes pot ajudar un breu resum dels fets. En primer lloc, explicaré què s'entén per *variació de latitud*.¹

Tots estem familiaritzats amb l'existència d'una determinada estrella al cel anomenada *estrella polar*, i sabem que en qualsevol lloc concret es veu sempre al nord a una altura determinada per sobre de l'horitzó, que és igual a la latitud del lloc. Quan es mira amb atenció amb

un telescopi, es veu que no és absolutament estacionària, sinó que descriu un petit cercle al cel dia a dia, o més aviat, nit a nit. Aquests fets senzills estan lligats amb el fenomen de la rotació de la Terra d'aquesta manera: l'eix al voltant del qual gira el nostre planeta apunta al centre d'aquest petit cercle i, per tant, qualsevol canvi en la posició de l'eix es pot determinar observant aquests moviments de l'estrella polar. Aquests canvis poden ser de dos tipus: en primer lloc, podem trobar que la mida del cercle augmenta o disminueix, i això voldria dir que l'eix terrestre apunta més lluny o més a prop de l'estrella polar, és a dir, que assenyalava en una direcció diferent en l'espai. Això passa de debò (i se sap des de fa milers d'anys) a causa del fenomen anomenat *precessió*; el cercle descrit per la nostra estrella polar s'està fent una mica més petit, però finalment augmentarà de mida i, després de milers d'anys, es farà tan gran que l'estrella polar perdrà completament el seu caràcter de guia constant cap al nord.

En segon lloc (i això és el que ens interessa més en aquest moment), el centre del cercle pot alterar la seva posició i deixar d'estar a la mateixa alçada sobre l'horitzó d'un lloc determinat. Això voldria dir que l'eix de la Terra es desplaça dins de la mateixa Terra, és a dir, que el pol nord que van a buscar els nostres exploradors no roman al mateix lloc. Que la posició no canvia de manera apreciable és una cosa que sabem per experiència; els nostres climes, per exemple, patirien considerablement si hi hagués grans canvis. Ara bé, els astrònoms s'ocupen de canvis minúsculs incapaços de tenir cap efecte apreciable sobre el clima, i fa temps que se'ls demana si, deixant de banda els grans moviments, hi ha hagut variacions minúscules en la posició del pol nord. Fa vint anys la resposta a aquesta pregunta hauria estat clarament negativa; es considerava ben establert que el

pol nord no es movia gens dins dels límits de les nostres observacions astronòmiques més refinades. La teoria acceptada semblava indicar que, fos com fos, qualsevol moviment s'hauria de repetir després d'un període de deu mesos, i una discussió acurada de les observacions va demostrar que no hi havia oscil·lacions amb aquest període. Ara sabem que la teoria era errònia, o, més aviat, que es basava en una suposició errònia; les dades, quan s'examinen correctament, mostren amb claredat un moviment del pol nord, no molt gran, perquè tots els seus moviments tenen lloc dins de l'àrea que ocuparia una habitació de mida modesta, però així i tot un moviment fàcilment mesurable per mitjà d'observacions astronòmiques. El senyor Chandler va ser el primer a assenyalar la llei que segueixen aquests moviments, i és molt possible que també fos el primer a sospitar-los.

Amb aquestes poques paraules deixaré que sigui el senyor Chandler qui expliqui la història. El seu primer article va aparèixer a l'*Astronomical Journal* el novembre de 1891, i el va titular, amb valentia, «Sobre la variació de la latitud»; i dic amb valentia perquè en aquell moment es creia que la latitud no variava, i ell mateix només estava en possessió d'una petita part dels fets. Aquests es van anar desgranant a mesura que ell avançava en el seu treball, però tenia la impressió que es podia aferrar amb fermesa a aquest fil i es va enfrontar al món amb plena confiança en aquesta idea. Comença així:

En la determinació de la latitud de Cambridge (Massachusetts) amb l'almucantarat, fa uns sis anys i mig, es va demostrar que els valors observats, ordenats segons les nits d'observació, mostraven una progressió clara i peculiar al llarg de la sèrie: els valors més antics eren petits i els posteriors, grans; l'interval des de novembre de 1884 fins a abril de 1885 era d'unes quatre

desenes de segon. No hi havia cap causa instrumental o personal coneguda o imaginable per a aquest fenomen, i l'única alternativa semblava dur a la conclusió que la latitud havia canviat de debò. En aquell moment em va semblar una inferència massa atrevida per deixar-ne constància i, per tant, vaig deixar que els resultats parlessin per si mateixos. La continuació posterior de la sèrie d'observacions fins a final de juny de 1885 va donar un màxim al voltant del primer de maig, mentre que la discussió de les observacions anteriors de maig a novembre de 1884 va donar un mínim al voltant del primer de setembre, cosa que indicava una amplitud de set desenes de segon amb un semiperíode d'uns set mesos.

A continuació, el senyor Chandler aporta algunes xifres en suport d'aquestes afirmacions, i les presenta amb la claredat que és una característica ben marcada de tota la sèrie d'articles. Per acabar, conclou aquest article introductori de la següent manera:

Sembla, doncs, que el canvi aparent en la latitud de Cambridge queda verificat amb aquesta discussió de material addicional. La presumpció que és real, a partir només d'aquesta determinació, justificaria una investigació ulterior.

Curiosament, el doctor Küstner, en la seva determinació de l'aberració a partir d'una sèrie d'observacions coincidents en el temps amb les de l'almucantar, es va trobar amb anomalies semblants, i els seus resultats, publicats el 1888, proporcionen dades equivalents a les que jo havia assenyalat el 1885. La comprovació que han permès les recents determinacions paral·leles a Berlín, Praga, Potsdam i Púlkovo, que mostren un acord d'allò més satisfactori pel que fa al caràcter del canvi, en amplitud i periodicitat, amb els resultats de l'almucantar, m'han dut a investigar

més aquest tema. Sembla que determinen la naturalesa de la llei d'aquests canvis, i procediré a presentar-los en l'ordre adequat.

El segon article va aparèixer el 23 de novembre i comença amb la següent afirmació relativa als seus resultats generals en aquell moment:

Abans d'entrar en els detalls de les investigacions que hem presentat en el número anterior, cal dir que el resultat general d'una discussió preliminar és mostrar una revolució del pol terrestre en un període de 427 dies, d'oest a est, amb un radi de trenta peus [9 m] mesurat a la superfície terrestre. Suposant provisionalment, a efectes de l'argument, que es tracta d'un moviment del pol nord de l'eix principal d'inèrcia al voltant del de l'eix de rotació, la direcció del primer respecte al segon apuntava cap al meridià de Greenwich a principis de l'any 1890. Això, amb el període de 427 dies, servirà per fixar aproximadament les posicions relatives d'aquests eixos en qualsevol altre instant de temps per a qualsevol meridià. En aquesta fase de la investigació no podem ser més precisos, ja que hi ha fets que semblen mostrar que la rotació no és perfectament uniforme, sinó que està sotmesa a canvis seculars, i tal vegada a irregularitats en intervals de temps breus.

És gairebé impossible, ara que ja estem familiaritzats amb les idees exposades en aquest paràgraf, comprendre, o fins i tot recordar plenament, la impressió que van produir en aquell moment; l'excitació provocada en alguns sectors i el ridícul generat en d'altres. Són unes idees que estaven en total contradicció amb les opinions acceptades, i es creia que aquestes opinions no només estaven ben fonamentades teòricament, sinó que

recolzaven en un examen exhaustiu de les proves observacionals. Es creia que l'únic període en què podia girar el pol terrestre era de deu mesos; i ara el senyor Chandler afirmava, aparentment sense adonar-se que contradia les lleis de la dinàmica, que girava en catorze mesos! S'havia trobat que el radi de la trajectòria era inapreciable a partir d'una anàlisi acurada de les observacions, i ara Chandler asseverava un radi mesurable de trenta peus [9 m]. Per acabar, tenia la gosadia d'anunciar un període variable, que no corresponia a res que sorgís de les possibilitats matemàtiques. Aquest va ser el punt de discussió més problemàtic. Fins i tot després que el professor Newcomb ens hagués mostrat que es podien acceptar els altres dos, no va poder donar llum verda al tercer, com veurem més endavant; i el senyor Chandler va haver de daurar-lo una mica abans que es pogués acceptar.

