fa 100 anys

El Congrés de les Arts i la Ciència de Saint Louis. Setembre de 1904*

Josep Manel Parra†

El dia 30 d'abril de 1904 s'inaugurà a Saint Louis, amb exactament un any de retard, la Louisiana Purchase Fair. Va ser una grandiosa commemoració del centenari de la compra del Territori de Louisiana a la França de Napoleó, que l'havia rebut de Carles IV vint dies abans, per quinze milions de dòlars. La compra duplicà pràcticament el territori dels Estats Units i els deixà oberta l'expansió cap a l'oest. Amb una extensió d'unes 500 ha, aquesta Fira Universal disposà d'un immens pavelló dedicat monogràficament a l'ensenyament, on es posaren en evidència tant els grans avenços en concepció, organització i gestió com les immenses desigualtats existents entre països —amb Alemanya al capdavant— i entre el sud i la resta dels EUA. En sintonia amb la gran importància donada a l'extensió universal del coneixement, la tercera setmana de setembre s'organitzà un Congrés Internacional de les Arts i la Ciència, on van participar més de 125 destacats especialistes de les millors universitats d'Anglaterra, França, Alemanya, Holanda, Escandinàvia, Àustria, Itàlia i Japó.[1]

Aquesta fita sense precedents fou el resultat de dos anys de treball del comitè organitzador, presidit per l'astrònom Simon Newcomb (1835-1909), que no dubtà a recórrer Europa per engrescar en el projecte els acadèmics del Vell Món. Els representants de les universitats dels EUA s'encarregaren de fer les exposicions generals i les de síntesi dels avenços realitzats al llarg del segle XIX. Els vuit volums editats per Houghton Mifflin and Co. el 1906, amb les més de 300 conferències, acomplien el doble paper d'oferir una visió unificada dels assoliments intel·lectuals de la humanitat des del temps de la compra de Louisiana i de constituir un llegat útil per a l'estudi, la reflexió i la discussió de científics i humanistes. Atesa la particular importància que per a la història de la física revesteixen unes aportacions fetes en uns moments de crisi revolucionària en els dominis experimental, teòric i filosòfic en el seu sentit més ampli, l'American Institute of Physics (AIP) procedí ja l'any 1986 a reeditar-ne un recull.[2] Amb aquesta reedició parcial es traïa en certa manera la intenció universalista dels organitzadors, expressada per Newcomb en el seu discurs d'obertura: «La característica d'aquest període (postnewtonià) que guarda una relació més estreta amb la voluntat de trobar-nos aquí reunits és l'aparent subdivisió interminable del coneixement en especialitats, moltes de les quals estan esdevenint tan petites i aïllades que semblen desproveïdes d'interès per a tothom, si exceptuem els seus pocs practicants [...]. El problema que afrontaren els organitzadors d'aquest Congrés va ser, per tant, reunir les ciències i cercar aquella unitat que creiem subjacent a la seva infinita diversitat [...]. No podem esperar confiadament que les discussions d'una tal reunió (d'eminents representants) contribueixin a configurar un futur per a la ciència que fins i tot eclipsarà el seu brillant passat?» (PNC, 13-14).

No menys significatives de la voluntat, la visió i les preocupacions que animaren els organitzadors són les paraules finals de Newcomb, segons les quals els il·lustres visitants estrangers del Vell Món podien trobar, en el seu contacte amb el Nou Món, «en compensació per la manca d'un passat com el seu, la visió profètica d'una futura potència mundial de la qual aquesta regió serà la seu. Si aquest ha de ser el resultat de les institucions que ara estem construint, que aquesta vostra visita sigui una benedicció tant per a la vostra posteritat com per a la nostra, i faci que aquest poder sigui beneficiós per a tota la humanitat. Les vostres deliberacions ajudaran a demostrar-nos a nosaltres, i al món en conjunt, que el regne de la llei ha de substituir el de la força bruta en les relacions de les nacions, tal com ja l'ha substituït en les relacions dels individus. Ajudareu a mostrar que la guerra que la ciència ara està lliurant contra les causes de les malalties, el dolor i la misèria ofereixen un camp per a l'exercici de les qualitats heroiques més noble que

* Aquest treball s'ha dut a terme en el marc dels projectes BFM2003-07076/FISI de la SEID i 2001SGR-00061 del CURE.