Però ens estem avançant als fets, i la nostra intenció és seguir amb paciència les proves aportades en suport de les afirmacions anteriors, presentades amb tanta confiança davant d'un món totalment incrèdul. El senyor Chandler examina primer les observacions del doctor Küstner de Berlín, esmentades al final del seu darrer article, i mostra com de bé s'ajusten a l'existència d'una variació en la latitud de 427 dies; i hi afegeix aquest nou fet: quan les latituds de Cambridge (Massachusetts) eren les més petites, les de Berlín eren les més grans, i a la inversa, com passaria clarament si el fenomen fos degut a un moviment del pol terrestre, perquè si s'apropa a Amèrica s'ha d'allunyar d'Europa. Després, analitza una llarga sèrie d'observacions fetes durant els anys 1864-1873 a Púlkovo, prop de Sant Petersburg, i troba de bell nou una confirmació satisfactòria de la seva llei de variació. Feia temps que se sabia que hi havia alguna cosa peculiar en aquestes observacions, però ningú no

podia determinar el què. La clau que va oferir el senyor Chandler encaixava exactament amb el pany i, d'aquesta manera, va eliminar les anomalies que fins llavors havien estat un enigma. Això, per si sol, va ser un gran triomf; però encara n'hi havia un altre, que podem deixar que descrigui el senyor Chandler amb les seves pròpies paraules:

El 1862 el professor Hubbard va començar una sèrie d'observacions d' α Lyrae a l'Observatori de Washington amb el principal instrument de trànsit vertical, amb la finalitat de determinar les constants d'aberració i nutació i la paral·laxi de l'estel. Els mètodes d'observació i reducció es van adaptar als utilitzats amb tant d'èxit per W. Struve. Després de la mort de Hubbard, la sèrie va ser continuada pels professors Newcomb, Hall i Harkness fins a principis de 1867. El professor Hall descriu aquestes observacions com les determinacions de declinació més precises mai fetes a l'Observatori Naval. L'error probable d'una declinació a partir d'un únic trànsit era de $\pm 0''.141$, i a jutjar pels errors accidentals, la sèrie hauria de donar resultats fiables. Tot i així, en reduir-los es va veure que hi havia alguna font anòmala d'error, que va donar lloc a valors anòmals de la constant d'aberració en els diferents anys, i una paral·laxi negativa en tots. Una verificació acurada dels procediments de reducció no va poder descobrir la causa del problema, i el professor Hall diu que els resultats han de quedar publicats tal qual i que és probable que es produís alguna pertorbació anual en les observacions o en l'instrument, que mai quedarà explicada, i que fa que totes les deduccions siguin incertes. El problema no es va poder relacionar amb l'equació personal, ja que les anomalies persistien quan es van analitzar per separat les observacions dels quatre observadors que hi van participar. Com

assenyala el professor Hall, el període teòric de deu mesos en la latitud tampoc proporciona cap explicació.

És evident, però, que si el període de 427 dies és real, el seu efecte hauria d'aparèixer amb claredat en mesures de declinació tan excel·lents com se suposava que eren aquestes i que, com espero demostrar satisfactòriament, ho són de debò. Si es té en compte aquesta variació, les observacions reivindicaran, inqüestionablement, les considerables expectatives que tenen al respecte els hàbils i consumats astrònoms que les van concebre i dur a terme.

En aquest relat general estic excloent xifres concretes i detalls tècnics, de manera que, malauradament, es perd bona part de la informació. Perdem la força de convicció que ens aporten les llargues fileres de xifres i perdem l'oportunitat d'admirar la sorprenent quantitat de treball realitzat i també l'elegància amb què un mestre manipula el material. Tot i així, em resulta molt temptador aportar una il·lustració molt petita dels resultats numèrics que apareixen gairebé al final del document. Després de discutir els resultats de Washington i complir àmpliament la promesa feta en el fragment anterior, el senyor Chandler els compara amb els resultats de Púlkovo i demostra que el pol de la Terra deu estar girant d'oest a est, i no d'est a oest. A continuació, escriu una fórmula senzilla que representa aquest moviment i la compara amb les observacions. Dona els resultats en segons d'arc, però per a aquells que no estiguin familiaritzats amb les mesures astronòmiques, podem convertir-los fàcilment a peus; a les taules següents, doncs, es mostren les distàncies del pol terrestre, en peus, respecte a la seva posició mitjana, tal com s'observen a Washington i a Púlkovo, i les mateixes distàncies calculades segons la fórmula que el senyor Chandler va

escriure en aquesta primera etapa. Els signes + i –, com d’habitud, indiquen direccions oposades de desplaçament:

WASHINGTON

Desviació del pol

Data	Observat (peus)	Fórmula (peus)
1864, 28 des	– 28	– 23
1865, 19 mar	– 1	– 12
1865, 1 jun	+15	+12
1865, 11 ago	+22	+23
1865, 9 oct	+11	+15
1865, 13 des	– 17	– 6

PÚLKOVO

Desviació del pol

Data	Observat (peus)	Fórmula (peus)
1865, 25 jul	– 18	– 12
1865, 9 set	+ 3	+ 3
1865, 22 nov	+26	+22
1866, 22 fb	+18	+13
1866, 4 jun	– 11	– 18
1866, 17 jul	– 16	– 23

Per descomptat, les xifres no són exactes en tots els casos, però en qualsevol cas mai estan errades per gaires peus; i es pot imaginar que és força difícil deduir, fins i tot a partir de les observacions més refinades, la posició del pol terrestre amb una precisió d’un peu. La dificultat és exactament la mateixa que mesurar la longitud d’un objecte a 300 milles de distància amb una precisió d’una polzada!

El senyor Chandler resumeix el seu segon article d’aquesta manera:

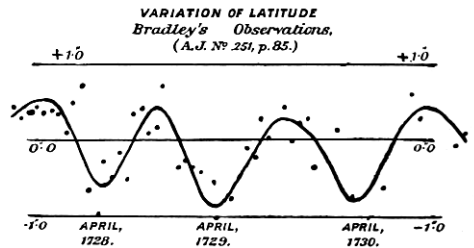
Trobem, doncs, que la comparació de les sèries simultànies de Púlkovo i Washington, 1863-1867, duu a la mateixa conclusió que la que ja s'havia extret de les sèries simultànies de Berlín i Cambridge, 1884-1885. Així, la direcció del moviment polar es pot considerar com establerta amb un alt grau de certesa.

En el següent article presentaré els resultats derivats de Peters, Struve i Bradley i també d'altres sèries d'observacions; després, tots els resultats s'aplicaran a la determinació dels millors valors numèrics de les constants implicades.

Els resultats, però, no es van presentar en aquest ordre. En l'article següent, que va aparèixer el 23 de desembre de 1891, el senyor Chandler comença, amb el treball de Bradley, la mateixa sèrie d'observacions a Kew i Wansted que van dur als descobriments de l'aberració i la nutació, i que vam considerar en el tercer capítol. Primer mostra que, malgrat l'evident precisió de les observacions, hi ha una certa discordança que resta sense explicar. La constant d'aberració que Bradley va descobrir a partir d'aquestes difereix en mig segon d'arc de les nostres millors determinacions modernes. S'ha intentat atribuir la discordança a canvis en l'instrument, però el senyor Chandler demostra que aquests canvis, deixant de banda el fet que Bradley gairebé segur que els hauria detectat, no poden encaixar amb els fets. Aquests, analitzats amb l'habilitat a què ens ha acostumat, són que hi ha un oscil·lació periòdica dels resultats amb un període aproximat d'un any, i no de catorze mesos, com se suposava abans, «un resultat tan curiós», admet, que «si no trobem més suport, ens pot dur a desconfiar del raonament previ, i ens tornarà a portar, després de tot, a la possibilitat que les observacions de Bradley estiguessin contaminades per algun tipus d'error instrumental anual. Nogensmenys, quan tingui l'oportunitat de

presentar les deduccions realitzades a partir de totes les altres sèries d'observacions fins al moment actual, semblarà ben clar que la inferència d'un augment del període de revolució polar queda establerta fermament per totes les dades coincidents». Tornarem ara a aquest curiós resultat, que podria haver consternat un investigador menys decidit que el senyor Chandler, però que, en canvi, va fer que renovés els seus esforços.

Els resultats obtinguts a partir de les observacions de Bradley es poden representar en forma de diagrama així:



IL·LUSTRACIÓ 14. VARIACIÓ DE LATITUD A PARTIR
DE LES OBSERVACIONS DE BRADLEY

Es pot veure que els màxims i els mínims cauen a la primavera i a la tardor, i aquest fet per sí sol semblava demostrar que l'efecte no podia ser degut a la temperatura, perquè en aquest cas hauríem d'esperar que fos més gran a l'hivern i a l'estiu. Tampoc podia ser degut a la paral·laxi de les estrelles per a la qual Bradley va començar la seva recerca, ja que les estrelles en diferents llocs del cel es veurien afectades de manera diferent, i no passava pas això. «Encara queda», va concloure el senyor Chandler després d'una discussió completa, «l'única conclusió natural d'un desplaçament real del zenit; en altres paraules, un canvi de latitud». I conclou l'article amb el següent fragment:

Fins ara, doncs, pel que fa als resultats d'aquesta incomparable sèrie d'observacions a Kew i Wansted considerades per si soles, el període de la rotació polar en aquella època sembla haver estat probablement una mica més d'un any, i sens dubte uns dos mesos més curt que en l'actualitat. El rang de la variació es trobava al voltant d'un segon d'arc, considerablement més gran que el que mostren les millors observacions modernes.

Abans de deixar aquestes observacions per les actuals, no puc evitar esmentar la profunda impressió que en provoca l'estudi, i la satisfacció que tots els astrònoms han de sentir en reconèixer que, a més dels seus primers fruits sobre els fenòmens de l'aberració i la nutació, ara també devem el nostre primer coneixement del moviment polar a aquesta mateixa obra immortal de Bradley. La seva excel·lència, que ha estat tan apreciada, havia quedat en part enfosquida fins al moment actual per la presència d'aquest fenomen insospitat. Quan es despulla dels seus efectes, l'extraordinària precisió d'aquesta obra se'ns presenta amb una llum més bella, i la nostra admiració s'eleva a fites més altes. Tornar-hi després de cent seixanta anys és com avançar cap a una era d'astronomia pràctica més refinada que la que exercim en aquests moments. I això condueix a un suggeriment digne d'una consideració pràctica aprofundida: podem tal vegada fer-ho millor en el futur estudi de la rotació polar que tornar a utilitzar el mètode de Bradley, sense posar en perill la seva elegant simplicitat i eficàcia mitjançant intents de millora, més enllà de proporcionar certs mitjans de control instrumental que sens dubte serien del gust de la seva ment sagaç.