† **Josep Manel Parra** (Barcelona, 1952) és doctor en Física per la Universitat de Barcelona (1985) i professor titular de Física Teòrica en el Departament de Física Fonamental de la Universitat de Barcelona (http://www.ffn.ub.es/~jmparra/).

[1] Resulta interessant, i fins i tot culturalment provocatiu en relació amb el Fòrum de les Cultures de Barcelona 2004, aproparse als diversos aspectes de la Purchase Fair de Saint Louis de 1904. Podeu consultar: http://www.earthstation9.com/1904_stl.htm i http://www.boondocksnet.com/expos/louisiana.html.

[2] *Physics for a New Century*, 1986. D'ara endavant les citacions procedents d'aquest text s'indicaran de la manera següent: (PNC, pàgina). La traducció és de l'autor de l'article.

el camp de batalla».

El recull de conferències feta per l'AIP conté tant les corresponents a la física, amb les seves seccions de *a*) física de la matèria, *b*) física de l'èter i *c*) física de l'electró, publicades el 1906 en el volum 4, com algunes contribucions escollides del volum 1, publicat el 1905 i dedicat a la filosofia i les matemàtiques. Per tal de guanyar, des de la física, una panoràmica general del que significà el Congrés i de les preocupacions dels físics del moment, procedirem a comentar i a documentar parcialment, amb la traducció al català de petits fragments, les diferents intervencions en l'ordre que hem considerat més oportú. Dedicarem les dues darreres seccions a l'anàlisi i al comentari sobre l'interès actual de la contribució de Poincaré que clou el volum.

Les ponències del Congrés

El recull s'inicia amb les reflexions «Sobre la teoria de la ciència», de **Wilhelm Ostwald** (1853-1932, Nobel de Química el 1909). Ostwald, que després de la seva jubilació el 1906 s'interessà activament pel pacifisme i per reformes que afavorissin l'educació científica, clou la seva contribució exhortant a una planificació de l'educació universitària que «produeixi una collita regular de joves científics que no tan sols tinguin el coneixement transmès, sinó que també dominin la tècnica del descobriment». Posa les universitats alemanyes de l'època com a referència del camí a seguir perquè la ciència creixi de manera regular. En conjunt, argumenta la unitat del coneixement científic assolida per la combinació entre experimentació i abstracció, entre inducció i deducció, la necessitat de superar la distinció —sempre relativa— entre ciències pures i aplicades. Tant la seva conferència a Saint Louis com el seu discurs de recepció del Nobel mantenen un marcat interès en el present debat sobre l'anomendada *guerra de les ciències*.[3]

Ludwig Boltzmann (1844-1906), creador de la teoria cinètica dels gasos i un dels fundadors de la mecànica estadística, contribuí al Congrés amb una ponència titulada «Les relacions de la matemàtica aplicada» (PNC, 267-279). Després de lamentar la immensa separació que divideix la física en teòrica i aplicada, fa una defensa de la formulació d'hipòtesis i constata la seva inevitabilitat, ja que «sempre existirà la tendència a completar la visió prevalent fins on sigui possible i a fer-la autosuficient sempre que la teoria sigui autoconsistent i no condueixi a cap mena de contradicció, tant si consisteix en models mecànics, imatges geomètriques o fórmules matemàtiques [...]. Hem de tenir present el fet que les hipòtesis requereixen i són susceptibles d'un desenvolupament continu i que, per tant, només han de ser abandonades quan totes les relacions que representen poden entendre's millor d'una altra manera».

A continuació reivindica que el científic tracti de qüestions que en èpoques anteriors es deia que pertanyien a la filosofia i no havien de pertorbar el científic, com ara la natura de la llei de causalitat, de la matèria, de la massa o de si la matèria és contínua o discreta perquè «una de les primeres regles de la ciència és no confiar mai cegament en l'instrument amb el qual treballem, sinó comprovar-lo en tots els sentits. Com, doncs, hauríem de confiar cegament en concepcions heretades i històricament desenvolupades, particularment quan disposem d'exemples coneguts en què aquestes concepcions ens dugueren a l'error?» Prenent les antinòmies de Kant com a exemple que no duu enlloc, afirma rotundament: «La meva tesi és força diferent d'aquella que estableix que hi ha qüestions més enllà del límit de la comprensió humana. Perquè, d'acord amb aquesta darrera, hi ha una deficiència, una incompletesa en la intel·ligència humana, mentre que jo considero l'existència d'aquestes qüestions, aquests problemes, una il·lusió».

Refusa el caràcter *a priori* de les categories kantianes i les lleis del pensament, de manera que s'han de «millorar, artificialment i conscientment, els conceptes heretats. El nostre problema no pot ser citar els fets davant del tribunal de les nostres lleis de pensament, sinó encaixar les nostres representacions mentals i conceptes amb els fets [...]. No hem d'intentar deduir la natura dels nostres conceptes, sinó adaptar aquests darrers a la primera». Calen totes aquestes consideracions per tal de poder arribar a plantejar un «judici imparcial sobre com s'ha de considerar la qüestió de la teoria atòmica de la matèria. No hem d'invocar la llei del pensament segons la qual no hi ha límit en la divisibilitat de la matèria [...]. D'una banda, hem de partir dels fets i, de l'altra, no hem de prendre res en consideració llevat de l'esforç d'assolir l'expressió més adequada d'aquests fets».

Passant ja explícitament a defensar la mecànica estadística argumenta: «Sembla que siguem incapaços de definir l'infinit de cap altra manera que no sigui com a límit de magnituds contínuament creixents, almenys fins ara ningú no ha estat capaç d'establir una altra concepció intel·ligible de l'infinit. Si volem una imatge mental del continu, hem de pensar primer en un nombre finit molt gran de partícules que estan dotades de certes propietats i estudiar la totalitat d'aquestes partícules. Algunes propietats d'aquesta totalitat s'aproparan a un límit definit quan el nombre de partícules augmenti i la seva grandària disminueixi. Podem afirmar, en relació amb aquestes propietats, que pertanyen al continu, i és la meva opinió que aquesta és l'única definició autoconsistent d'un continu que estigui dotat de propietats segures. La qüestió de si la matèria està composta d'àtoms o és contínua esdevé la qüestió de si les propietats observades se satisfan adequadament partint de la suposició d'un nombre immensament gran d'aquestes

[3] Una perspectiva alhora àmplia i equilibrada sobre aquest tema és la que ofereix Terry Boyce a http://www.physics.hku.hk/~tboyce/ss/topics/topics.html.

partícules o, al contrari, es corresponen amb el límit que s'obté per l'increment indefinit del seu nombre. No hem respost, certament, a l'antiga qüestió filosòfica, però ens hem estalviat l'esforç de contestar-la d'una manera inútil i sense sentit».

Després de retre homenatge al recentment desaparegut professor de Yale J. W. Gibbs per la seva obra de sistematització i compilació de la mecànica estadística, i fidel al seu conegut caràcter de polemista, manifesta el seu «acord amb Schiller quan deia als filòsofs i científics del seu temps: "Disputeu entre vosaltres i la unió arribarà ràpidament." Crec que ha arribat el temps d'aquesta unió».

Robert Simpson Woodward (1849-1924) reprèn aquest tema amb «La unitat de les ciències físiques». Woodward, que al llarg de la seva vida exercí d'enginyer civil, geòleg, astrònom, matemàtic i administrador, i arribà a presidir l'American Mathematical Society (1899-1900) i el Carnegie Institute (1905-1920), fa un ràpid repàs als progressos i als problemes oberts en els diversos àmbits de la ciència, entre els quals citem aquí la cada cop més sentida necessitat de donar una explicació de la llei de la gravitació: «Probablement ha resultat molt avantatjós el fet que els "astrònoms dinàmics" no hagin estat seriosament pertorbats per un desig d'harmonitzar aquesta llei amb les lleis més elementals de la mecànica. Potser, inconscientment, s'han conformat a establir-se en la plataforma conceptual segons la qual la gravitació és una de les "causes primordials" que ens són impenetrables. Hi ha indicis que fins i tot Laplace i Fourier ho acceptaren així. Sigui com sigui, en el segle passat ha resultat cada cop més imperatiu explicar la gravitació o descobrir-ne el mecanisme [...]. Tota evidència sembla que indica que l'èter ha de procurar aquest mecanisme; però, encara que sembli mentida, l'èter ha desconcertat tots els intents de revelar el secret».