En el següent article es comentaran les observacions posteriors de Bradley a Greenwich, els resultats de les quals no són tan diferents; i també les de Brinkley a Dublín, 1808-1813 i 1818-1822. Això tornarà a

treure a la llum un dels episodis més interessants de la història de l'astronomia: la disputa animada i gairebé agra entre Brinkley i Pond pel que fa a les paral·laxis estel·lars. Espero demostrar que l'enigma fins ara no resolt dels resultats singulars de Brinkley troba una solució senzilla en el moviment polar. El període a la seva època sembla haver estat d'aproximadament un any i el seu rang, de més d'un segon. Després es comentaran diverses sèries ja més o menys avançades cap a la seva finalització. Aquestes són les observacions de Bessel a Königsberg, de 1820-1824, amb el cercle de Reichenbach, i de 1842-1844 amb el cercle de Repsold; les latituds derivades de les determinacions del punt polar de Struve i Mädler amb el cercle de Dorpat, de 1822-1838; les observacions de Struve per a la determinació de l'aberració; les observacions de Peters de la polar, de 1841-1843, amb el cercle vertical; els resultats obtinguts del tub zenital reflector a Greenwich, de 1837-1875, les anomalies singulars del qual es poden remetre en gran part al nostre fenomen actual, complicades amb errors instrumentals als quals s'han atribuït fins ara exclusivament; els resultats del cercle de trànsit de Greenwich, de 1851-1865 (en aquest cas, però, una complicació similar i els grans errors accidentals d'observació semblen frustrar els esforços per obtenir resultats pertinents); les observacions verticals de Berlín de Weyer i Brünnnow, de 1845-1846, en què espero demostrar que la paral·laxi de β Draconis que se'n deriva no és res més que un registre del canvi de latitud; les determinacions de latitud contradictòries a Cambridge, Anglaterra; l'observació de Washington de l'estrella polar i altres polars properes, de 1866-1887, amb el cercle de trànsit; també les de Melbourne, de 1863-1884, una part de les quals ja s'ha presentat en l'últim número del *Journal*, i algunes altres. Tot i que la llista és considerable, podré comprimir els resultats de moltes sèries en un espai curt.

En relació amb aquest resum de l'abast de les investigacions, poden ser d'interès un o dos detalls que, en el moment d'escriure aquest article, semblen presagiar el resultat més probable. Tanmateix, prego que l'afirmació es consideri merament provisional. En primer lloc, mentre que el període està manifestament subjecte a canvis, com ja s'ha insinuat una o dues vegades, fins ara no he aconseguit rastrejar les variacions en referència a cap llei regular expressable en una fórmula numèrica. De fet, la impressió general produïda per un estudi d'aquests canvis en la longitud del període és que la causa que els produeix opera de manera capriciosa fins a cert punt, tot i que l'efecte mitjà durant un segle ha estat disminuir la velocitat de revolució del pol. No puc dir fins a quin punt aquesta impressió es deu a la incertesa de les observacions i a la interacció del fenomen amb altres canvis periòdics de tipus purament instrumental. Gairebé totes les sèries que s'han analitzat, de qualsevol extensió, tenen la peculiaritat que mostren la periodicitat de manera força uniforme i distinta durant un cert nombre d'anys, i després durant un temps de manera força més obscura. En alguns casos, però, el que a primera vista sembla una irregularitat clara resulta no ser-ho quan es compara amb sèries superposades obtingudes en altres observatoris.

Un altre tret que m'ha cridat l'atenció, tot i que de manera una mica vaga, és que les variacions en la longitud del període semblen anar de la mà amb alteracions simultànies en l'amplitud de la rotació; els períodes més curts semblen estar associats amb els coeficients més grans de l'amplitud. La verificació d'aquestes suposicions haurà d'esperar a una anàlisi comparativa més detallada, l'oportunitat per a la qual arribarà quan els càlculs estiguin en un estat més avançat. Si es confirmen, aquestes observacions proporcionaran una valuosa clau de volta a l'hora de buscar la causa

d'un fenomen que ara mateix sembla estar en desacord amb les lleis acceptades de la rotació terrestre.

Deixem ara de banda, per uns moments, la recerca en si per veure com es va rebre l'anunci. Seria poc amable reproduir aquí cap de les primeres declaracions d'incredulitat que es van publicar, especialment a Alemanya. La primera nota complaent va venir de Simon Newcomb, al mateix número de l'*Astronomical Journal* que l'article que acabem de tractar; el següent fragment indicarà tant les dificultats que es van plantejar en rebre els resultats del senyor Chandler com la manera en què Newcomb les va atacar d'arrel.

El remarcable descobriment del senyor Chandler, segons el qual les variacions aparents de les latituds terrestres es poden explicar suposant una revolució de l'eix de rotació de la Terra al voltant de l'eix de la figura terrestre, en un període de 427 dies, està tan en desacord amb la teoria acceptada de la rotació de la Terra que al principi tenia la inclinació de dubtar-ne. Però ara puc assenyalar una *vera causa* que ofereix una explicació completa d'aquest període. Fins ara, el tractament d'aquest tema ha estat el següent: el quocient entre el moment d'inèrcia de la Terra al voltant del seu eix principal i la mitjana dels altres dos moments principals es pot determinar amb molta precisió a partir dels valors de la precessió i la nutació. Aquest quocient incorpora el que podríem anomenar, de manera general, l'el·lipticitat sòlida de la Terra o l'el·lipticitat, o aplatament, d'un esferoide homogeni amb els mateixos moments d'inèrcia que la Terra.

Quan s'integren les equacions diferencials de la rotació de la Terra apareixen dues constants arbitràries que representen la posició, per a qualsevol època assignada, de l'eix de rotació respecte al de la figura. La teoria mostra que l'eix de rotació gira al voltant del

de la figura amb un període de 306 dies i en direcció d'oest a est. Els intents de determinar el valor d'aquestes constants semblen indicar que ambdues són igual a zero o, el que és el mateix, que els eixos de rotació i de la figura són el mateix. Sir William Thomson va publicar el resultat d'un breu càlcul a partir de les observacions d' α Lyrae amb el vertical principal de Washington, que vaig fer a petició seva i que va mostrar un coeficient de cinc centèsimes de segon d'arc. Aquest coeficient no superava l'error possible del resultat i, per tant, el vaig considerar espuri.

Ara sorgeix la pregunta de si el resultat del senyor Chandler es pot conciliar amb la teoria dinàmica. La meua resposta és que sí, perquè la teoria que assigna 306 dies com a temps de revolució es basa en la hipòtesi que la Terra és un cos absolutament rígid. De fet, la fluïdesa dels oceans té un paper important en el fenomen, així com l'elasticitat de la Terra. L'efecte combinat d'aquestes fluïdesa i elasticitat és que si l'eix de rotació es desplaça en una certa quantitat, l'eix de la figura, per l'acció modificada de la força centrífuga, es mourà per tal de coincidir amb el nou eix de rotació. El resultat és que el moviment d'aquest últim disminuirà en la proporció corresponent i, per tant, el temps de revolució s'allargarà. No és possible fer un càlcul exacte de l'efecte sense conèixer el mòdul d'elasticitat de la Terra. En qualsevol cas, crec que el resultat de la investigació serà que la rigidesa que es deriva del període del senyor Chandler és tan gran com la que afirma sir William Thomson a partir del fenomen de les mareas.

És una conclusió molt satisfactòria. El professor Newcomb hi toca de mig a mig pel que fa a la suposició, plantejada feia tant de temps que havia quedat oblidada, i val la pena prendre seriosament la lliçó, ja que no és la primera vegada que una confiança errònia en un suposat

fet s'ha fet recular a alguna suposició preliminar oblidada; hem d'estar sempre disposats a mirar enrere, pel que fa a totes les nostres suposicions, quan algun fet nou sembli qüestionar les conclusions. A més, es podria esperar que aquest descobriment de la manera en què havia fallat la teoria, com a efecte col·lateral, inspirés confiança en les altres conclusions a les quals havia arribat el senyor Chandler i que estaven en contradicció aparent amb la teoria o, si més no, suggerís el plantejament de certs dubtes. Però el professor Newcomb no creia que això fos possible pel que fa al *canvi* del període, d'uns dotze mesos en l'època de Bradley a catorze mesos en la nostra. Hem vist que el mateix senyor Chandler considerava això com un «resultat curiós» que requeria confirmació, però com que la confirmació encara havia d'arribar, ho va afirmar amb plena confiança i va extreure els següents comentaris el 22 de juliol de 1892:

El fet d'una variació periòdica de les latituds terrestres, i la llei general d'aquesta variació, han estat establerts més enllà de qualsevol dubte raonable gràcies a les observacions recollides pel senyor Chandler. Ara bé, dues de les seves conclusions menors, tal com s'enumeren en el número 3 d'aquest volum, no em semblen ben fonamentades. Són:

1. Que el període de la desigualtat és una quantitat variable.
2. Que l'amplitud de la desigualtat ha romàs constant durant l'últim mig segle.

Tot seguit, el professor Newcomb presenta les seves raons per a l'escepticisme, que són de caràcter massa tècnic per reproduir-les aquí, però sí que citaré la següent afirmació addicional del seu article:

Ara sorgeix la qüestió de fins a quin punt tenim dret a assumir que el període ha de ser invariable. Responc que, deixant de banda les pertorbacions, qualsevol variació del període es troba en un conflicte tan directe amb les lleis de la dinàmica que tenim dret a considerar-la impossible. Però sabem que hi ha pertorbacions, i no veig que es pugui dubtar que han actuat de manera que han dut a un augment de l'amplitud de la variació des de 1840.

En altres paraules, tot i reconèixer que hi pot haver una manera de conciliar una de les conclusions «menors» amb la teoria, el professor Newcomb considera que en aquest cas l'altra no es pot sostenir. La resposta del senyor Chandler parlarà per si sola; va trigar una mica, per poder així presentar una enorme quantitat de proves en suport de les seves conclusions, i finalment es va imprimir el 23 d'agost de 1892.