En el que resulta una reafirmació d'un dels objectius emblemàtics del Congrés, conclou que: «Ens trobem davant del fet que l'estudi de l'home en tots els seus atributs és avui un domini establert de la ciència. Amb això ens elevem a un nivell de suprema fascinació; perquè, adaptant una frase d'un eminent mestre de la ciència física, els instruments de la investigació són els objectes de la recerca. En això també trobem la culminació de la unitat, no tan sols de les ciències físiques, sinó de totes les ciències [...]. Conscient, per tant, que els seus mètodes són els adequats, el partidari de la ciència física té tot l'incentiu per continuar les seves tasques amb incansable zel i confiat optimisme.» En conjunt, una clara imatge del que ha estat i representa la ciència en la història de la humanitat.

Carl Barus (1856-1935), fill d'un músic alemany que emigrà als EUA, inicià els estudis d'enginyer de mines a Colúmbia, però seguint la seva vocació es doctorà en Física a la universitat alemanya de Würzberg. D'interessos culturals vastíssims, tant en literatura (des de la tragèdia en grec original fins a les literatures francesa i italiana) com en música (arribà a tocar fins a nou instruments i a escriure més de cinquanta composicions), fou professor de física a la Brown University del 1895 al 1926, i gaudí d'un ampli reconeixement internacional per la seva extensa producció científica. La seva contribució al Congrés consistí en un repàs necessàriament sintètic als avenços dels diversos camps de la física al llarg de tot el segle XIX. La presència d'aquest tipus de contribucions recapitulatives, encarregades a professors americans, fou una de les constants del Congrés.[4]

Els darrers avenços als quals fa referència tracten de la nova *teoria electrònica*. Consideracions sobre els raigs catòdics, els raigs X i la radioactivitat li fan concloure que: «Les manifestacions físiques que acompanyen el trencament de l'estructura atòmica, que s'han mostrat admirablement variades, assumeixen una importància fonamental quan sembla que la qüestió última que es planteja és ni més ni menys que una reconstrucció completa de la dinàmica sobre una base electromagnètica. Avui s'afirma amb confiança que la massa de l'electró és en la seva totalitat de la mena de la inèrcia electromagnètica, i d'ací, com Abraham ha mostrat (1902) a partir de les dades de Kaufmann (1902) sobre l'increment de la massa electromagnètica amb la velocitat del corpuscle, les equacions lagrangianes del moviment poden reexpressar-se en forma electromagnètica. Aquesta profunda qüestió ha estat abordada independentment per dues línies de pensament: una que comença amb Heaviside (1889), que sembla haver estat el primer de calcular l'energia magnètica de l'electró, J. J. Thomson (1891, 1893), Morton (1896), Searle (1896) i Sutherland (1899); l'altra, amb H. A. Lorentz (1895), Wiechert (1898,1899), Des Coudres (1900), Drude (1900), Poincaré (1900), Kaufmann (1901) i Abraham (1902). Aquesta nova tendència electrònica en física no tan sols dóna compte acceptablement de la calor, la llum, els raigs X, etc., sinó també de la funció de Lagrange i de les lleis de Newton. Sembla, doncs, que [...], així com el segle XIX va començar amb la dinàmica i acabà amb l'electricitat, el segle XX comença de nou amb la dinàmica per assolir una meta la magnitud de la qual la ment humana només pot esperar amb un gran respecte.» (PNC, 142-143).

Edward Leamington Nichols (1854-1937), un gran lluitador pel reconeixement de l'activitat científica a la societat americana, que presidí l'American Physical Society, l'American Association for the Advancement of Science i la societat Sigma Xi, fundador i primer director de la *Physical Review*, tracta de donar en «Els conceptes fonamentals de la ciència física» una visió de conjunt de l'estructura conceptual de la física. El seu

[4] James Pierpont donà el resum de «La història de la matemàtica en el segle XIX», *Bull. AMS*, **37**, 9-24 (2000).

punt de partida, d'un mecanicisme no allunyat del mantingut per W. Thompson (Lord Kelvin), queda reflectit en la distinció que fa entre física positiva i física especulativa: «Tenim, per tant, dos conjunts diferents de conceptes físics. El primer tracta de la part positiva de la física, la base mecànica de la qual, havent-se establert sobre l'observació directa, és fixa i definida, i en la qual les relacions són tan absolutes i certes com les de la matemàtica. Aquí l'especulació n'està exclosa [...]. La física especulativa, a la qual pertanyen el segon conjunt de conceptes, tracta d'aquelles parts de la ciència per a les quals la base mecànica ha de ser imaginada. La calor, la llum, l'electricitat, la ciència de la natura i de les propietats últimes de la matèria pertanyen a aquest domini.» (PNC, 98).

Nichols, destacat per les seves investigacions en òptica experimental, s'ocupa extensament de la problemàtica de l'èter, i valora especialment la contribució teòrica de Maxwell en concebre l'òptica com una branca de l'electromagnetisme i la contribució experimental de Hertz que establí, al seu parer, un fonament segur per a la concepció d'un únic medi universal del qual es podria raonablement esperar que fos la base mecànica per a tots els fenòmens físics. No eludeix, però, examinar la complexitat i els obstacles que planteja aquesta reducció. Així, parafrasejant Larmor, diu: «*L'èter* sota tensió constitueix la "càrrega"; *l'èter* en moviment constitueix el corrent i el magnetisme; *l'èter* en vibració constitueix la llum. Allò que és *l'èter* no ho sabem, però potser és una forma o aspecte de la matèria. Podríem donar un pas més i dir: La matèria es compon d'*èter* i de res més [...]. Per moltes mentalitats aquesta aparent adaptabilitat universal de l'èter a les necessitats de la física el sostrau pràcticament del camp de l'especulació; però no hauríem d'oblidar que es pot concebre un sistema, completament imaginari, de manera que encaixi amb tots els fenòmens coneguts, que sembli que ofereix l'única explicació satisfactòria dels fets, i que sigui posteriorment abandonat en favor d'altres concepcions. La història de la física està plena d'exemples en els quals una teoria és considerada durant un temps com a final d'acord amb seva aparent completesa, només per donar pas a alguna cosa totalment diferent.» (PNC, 101).

El seu posicionament mecanicista i pragmàtic queda reafirmat al final de la seva intervenció quan cita el prefaci del *Treatise on Physics* de Choulson: «La percepció subjectiva es fa objectiva, a saber, li és assignada un *temps* i un *lloc* en el món exterior i se li dóna un nom. La investigació dels processos mitjançant els quals aquesta objectivació es produeix és funció de la filosofia.» Afegeix tot seguit: «[L'home de ciència ha d'estar] agraït que la *investigació de l'objectivització* és, certament, *una funció de la filosofia* i que les úniques especulacions en les quals ell, com a físic, està legitimat a comprometre's són aquelles que en tot moment són reconduïdes a les matemàtiques o als igualment definits axiomes i lleis de la mecànica.» (PNC, 105).

Arthur Lalanne Kimball (1856-1922), professor de física de l'Amherst College i autor de diversos llibres de text, s'encarregà d'oferir la panoràmica sobre «Les relacions de la ciència de la física de la matèria amb altres branques del coneixement» (PNC, 145-162). En la seva intervenció, plena de referències a la química, defensa la teoria atòmica, exposa el model atòmic de Thomson i critica l'energetisme d'Ostwald: «Allò que anomenem matèria és només un complex d'energies que trobem conjuntament en el mateix lloc.» Amb tot, es planteja obertament la qüestió següent: «és necessari considerar l'explicació mecànica com l'única correcta? Si l'electricitat i l'èter són les entitats fonamentals que hi ha al darrere de tota la matèria i fenomen material, no és més lògic trobar una base per a les lleis mecàniques en algunes lleis de l'èter i l'electricitat més fonamentals i que haurien de ser acceptades com a postulats primaris?» Després de recordar les aportacions de Gibbs, tracta dels avenços en la física d'altes pressions amb implicacions per a la geologia i en la de molt baixes temperatures, amb aplicacions sorprenents a la química i a la biologia.

Li correspongué a **Francis Eugene Nipher** (1847-1926), primer Wyman Crow Professor in Physics de la Washington University de Saint Louis,[5] plaça que després han ocupat físics tan reconeguts com ara A. H. Compton, E. U. Condon, E. Feenberg i E. T. Jaynes, exposar «Els problemes actuals en la física de la matèria». La seva exposició girà entorn dels seus recents treballs sobre la contracció gravitatòria de les nebuloses gasoses i del que seria la seva futura línia de recerca, l'estudi detallat dels fenòmens de conducció i de descàrrega èlectriques, duts a terme amb la utilització d'innovadores tècniques fotogràfiques de sobreexposició dels negatius. El seu posicionament eclèctic en el debat sobre el caràcter mecànic o electromagnètic de les estructures físiques fonamentals queda reflectit en la seva afirmació: «Aquest paral·lelisme, certament, suggereix una teoria elèctrica de la matèria, però igualment suggereix una teoria material de l'electricitat. Per tant, lluny de ser antagonistes, aquestes dues teories són idèntiques. No hi ha cap indicació que mostri que l'electricitat mai hagi estat separada d'alguna cosa que posseeix allò que ens hem acostumat a anomenar massa.» (PNC, 170).