El material utilitzat en les quaranta-cinc sèries anteriors inclou més de trenta-tres mil observacions. D'aquestes, més d'un terç es van fer a l'hemisferi sud, un fet que devem principalment a Córdoba (Argentina). Comprèn el treball de disset observatoris (quatre dels quals a l'hemisferi sud) amb vint-i-un instruments diferents i mitjançant nou mètodes d'observació diferents. Només tres de les sèries (XXI, XXV i XXXV), i aquestes entre les intrínsecament menys precises, donen resultats contradictoris amb la llei general presentada al número 267. Aquest grau d'harmonia general és realment sorprenent quan es considera el caràcter evanescent del fenomen investigat.

El lector té ara davant seu els mitjans per examinar de manera independent el material en què es basen les conclusions ja extretes i les que seguiran. L'espai ocupat en la impressió pot semblar desmesurat, però espero que això s'atribueixi a l'abast de les proves

recollides i no a la prolinitat o a la presentació de detalls innecessaris, ja que he intentat comprimir amb cura les afirmacions sense ometre res essencial per a una crítica exhaustiva. Que era important fer-ho és manifest, ja que les conclusions, si es confirmen, derroquen la teoria existent de la rotació de la Terra, com assenyalo a la pàgina 21. Per tant, no em sorprèn ni em pertorba que el professor Newcomb dubti a l'hora d'acceptar algunes d'aquestes conclusions sobre la base (*Astronomical Journal*, núm. 271) que es troben en un conflicte tan directe amb les lleis de la dinàmica que tenim dret a considerar-les impossibles. Ha estat tan considerat i cortès en el seu tractament del meu treball fins al moment, que estic segur que no considerarà presumptuosa la meua argumentació per a refutar-lo.

Cal dir, en primer lloc, que en començar aquestes investigacions l'any passat, vaig deixar de banda deliberadament totes les doctrines de la teoria, perquè em semblava que ja era hora que s'examinessin els fets mitjançant un procés purament inductiu, que els resultats nuls de tots els intents de detectar l'existència del període eulerià probablement sorgien d'un defecte de la teoria, i que la complexitat de la qüestió requeria que s'examinés de nou sense cap mena de constrenyiment provinent de nocions preconcebudes. El problema que em vaig proposar, per tant, era veure si no seria possible desmentir tots els fantasmes —en forma de nombrosos fenòmens residuals discordants relacionats amb determinacions d'aberració, paral·laxis, latituds i similars— que han estat voleiant de manera esquiva per l'astronomia de precisió durant tot aquest segle; o com a mínim reduir-los a una forma tangible mitjançant alguna hipòtesi simple i coherent. Es pensava que si es podia fer això, un estudi de la naturalesa de les forces per les quals es veu influïda la rotació de la Terra, tal com s'indica, podria dur a una explicació física d'aquestes.

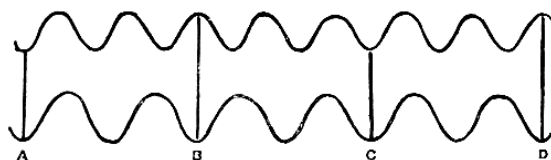
Naturalment, doncs, no m'angoixa gaire l'argument d'un conflicte amb les lleis dinàmiques, ja que tot el que implica aquesta afirmació s'ha de referir simplement a l'estat existent de la teoria en un moment donat. Quan es va proposar el període de 427 dies, era tan incoherent amb la llei dinàmica coneguda com sembla que ara ho és la seva variació. L'afortunada explicació del professor Newcomb ja ha deixat de banda la primera dificultat, o això sembla, i ha fet avançar la teoria en un pas ben important. Estem tan segurs ja d'un coneixement complet de totes les forces en joc com per excloure la possibilitat d'una *vera causa* per a la segona dificultat?

Aquestes paraules ressonen d'una manera esplèndida a tall de conclusió, i les podem comparar amb un famós fragment de Faraday:

El filòsof ha de ser un home disposat a escoltar tots els suggeriments, però decidit a jutjar per si mateix. No ha de deixar-se influir per les aparences, no ha de tenir cap hipòtesi preferida, no ha de pertànyer a cap escola i, en doctrina, no ha de tenir cap mestre. No ha de fer distinció de persones, sinó de coses. La veritat ha de ser el seu objectiu principal. Si a aquestes qualitats s'hi afegeix la laboriositat, sens dubte pot tenir l'esperança de passejar sota els vels del temple de la Natura.

Si el posem a prova d'acord amb aquests exigents requisits, el senyor Chandler no falla en res en particular, i menys encara en la laboriositat. La quantitat de feina que va dur a terme en aquesta època va ser enorme, ja que a més de la línia principal de recerca, de la qual només hem presentat un petit tast, va poder dedicar temps a discutir una qüestió subsidiària amb el professor Comstock; va analitzar amb molta cura algunes

característiques desconcertants de la variabilitat de les estrelles; va calcular algunes efemèrides de cometes; i estava preparant un nou catàleg d'estrelles variables, una obra que implicava la recopilació i ordenació d'una gran quantitat de material divers. Tot i així, pocs mesos després de respondre com s'ha esmentat abans a les crítiques del professor Newcomb, va poder anunciar que havia trobat la clau del nou trencaclosques i que «la teoria i les observacions tornen a estar completament d'acord». Escoltarem, com abans, el relat d'aquest nou avenç amb les seves pròpies paraules, però una breu explicació preliminar pot ajudar a tots aquells que no estiguin familiaritzats amb la terminologia. Es va descobrir que el moviment polar estava format per dos moviments independents, tots dos periòdics però amb períodes diferents. Ara bé, els resultats generals d'una composició d'aquest tipus són ben coneguts en diverses branques diferents de la física, especialment en la teoria del so. Si es toquen alhora dues notes de gairebé la mateixa freqüència, sentim que el so resultant creix i s'esvaeix alternativament, perquè les vibracions causades per les dues notes de vegades van en la mateixa direcció i, després d'un interval, van exactament en direccions oposades. En un diagrama podem representar les vibracions mitjançant dues ones, com es mostra a continuació; l'ona superior recorre el seu període set vegades i mitja entre A i D, la inferior només sis vegades; i es veu fàcilment que a A i C les ones coincideixen, mentre que a B i D són oposades. En els punts A i C la vibració composta es duplicaria; en els punts B i D, es reduiria a zero.



El tema és tan important que potser no resultarà sobrerera una il·lustració numèrica. Ara, doncs, representem les ones mitjançant fileres de valors com es mostra a continuació. La primera sèrie es repeteix després de cada 6, la segona després de cada 7.

Primera ona	1 2 3 4 3 2 1 2 3 4 3 2 1 2 3 4 3 2 1 2 3 4 3 2 1
Segona ona	1 2 3 4 4 3 2 1 2 3 4 4 3 2 1 2 3 4 4 3 2 1 2 3 4 4 3 2 1 2 3
Efecte conjunt	2 4 6 8 7 5 3 3 5 7 7 6 4 4 4 6 6 6 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 4 4 4
	Pertorbació gran Calma

Primera ona	2 3 4 3 2 1 2 3 4 3 2 1 2 3 4 3 2 1 2 3 4 3 2 1 2 3 4 3 2 1 2
Segona ona	4 4 3 2 1 2 3 4 4 3 2 1 2 3 4 4 3 2 1 2 3 4 4 3 2 1 2 3 4 4 3
Efecte conjunt	6 7 7 5 3 3 5 7 8 6 4 2 4 6 8 7 5 3 3 5 7 7 6 4 4 4 6 6 6 5 5
	Pertorbació gran

Si sumem les dues files, al principi les oscil·lacions es reforcen mútuament i obtenim valors que van del 2 al 8 en lloc de l'1 al 4; però una ona va guanyant terreny a l'altra fins que puja quan l'altra baixa, i els nombres se sumen per donar una sèrie constant de 5. Es pot veure que hi ha fins a set cinc consecutius i tota la variació sembla haver desaparegut. Però aviat les ones es separen de nou i es repeteix un interval de gran pertorbació; es pot veure que en l'«efecte conjunt» els nombres es repeteixen exactament després del 42è terme. Ara bé, els que no estiguin familiaritzats amb el tema tal volta no tenen clar com se suma una ona física a una altra com si fossin nombres, però l'analogia és perfecta. Els viatgers d'alguns dels ràpids vaixells de vapor de doble hèlix han tingut la desagradable oportunitat de notar aquest fenomen, quan l'enginyer no fa funcionar les dues hèlixs a la mateixa velocitat; en aquests casos, hi ha moments en

què el vaixell vibra violentament, separats per períodes de relativa quietud. Podríem recordar exemples d'altres àmbits de la vida si ens fixéssim en alguns fets generals, però crec que ja es suficient per explicar el punt número 2 del fragment que citarem tot seguit. Per entendre la resta, hem de recordar que si les dues ones no són iguals en amplitud, és a dir, si el moviment cap enrere i cap endavant no és igual de «gran» en ambdues, no es poden anul·lar una amb l'altra, sinó que sempre predominarà la més gran. Aquells interessats a seguir més a fons l'assumpte no haurien de tenir cap dificultat per construir exemples senzills que il·lustressin aquests punts. Passem, doncs, a presentar les declaracions del senyor Chandler:

Arribem ara a una nova línia d'investigació. Fins ara, com s'ha vist, el mètode ha estat condensar els resultats de cada sèrie d'observacions en l'interval comprès per un sol període, després determinar l'època mitjana de mínim i el rang mitjà per a cada sèrie i, per acabar, mitjançant una anàlisi d'aquestes quantitats, establir el caràcter general de la llei de rotació del pol. Ara cal analitzar les observacions d'una manera diferent i descobrir si les desviacions respecte a la llei provisional general, a l'última columna de la taula II, són reals i també de quina manera es produeix la variació del període. El resultat d'aquesta discussió, que es presentarà en aquest article, és d'allò més satisfactori. La naturalesa real del fenomen es revela de la manera més clara i es pot descriure de la manera següent:

1. La variació observada de la latitud és la corba resultant de dues fluctuacions periòdiques superposades. La primera i, en general, la més considerable, té un període d'uns 427 dies i una semiamplitud d'unes $0'',12$. La segona té un període anual amb un rang variable entre $0'',04$ i $0'',20$ durant l'últim mig segle. Durant la part mitjana d'aquest interval, caracteritzada

aproximadament com entre 1860 i 1880, ha prevalgut el valor representat pel límit inferior, però abans i després d'aquestes dates, el superior. El mínim i el màxim d'aquest component anual de la variació es produeixen al meridià de Greenwich, uns deu dies abans dels equinoccis de primavera i tardor respectivament, i esdevé zero just abans dels solsticis.

2. Com a resultat d'aquests dos moviments, la variació efectiva de la latitud està sotmesa a una alternança sistemàtica en un cicle de set anys de durada, resultant de la commensurabilitat dels dos termes. Segons la manera en què interfereixen, el rang total varia entre dos terços de segon com a màxim i només unes poques centèsimes de segon, en general, com a mínim.

3. Com a conseqüència de la variabilitat del coeficient del terme anual esmentat anteriorment, el període mitjà aparent entre 1840 i 1855 es va aproximar a 380 o 390 dies; va fluctuar àmpliament de 1855 a 1865; de 1865 a aproximadament 1885 va ser de gairebé 427 dies, amb fluctuacions menors; després va augmentar a prop de 440 dies, i fa molt poc va caure a una mica per sota dels 400 dies. El curs general d'aquestes fluctuacions està representat amb força fidelitat per la llei de l'equació (3), (núm. 267), i amb precisió, fins i tot per a les petites oscil·lacions dels períodes individuals, per la llei de l'equació (15), que presentaré tot seguit i que s'ha interpretat verbalment abans. Aquesta llei també dona una explicació igualment precisa de les oscil·lacions corresponents en l'amplitud. La proximitat de la concordança entre l'observació i la teoria numèrica, en ambdós casos particulars, situa la realitat de la llei més enllà de qual·sevol dubte raonable.

Si el lector no pot seguir els detalls de l'afirmació anterior, tanmateix, sí que podrà captar el sentit general: que s'han superat les dificultats que apreciava el

professor Newcomb, cosa que aclareix en un fragment posterior:

De la concordança dels valors del terme de 427 dies es desprèn necessàriament una conclusió molt important, deduïda dels intervals entre els valors consecutius de T a la taula XII, a saber: que no hi ha hagut cap discontinuïtat en la revolució, com la que el professor Newcomb considerava tan probable que el feia dubtar de la possibilitat d'extreure conclusions de la comparació d'observacions abans i després de 1860 (*Astronomical Journal*, 271, pàg. 50).

La present investigació demostra que la sortida a la contradicció aparentment irreconciliable entre la teoria i l'observació en aquest assumpte no rau en una desacreditació de les observacions, com ell tendeix a fer. Ben al contrari, el resultat és una formosa vindicació de la fiabilitat d'aquestes últimes i, alhora, de la teoria que exigeix un ritme de moviment invariable; i proporciona una clau perfectament adequada a l'enigma en mostrar que ha intervingut una altra causa per produir la variabilitat del període. Estic segur que el professor Newcomb estarà d'acord amb la realitat de l'explicació que s'exposa aquí i reconsiderarà la seva opinió que les pertorbacions en la posició del pol han de ser de la naturalesa d'acumulacions aleatòries de moviments, una opinió que llavors considerava necessària per al manteniment de la constància en el període de variació de la latitud.

L'article del qual s'han extret aquestes paraules va aparèixer el 4 de novembre de 1892. El següent article sobre el tema no va aparèixer fins un any més tard, tot i que mentrestant es va fer molta feina sobre la constant d'aberració i altres qüestions que van sorgir just després del descobriment. El 14 de novembre de 1893, el senyor Chandler acaba la sèrie de vuit articles «Sobre la

variació de la latitud», que havia començat només dos anys abans. La seva feina, però, no havia acabat de cap manera; més aviat, només començava, ja que la torxa que havia encès il·luminava molts racons foscos. Ara bé, és cert que considerava, amb raó, que el seu descobriment estava tan fermament establert que podia donar per acabada la sèrie d'articles que el tractaven, encara en consideració. En aquest últim article, primer dedica la màxima atenció a un detall. Abans, a la sèrie havia demostrat que el Pol Nord havia de girar d'oest a est i no d'est a oest; però això era quan se suposava que el moviment era simple i no complex; ara calia tornar a analitzar la qüestió de la direcció de cadascun dels components. Després d'establir de manera concloent que la direcció original es compleix per a cadascun dels components, gairebé es disculpa per la molèstia que s'ha pres:

Així doncs, es demostra més enllà de qualsevol dubte raonable que les direccions de les rotacions són d'oest a est en ambdós elements; d'aquí la forma general de l'equació per a la variació de la latitud adoptada a l'*Astronomical Journal*, 284, pàg. 154, eq. (19). Es podria pensar que s'ha dedicat massa esforç a un punt que es podria confiar a la teoria per tal que quedés decidit. No hi estic d'acord. Un dels resultats més destacats d'aquests articles ha estat la demostració que la teoria ha estat una guia cega pel que fa a la velocitat de la rotació polar, que ha enfosquit la veritat i ha dut els investigadors en una direcció equivocada durant mig segle. Fins i tot si estiguéssim segurs, i en realitat no n'estem, que el terme de catorze mesos és el període eulerià en una forma modificada, encara caldria establir mitjançant l'observació la direcció del moviment anual, respecte a la qual la teoria no té cap poder per informar-nos. Per estalviar-me la repetició de l'argument, he de referir-me a l'afirmació, presentada a l'*Astronomical Journal*, 273, pàg. 68 i 70, dels

principis adoptats en iniciar aquestes investigacions el 1891.

Per acabar, respon a un dels pocs objectors eminents que encara persistien, el gran físic francès Cornu:

El terreny ara ja ha quedat net per poder examinar l'únic tema que queda per tractar: establir, sobre la base dels fets, cada punt de la teoria actual d'aquests notables moviments de l'eix terrestre. Aquesta és la qüestió de la possibilitat que aquests moviments no siguin reals, sinó simplement interpretacions errònies dels fenòmens observats, un efecte il·lusori, en la seva totalitat o en part, d'algun error instrumental provocat per la temperatura. Aquesta possibilitat ha estat un malson en l'astronomia pràctica des del principi, que ens ha aterrit en cada sèrie de residus inexplicables que surt a la llum contínuament en gairebé tots els intents de delicada investigació instrumental. Una font de perill tan subtil no podia deixar d'estar sempre present en la ment de qualsevol astrònom i físic que hagi prestat una atenció passatgera a la qüestió de les variacions de latitud, i no hi ha dubte que alguns, fins i tot ara, es veuen dissuadits d'acceptar aquestes variacions com a fets provats. Potser l'exposició més explícita i contundent dels dubtes que poden sorgir sobre aquest tema l'ha fet fa ben poc el senyor Cornu. Els punts de vista d'un físic tan distingit, i d'altres que s'inclinen a estar-hi d'acord, requereixen una atenció acurada i no es poden descuidar en l'argumentació final sobre la teoria presentada en aquests articles. No cal, per tal de desfer-se d'objeccions del tipus que planteja Cornu, insistir en el fet que no n'hi ha prou amb demostrar que les variacions observades, atribuïdes a la inestabilitat del pol terrestre, són properes al límit de precisió assolible en mesures diferencials lineals i en la indicació de la direcció de la gravetat

mitjançant la bombolla d'aire dels nivells; o demostrar que hi ha variacions conegudes en cercles dividits i en nivells que depenen de la temperatura i les estacions. Tampoc cal que exigim als objectors la tasca difícil, tot i que essencial —que no han intentat amb claredat—, de demostrar que aquests errors no s'eliminen, com semblaria, per la manera en què els astrònoms utilitzen els seus instruments. Tampoc cal insistir en el fet que una gran part de les dades que s'han utilitzat en les investigacions actuals sobre la latitud s'han derivat mitjançant mètodes que prescindeixen dels nivells o dels cercles, i una part d'elles, de tots dos, i tanmateix els resultats de tots són coincidents. Al contrari, admetem, encara que només per argumentar, que tots els mitjans coneguts per determinar la direcció de la gravetat, incloent-hi la línia de plomada, el nivell i un fluid en repòs, ja sigui utilitzat com a superfície reflectant o com a suport per a un instrument flotant, estan subjectes a una llei comuna d'error periòdic que vicia el resultat de l'observació astronòmica, obtinguda per qualsevol mètode, i exactament de la mateixa manera. Ara bé, la llei observada de variació de la latitud inclou dos termes, amb períodes de catorze i dotze mesos respectivament. Com que les fases del primer terme es repeteixen a intervals de dos mesos en anys successius, i per tant, en una sèrie d'anys apareixen en totes les relacions possibles amb les condicions de temperatura que depenen de l'estació, l'argument contra la realitat d'aquest terme, a partir d'això, falla de cap a peus i no cal donar-li més atenció. Pel que fa al segon terme, o anual, mentre que les fases, tal com s'observen en qualsevol longitud determinada, són realment sincròniques amb les estacions, no ho són pel que fa a les diferents longituds. Per tant, si els temps de qualsevol fase determinada, tal com s'observa a la mateixa latitud, però en longituds successivament creixents, es produïssin en la mateixa data en totes elles, hi hauria una presumpció fatal contra

l'existència d'un període anual en el moviment polar. Si, al contrari, es produeixen en moments que corresponen successivament a les diferències de longitud, la presumpció és igualment fatal per a la hipòtesi que puguin ser degudes a una variació de la temperatura que afecta la mesura instrumental. En qualsevol cas, els fets presentats a la secció anterior corresponen més clarament a aquesta última condició. Per tant, tret que es puguin aportar fets addicionals per refutar successivament aquests resultats observats, podem descartar per sempre la molèstia que sens dubte ha dut molts a desconfiar de la realitat del component anual de la variació de la latitud, mentre admeten l'existència del terme de 427 dies.

Arribats a aquest punt, cal que deixem de banda el fascinant relat de la manera en què es va produir aquest gran descobriment, davant d'una oposició que hauria pogut dissuadir qualsevol altre home menys astut o lluitador. El meu propòsit és posar més èmfasi en el mètode emprat per arribar al descobriment que en els seus resultats; tot i així podem donar un breu cop d'ull a algunes de les conseqüències que ja han començat a derivar-se d'aquest avenç. Algunes, de fet, ja s'han presentat amb claredat davant nostre, especialment la gran classe representada per l'explicació d'anomalies en sèries d'observacions que havien estat bandejades com a inexplicables. Hem vist que les observacions fetes a Rússia, o a Washington, o a Greenwich, en totes les quals hi havia algun error desconcertant, van quedar rectificades immediatament quan Chandler hi aplicà la seva nova regla. Nosaltres, a Anglaterra, tenim motius especials per estar agraïts a Chandler; no només ha demostrat amb més claredat que mai la grandesa de Bradley, sinó que ha rehabilitat Pond, l'Astrònom Reial de principis del segle XIX en demostrar que les seves observacions, que havien

estat sentenciades com a errònies, en realitat eren molt més precises del que es podria esperar; a més, ha demostrat que el bell instrument dissenyat per Airy, i anomenat tub zenital reflector, que semblava haver fracassat inexplicablement en el propòsit per al qual va ser concebut, en realitat estava recollint proves d'aquest nou fenomen, la variació de la latitud. Airy no havia fracassat en el seu disseny, sinó que, en paraules de Chandler havia «construït fins i tot millor del que sabia».

En segon lloc, hi ha la influència modificadora d'aquest nou fenomen sobre altres fenòmens ja coneguts, com ara el de l'aberració. Al tercer capítol vam veure que Bradley va descobrir aquest efecte de la velocitat de la llum i com se n'obté la mesura comparant la velocitat de la llum amb la de la Terra. Aquesta comparació es pot dur a terme de diverses maneres, i esperàriem que tots els resultats coincidissin dins de certs límits, però el cert és que no es va obtenir aquesta concordança; Chandler ha pogut mostrar una raó per la qual passa això i eliminar algunes de les diferències més problemàtiques. És impossible donar aquí una idea del gran abast de les conseqüències que pot tenir un treball com aquest; mentre hi hagi diferències d'aquest tipus, no podem confiar en cap part de la cadena de proves, i la perspectiva és el treball, enorme, d'examinar cada baula per separat fins trobar l'error. La velocitat de la llum, per exemple, es pot mesurar mitjançant un experiment terrestre; hi havia alguna cosa defectuosa en l'aparell? La velocitat de la Terra en el seu viatge al voltant del Sol depèn directament de la distància al Sol: que potser hem mesurat malament aquesta distància? I, si és així, quin va ser l'error en les observacions fetes? Aquestes són algunes de les preguntes que poden sorgir mentre els valors de la constant d'aberració encara siguin contra-

dictoris; en qualsevol cas, calen coneixements considerables d'astronomia per apreciar-los plenament.

Un altre exemple potser serà d'interès més general. Si l'eix de la Terra executa petites oscil·lacions d'aquesta mena, hi hauria d'haver algun efecte sobre les mareas; l'oceà líquid hauria de notar l'oscil·lació de l'eix de la Terra d'alguna manera; doncs bé, una anàlisi dels registres de les mareas va mostrar que, certament, hi havia un efecte apreciable. Pot causar algun somriure si dic que la pujada i la baixada són només d'uns quants centímetres en qualsevol cas, però són proves inequívokes que la Terra no gira suaument, sinó que té aquesta espècie de vibració desequilibrada, que abans he comparat amb les vibracions que senten els passatgers d'un vapor de doble hèlice de disseny imperfecte. Un efecte més impressionant és que, aparentment, els terratrèmols són més nombrosos en els moments en què la vibració és més gran. Ja vam comentar que la vibració augmenta i disminueix de la mateixa manera que la del vapor augmenta i disminueix quan les hèlixs bessones no funcionen en bona sincronia, i els passatgers del vapor no s'haurien de sorprendre en descobrir que els trencaments són més nombroses durant els moments d'oscil·lació vigorosa; sembla probable, doncs, que de manera similar les petites esquerdes de la pell de la Terra que anomenem grans terratrèmols siguin més nombroses quan aquestes vibracions desequilibrades són en el seu màxim, és a dir, si fa no fa un cop cada set anys. Aquest resultat encara no és digne de plena confiança, ja que fa molt poc que les nostres observacions de terratrèmols s'han reduït a l'ordre adequat; de totes maneres, si resultés ser cert, no caldria afegir-hi res més per demostrar la importància d'aquest resultat tan inesperat de la variació de la latitud.

Per acabar, esmentaré un altre fenomen que, en el moment actual, sembla més una curiositat que una altra cosa, però que en el futur pot dur a algun descobriment rellevant. Es tracta del resultat de les observacions que s'han fet recentment per determinar aquests moviments del pol; ja que, tot i que sembla que hi ha bones raons per acceptar com a correctes les lleis de variació del senyor Chandler, cal establir-ne l'exactitud i completar-ne tots els detalls amb observacions durant un cert temps. No hi podria haver una demostració millor d'aquesta necessitat que el recent descobriment del senyor Kimura, un dels astrònoms que es dediquen vigilar el moviment del pol al Japó. Potser puc explicar millor de què es tracta esmentant una possible explicació, que, tanmateix, he d'advertir que pot ser que no sigui la correcta. Estem acostumats a pensar que aquesta gran Terra nostra té una forma prou constant; si ens preguntessin, per exemple, si el seu centre de gravetat roman sempre al mateix lloc al seu interior, gairebé segur que respondríem afirmativament, igual que fa només vint anys pensàvem que el pol nord romania al mateix lloc. Però sembla possible que el centre de gravetat es mogui uns quants centímetres cap endavant i cap enrere cada any; això, en qualsevol cas, explicaria certes característiques curioses de les observacions sobre les quals el senyor Kimura ha fet atenció. Sigui quina sigui l'explicació d'aquestes peculiaritats, per establir si l'explicació és correcta calen més observacions, especialment observacions a l'hemisferi sud; de fet, un projecte que els astrònoms estan considerant en aquests moments és si es poden establir tres estacions a l'hemisferi sud per a l'observació més acurada d'aquest curiós fenomen. La qüestió es redueix principalment a un tema de diners; de fet, la majoria dels projectes astronòmics es resolen en darrer terme en qüestions monetàries, i em temo que el món considera els homes científics insaciabls en aquest

sentit. Només podem esperar que, en general, els diners es gastin de manera que donin un rendiment satisfactori. En aquest cas, no tinc cap dubte a afirmar que el retorn immediat del valor d'una despesa comparativa modesta és gairebé cert si d'alguna manera aconseguim obtenir els mitjans per fer les observacions.²



Ara, com a conclusió d'aquest breu repàs d'alguns tipus de descobriments astronòmics, seria natural resumir les lliçons apreses. Ara bé, ens trobem amb la dificultat gens menyspreable que no sembla que n'hi hagi cap. S'ha assenyalat a mesura que avançàvem que el que semblava una deducció segura d'una part de la història ha estat rotundament desmentida per una altra; tan bon punt hem après que es poden obtenir resultats importants seguint de manera constant una línia de treball, malgrat el fet que sembli haver-se tornat tediosa i poc rendible (com en la recerca de planetes menors), ens trobem amb la possibilitat que per aquesta simple dedicació a la feina quotidiana puguem estar perdent una gran oportunitat, com va fer Challis. Difícilment ens podrem equivocar si seguim l'estudi dels fenòmens residuals seguint l'estela de Bradley; però hi ha la dificultat destacada que podem ser totalment incapaços de trobar una pista per al correcte agrupament dels nostres residus, com passa actualment en bona part de la meteorologia. En general, és probable que les expectatives humanes siguin força enganyoses, com s'ha demostrat en els dos últims capítols; els descobriments que anhelem poden trobar-se en la direcció oposada a la que indiquen les opinions més assenyades disponibles actualment. No hi ha cap camí real cap al descobriment,³ i malgrat que aquesta afirmació es pot acceptar amb tanta facilitat que semblaria que

gairebé no caldria fer-la, espero que els exemples de la seva certitud hagin estat prou interessants.

L'única conclusió positiva que podem deduir dels exemples estudiats és que els descobriments poques vegades es fan sense un treball dur i una capacitat evident. Un planeta nou, fins i tot tan gran com Urà, no es revela pas a un observador passiu: pot aparèixer fins a tretze vegades sense ser detectat, fins que finalment es troba amb un Herschel vigilant, que sospita, comprova i verifica, i fins i tot llavors l'anuncia com un cometa: fins a aquest punt va anar errat en l'apreciació de tota la certesa que tenia al davant. Quinze anys de treball desagraït abans que es descobrís Astrea, dinou anys d'observació abans que es pogués anunciar el descobriment de la nutació; ben poques vegades la nostra imaginació ens duu cap a aquests anys de treball incansable quan diem amb lleugeresa que «Bradley va descobrir la nutació» o que «Hencke va descobrir Astrea»! Que el treball necessari s'oblidi tan sovint em serveix d'excusa per insistir-hi de manera una mica persistent en tots aquests exemples.

En qualsevol cas, més enllà del fet que ha de treballar molt, sembla que hi ha poques coses de vàlua que puguem dir a un possible descobridor. Jevons ha resumit bé la situació en el seu capítol sobre el procés d'inducció dels «principis de la ciència»; les seves paraules seran una conclusió adequada per a aquests capítols:

Semblaria que la ment del gran descobridor hagi de combinar atributs contradictoris. Ha de ser fèrtil en teories i hipòtesis, i tanmateix plena de fets i resultats precisos de l'experiència. Ha de tenir en consideració les analogies més febles i les conjectures més vagues sobre la veritat, i tanmateix les ha de considerar inútils fins que no es verifiquin per mitjà dels experiments. Quan hi ha una base de certa plausibilitat, ha d'aferrar-se amb tenacitat a una opinió antiga, però

ahora ha d'estar preparat en qualsevol moment per renunciar-hi quan es trobi amb un fet clarament contradictori.

Índex alfabètic

A

aberració, 73, 89, 91, 92, 94,
99, 156, 159, 162, 164,
165, 171, 177, 182
Adams, J. C., 2, 12, 41, 42,
43, 44, 45, 47, 48, 49, 50,
51, 53, 54, 55, 59, 60, 61,
62, 63, 64, 65, 71, 72
Airy, G. B., 28, 37, 38, 39,
41, 42, 43, 44, 45, 47, 48,
49, 50, 51, 52, 53, 54, 55,
56, 57, 58, 59, 60, 61, 66,
69, 70, 72, 182
almucantarat, 155, 156
argó, 92

B

Berlín, 14, 15, 106, 156, 158,
162, 165
Bode, 11, 13, 14, 15, 20, 35,
39, 40, 46, 61, 65, 66, 71,
72
lleï de, 61, 65
Bradley, 2, 36, 73, 74, 75, 76,
77, 78, 79, 81, 82, 84, 87,
88, 89, 91, 92, 94, 95, 96,
97, 98, 99, 100, 101, 162,
163, 164, 169, 181, 182,
185, 186

C

celòstat, 79
Ceres, 17, 18, 19, 20
Challis, 43, 44, 45, 48, 55,
56, 57, 59, 72, 185
Chandler, 99, 153, 155, 156,
158, 160, 161, 162, 163,
167, 168, 169, 170, 172,
175, 177, 181, 182, 184
col·lodió humit, 104
cometa, 5, 6, 7, 8, 15, 75, 91,
105, 108, 186
Copèrnic, 67, 80
Corona, 121
cromosfera, 148

D

doblet, 108, 110

E

eclipsi, 24, 79, 148, 149, 150
equació personal, 28, 114,
159
error, 6, 13, 14, 28, 29, 31,
46, 47, 48, 51, 53, 54, 63,
65, 66, 67, 69, 70, 72, 82,
96, 114, 118, 119, 159,
162, 168, 179, 181, 182
espectroheliògraf, 148

estrella polar, 153, 165
excentricitat, 38, 67, 71

F

fàcula, 147, 148
Faraday, 172
Flamsteed, 36, 47, 97

G

Galle, 40, 42, 57, 70
Gauss, K. F., 16, 19
Georgium Sidus, 9, 10, 11,
12
gota negra, 27
gravitació, 19, 35, 40, 52, 72,
89

H

Halley, E., 75, 76, 77, 78, 91,
95, 96, 97, 100
heli, 92
heliòmetre, 28, 30, 31

J

Júpiter, 4, 10, 13, 14, 25, 39,
44, 53, 78, 98, 193

K

Keats, 3, 4, 5, 8, 9, 193

M

Mart, 10, 13, 14, 25, 28, 30,
31, 77
Mercuri, 10, 13

micròmetre, 7
Montaigne, 1

N

nebulosa, 77, 106, 126, 127,
128, 129, 130
Neptú, 12, 35, 56, 58, 61, 63,
65, 68, 69, 70, 72, 106
nutació, 73, 84, 93, 94, 95,
97, 99, 100, 159, 162,
164, 167, 186

O

Observatori de Greenwich,
43, 55
observatori Yerkes, 2

P

paral·laxi, 6, 30, 77, 81, 82,
83, 92, 159, 163, 165
París, 107, 111
pèndol, 97, 98
Piazzi, G., 14, 15, 16, 17, 20
planeta menor, 4, 21, 23, 24,
31, 32, 35, 56, 58, 72,
103, 131, 185

R

radi vector, 47, 48, 51, 53,
54, 67, 71

S

Saturn, 4, 10, 13, 39, 53, 128
Sol, 12, 13, 15, 19, 25, 26,
28, 29, 30, 31, 39, 46, 49,

51, 52, 61, 65, 78, 80, 84,
86, 117, 128, 130, 136,
137, 138, 140, 141, 147,
148, 150, 151, 152, 182

T

taques solars, 133, 134, 135,
136, 137, 138, 139, 140,
142, 144, 145, 147, 150,
151, 152, 153
telescopi, 3, 55, 56, 78, 80,
82, 84, 88, 90, 96, 104,
106, 108, 110, 113, 119,
122, 125, 139, 142, 152,
154

U

Universitat de Chicago, 2

Urà, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13,
14, 15, 21, 23, 35, 36, 37,
38, 39, 40, 43, 44, 45, 47,
48, 49, 51, 52, 54, 56, 61,
64, 67, 68, 69, 70, 71, 72,
124, 186, 193

V

variació de latitud, 84, 99,
153
Venus, 10, 13, 26, 27, 28, 29,
30, 67, 78
Via Làctia, 107

Z

zodiàc, 14, 56, 106, 117

Notes

PREFACI

¹ William Rainey Harper (1856-1906), primer rector de la Universitat de Chicago, des del 1891 fins la seva mort el 1906. En aquesta universitat va crear els primers departaments d'egiptologia i de sociologia dels Estats Units.

² Agnes Mary Clerke (1842-1907), famosa astrònoma i divulgadora irlandesa; la seva obra més coneguda fou la que cita Turner, *A Popular History of Astronomy during the Nineteenth Century*, publicada el 1885. Ralph Allan Sampson (1866-1939), astrònom britànic que va fer contribucions importants a la teoria dels moviments de les llunes de Júpiter. Stephen Peter Rigaud (1774-1839), astrònom i historiador de la ciència anglès, especialment dedicat a les biografies de científics.

1. URÀ I EROS

³ El poeta anglès George Chapman (1559-1634), contemporani de Shakespeare, va publicar les primeres traduccions completes a l'anglès de la *Ilíada* i l'*Odissea*, en les quals sovint amplia i reelabora els continguts originals d'Homer per afegir detalls descriptius o interpretacions morals. El poema de Keats, titulat «On First Looking into Chapman's Homer» relata l'entusiasme de l'autor en llegir la traducció de Chapman. L'«amic C. C. Clarke» que esmenta Turner és Charles Cowden Clarke (1787-1877), poeta i acadèmic anglès conegut pels seus treballs sobre Shakespeare.

⁴ És a dir, Hannover. William Herschel havia nascut a Hannover, d'on era originària també la família reial britànica des de Jordi I. La dinastia Hannover va durar fins a la reina Victòria.

⁵ Virgili, *Geòrgiques* I, 42. El vers original és «... *et uotis iam nunc adsuesce uocari*», «acostuma't des d'ara a ésser invocat amb pregueres» en la traducció de Miquel Dolç (Bernat Metge, Barcelona, 1963), que Herschel transforma en «acostuma't des d'ara a ésser invocat com “astre de Jordi”».

⁶ En realitat, Bode no va ser present en la creació d'aquest grup. Oficialment, es va constituir a l'observatori de Gotha el 20 de setembre de 1800 amb el nom oficial de *Vereinigte Astronomische Gesellschaft* (Societat Astronòmica Unida) i el nom informal de *Himmelspolizei* ('policia del cel'), amb Franz Xaver von Zach com a director i Johann Hieronymus Schröter com a president. Bode sí que va formar part del grup complet de 24 astrònoms que es van repartir les zones al voltant de l'eclíptica.

⁷ Tots dos formaven part de la *Himmelspolizei* esmentada en la nota anterior.

⁸ A data març de 2025, el nombre de planetes menors catalogats i que han rebut nom definitiu és de 793.000, la majoria dels quals en el cinturó d'asteroides entre Mart i Júpiter, però cada vegada més en la zona d'objectes transneptunians i en altres òrbites. Si hi afegim els descoberts però encara sense numeració assignada, el total puja a la vora de 1.400.000 cosos.

⁹ Johann Palisa (1848-1925), astrònom austrohongarès, descobridor de 122 planetes menors, tots descoberts sense emprar tècniques fotogràfiques. Palisa participà en l'expedició de 1883 a l'illa Carolina per observar l'eclipsi del 6 de maig, però sembla que no va poder recaptar prou fons amb la venda dels drets de nomenclatura per fer l'expedició de 1886.

¹⁰ La nomenclatura dels planetes menors es fa actualment en un procés de tres passos. En primer lloc, una designació provisional just després del descobriment. Una vegada les observacions són prou precises per predir-ne la ubicació futura, es designa formalment com a planeta menor i rep un número; passa a ser, doncs, un planeta menor numerat. Per últim, els seus descobridors poden batejar-lo amb un nom propi. Per

exemple, un dels asteroides descoberts per Josep Comas i Solà el 1921 va rebre la designació provisional de **1921 JB**; un cop confirmada l'òrbita se li va assignar el número 945 i va passar a ser el **(945) 1921 JB**; finalment, Comas i Solà va decidir batejar-lo amb el nom de Barcelona i el nom definitiu, doncs, és **(945) Barcelona**.

2. EL DESCOBRIMENT DE NEPTÚ

¹ Thomas John Hussey (1797-1866), astrònom britànic que va instal·lar un ben equipat observatori a Hayes, no gaire lluny de Londres.

² En tot aquest text, quan diu *empíricament* vol dir *numèricament*, és a dir, fent el càlcul matemàtic per trobar la posició possible a partir de les dades que es tenien.

³ Es refereix a la pluja de les leònides, que el 1833, en concret, van ser molt espectaculars. Le Verrier va ser precisament el primer a connectar aquest eixam de meteorits amb el cometa 55P/Tempel-Tuttle el 1865.

⁴ Es refereix a la British Association for the Advancement of Science (Associació Britànica per al Foment de la Ciència), fundada el 1831.

⁵ Es refereix al *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, revista acadèmica de matemàtiques fundada per Joseph Liouville, i coneguda en el món acadèmic, sobretot en aquells anys, simplement com «el Journal de Liouville». Actualment es continua publicant amb periodicitat mensual.

⁶ És l'article de 1904 «A description of Adams's manuscripts on the perturbations of Uranus», *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 54, pàg. 143-161.

3. BRADLEY, L'ABERRACIÓ I LA NUTACIÓ

¹ Les *grammar schools* són actualment centres d'educació secundària, amb matrícula sotmesa a determinats criteris de selecció. En època de Bradley eren sobretot escoles en què s'ensenyava llatí amb algunes hores d'aritmètica i altres

disciplines. En concret, la *grammar school* de Northleach es va fundar el 1559, es va clausurar cap a 1904 i es va reobrir com a escola mixta de secundària el 1927, fins el 1988, any en què es va tancar definitivament.

² James Pound va viure a dos llocs mentre era al servei de la Companyia Anglesa de les Índies Orientals: primer a Madràs (Chennai, a l'Índia), com a capellà dels mercaders del fort de Sant Jordi, i després a l'assentament britànic de Pulo Condore (Côn Sơn, a Vietnam). El matí del 3 de març de 1705, les tropes locals de la Companyia es van amotinar i només onze dels residents anglesos van escapar, primer a Malaca i després a Batàvia.

³ En aquest punt, val la pena comentar breument els diversos moviments de l'eix de la Terra. La *precessió* i la *nutació* són causades principalment per les forces gravitatòries de la Lluna i el Sol que actuen sobre la figura no esfèrica de la Terra. La precessió és l'efecte mitjà d'aquestes forces al llarg d'un període de temps molt llarg i també d'un moment d'inèrcia que varia amb el temps; té una escala temporal d'uns 26.000 anys. La nutació es produeix perquè les forces no són constants, sinó que varien a mesura que la Terra gira al voltant del Sol i la Lluna al voltant de la Terra. El principal factor que contribueix a la nutació és la inclinació de l'òrbita de la Lluna al voltant de la Terra, una mica més de 5° respecte al pla de l'eclíptica; l'orientació d'aquest pla varia al llarg d'un període d'uns 18,6 anys (període que s'anomena *saros*). Com que l'equador terrestre també està inclinat respecte al pla de l'eclíptica uns 23,4° (l'obliquïtat de l'eclíptica), els efectes es combinen per fer variar la inclinació de l'òrbita lunar respecte a l'equador terrestre entre 18,4° i 28,6° en aquests 18,6 anys. Això fa que l'orientació de l'eix de la Terra també variï durant aquest mateix període, i que la posició real dels pols celestes descrigui una petita el·lipse al voltant de la seva posició mitjana. El radi màxim d'aquesta el·lipse és d'uns 9,2 segons d'arc. A més a més, la Terra també presenta unes nutacions addicionals d'entre 0,10 i 0,15 segons d'arc amb un període de sis anys i mig, anomenades *variació de latitud* o *moviment*

de Chandler, i causades per la nutació lliure deguda a la distribució irregular de massa al voltant de l'eix terrestre. Aquesta última nutació és el tema del capítol 6 del llibre.

⁴ El títol de doctor en divinitat (*Doctor of Divinity*, D. D.) és un doctorat, sovint honorari i superior al doctorat en teologia, concedit per diverses universitats del món anglosaxó.

⁵ És a dir, les càtedres savilianes d'astronomia i de geometria.

4. DESCOBERTES ACCIDENTALS

¹ Aquesta «Oficina Central» és l'Oficina Central de Telegrams Astronòmics (Central Bureau for Astronomical Telegrams, CBAT) centre oficial de distribució internacional d'informació relacionada amb esdeveniments astronòmics transitoris, en representació de la Unió Astronòmica Internacional (UAI). L'Oficina va ser fundada per l'Astronomische Gesellschaft el 1882 a Kiel, Alemanya, però durant la Primera Guerra Mundial es va traslladar a l'Observatori Østervold de Copenhaguen. El 1922, la UAI va convertir l'Oficina en el seu Bureau Central des Télégrammes Astronomiques i va roman-dre a Copenhaguen fins al 1965, quan es va traslladar a l'Observatori de la Universitat Harvard.

² Williamina Fleming (1857-1911), gran astrònoma escocesa que, essent mare soltera, va ser contractada pel director de l'Observatori de Harvard, Edward Pickering, per ajudar en la classificació dels espectres estel·lars. Va formar part del que després es coneixerien com *computadores de Harvard*, juntament amb altres grans noms de l'astronomia com Henrietta Swan Leavitt, Annie Jump Cannon i Antonia Maury. Va descobrir 59 nebuloses, més de 300 estrelles variables i 10 noves.

5. SCHWABE I LES TAQUES SOLARS

¹ «no apareixen ni desapareixen obeint cap llei regular».

² Arthur Schuster (1851-1934), físic britànic d'origen alemany que va treballar en molts camps de la física, com l'espectroscòpia, l'electroquímica, l'òptica i les radiacions. El text fa referència a un dels seus treballs més destacats, l'estimació

de la densitat espectral, un mètode per detectar possibles periòdicitats en conjunts de dades.

6. LA VARIACIÓ DE LATITUD

¹ Remetem aquí a la nota 3 del capítol 3 per a una explicació resumida dels diversos moviments de l'eix de rotació de la Terra. A la nota següent expliquem més específicament el moviment de Chandler.

² Aquest sisè capítol del llibre és sens dubte el més complex pel que fa al contingut. Com ja hem comentat anteriorment, l'eix de la Terra presenta diversos moviments, els més importants, com la precessió i la nutació, són d'origen astronòmic, provocats per l'atracció dels altres cossos del sistema. Però encara n'hi ha un altre, també anomenat nutació o més específicament nutació lliure, que és causat pel fet que la Terra no és exactament esfèrica; és un moviment que es produiria encara que no hi hagués altres cossos a prop de la Terra. L'existència de la nutació lliure de la Terra va ser predita per Isaac Newton i per Leonhard Euler el 1765 com a part dels seus estudis sobre la dinàmica dels cossos en rotació. A partir de l'el·lipticitat de la Terra, ja ven coneguda en aquell moment, Euler va predir que aquest moviment tindria un període de 305 dies; diversos astrònoms van buscar moviments amb aquest període, però no en van trobar cap. La contribució de Chandler va ser buscar moviments amb qualsevol període possible. Un cop observada l'oscil·lació de Chandler, Simon Newcomb va explicar la diferència entre el període observat i el predit per Euler a partir del fet que la Terra no és totalment rígida. L'explicació completa és complexa i té en compte la naturalesa fluida del nucli i els oceans de la Terra; de fet, l'oscil·lació crea un moviment de marea molt petit d'uns 6 mm, anomenat *marea polar*, que és el que comenta Turner al final del capítol i que és l'única marea no causada per un cos extra-terrestre. El tema del moviment de Chandler, però, encara no està resolt del tot. Com que la Terra no és un cos rigid, el moviment s'hauria d'anar esmorteint, i se n'ha calculat la constant de temps en uns 68 anys. Els processos que reexciten contínuament l'oscil·lació poden ser canvis en la distribució

de massa o el moment angular del nucli extern, l'atmosfera, els oceans o l'escorça terrestre, però cap causa sembla encaixar amb els fets al cent per cent. No fa gaire, l'any 2001, un projecte de recerca liderat per Richard Gross al Jet Propulsion Laboratory de Caltech va determinar que dos terços de l'oscil·lació són causats per fluctuacions en la pressió al fons marí, que, al seu torn, són causades per canvis en la circulació dels oceans provocats per variacions de temperatura, salinitat i vent; el terç restant sembla causat per fluctuacions de la pressió atmosfèrica [Gross, Richard S., «The Excitation of the Chandler Wobble», *Geophysical Research Letters* 27 (15), pàg. 2329-2332, doi:10.1029/2000gl011450].

³ És la resposta que, segons Procle en els seus *Comentaris* al primer llibre dels *Elements*, Euclides va donar a Ptolemeu I Soter quan aquest li va preguntar si hi havia alguna via fàcil per al coneixement matemàtic: «No hi ha cap Camí Reial cap a la geometria», en referència al Camí Reial persa que connectava Susa i Sardis.