Ernest Rutherford (1871-1937), que no necessita cap presentació, centrà la seva contribució a plantejar molt clarament quins eren, al seu entendre, els problemes més importants de tractar en l'estudi de la radioactivitat, camp en el qual acabava de publicar un *Treatise*. Sobre les radiacions β assenyala la importància que ha de tenir

[5] Per a la història d'aquesta càtedra podeu consultar: http://library.wustl.edu/units/spec/exhibits/crow/.

analitzar la deflexió en camps elèctrics i magnètics, i determinar la raó càrrega/massa d'aquella petita fracció de raigs que més s'apropin a la velocitat de la llum ja que: «D'acord amb la teoria matemàtica, la massa de l'electró s'incrementa ràpidament en apropar-se a la velocitat de la llum, i hauria de ser infinitament gran quan s'assoleix aquesta velocitat. Això porta a la conclusió que cap cos carregat pot ser forçat a moure's a una velocitat superior a la de la llum. Aquest resultat és d'una gran importància i requereix una més gran verificació experimental.» (PNC, 159). Deixa per a Langevin l'exposició més detallada de la teoria i l'experimentació sobre els electrons.

Molt més precisa és la presentació dels raigs α, que, amb una raó càrrega/massa mil cops inferior a la dels electrons, presenten una esfera de càrrega també mil cops més petita. Reconeix, en aquests fets, una diferència fonamental no explicada entre les càrregues de diferent signe, alhora que avança la hipòtesi que es tracta de la matèria dels àtoms d'heli projectada a gran velocitat. Aquesta hipòtesi, fonamentada en la constatació química de l'aparició d'heli en els processos de desintegració de diversos materials radioactius, li permet indicar ja el mètode de datació radioactiu dels minerals a partir de l'heli que ha quedat atrapat en la seva estructura. D'altra banda, queda descartada la possibilitat que la immensa energia cinètica d'aquestes radiacions pugui ser adquirida per interacció amb el medi: es necessitaria l'acció de potencials immensos, ja que no queden afectades per la temperatura ni per cap procés de recombinació química, etc. Així, doncs, la font d'energia ha de basar-se en una estructura interna dels àtoms radioactius: «Sembla raonable suposar que, mentre les substàncies radioactives es comporten químicament com a elements, en realitat són compostos de tipus de matèria més simples i es mantenen units per forces molt més fortes que les que hi ha entre els components dels compostos moleculars ordinaris. A part de la radioactivitat, els radioelements no mostren cap propietat química que els distingeixi dels elements no radioactius, excepte el seu elevat pes atòmic. Aquestes consideracions suggereixen de manera evident que els elements inactius més pesants poden molt bé ser també compostos.» (PNC, 182). Indicacions força concretes, fetes el 1904, de l'encara llunyana física nuclear!

Les petitíssimes quantitats de materials radioactius disponibles a l'època feien impracticable l'ús de la balança analítica i, així, els productes de successives desintegracions s'anomenaven «radi → emanació de radi → radi A → radi B → radi C; tori → tori X → tori A → tori B; etc.» Davant d'aquesta situació, Rutherford veu clar que: «El problema més important en aquest moment en l'estudi dels minerals radioactius no és l'intent de descobrir i aïllar noves substàncies radioactives, sinó correlacionar les ja descobertes [...]. Aquesta problemàtica és susceptible de ser abordada directament, mitjançant una combinació de mètodes físics i químics, i amb tota probabilitat obtindrem ben aviat respostes força definides.» (PNC, 184). En la meva opinió, la contribució de Rutherford és un excel·lent punt de partida per a un treball de recerca en física i química en el qual l'alumne pot reconstruir una part substancial de l'avenç científic en el coneixement de l'estructura última de la matèria. La lliçó de Rutherford resulta engrescadora, tant des de la perspectiva de la història de la ciència com des de la genuïna curiositat científica.

Dewitt Bristol Brace (1859-1905) es doctorà a Berlín, on estudià amb Helmholtz i Kirchhoff. Des del 1887 continuà la seva recerca en òptica i electromagnetisme a la Universitat de Nebraska, amb una política activa de compra d'instruments per a la recerca, per al treball de laboratori dels alumnes i per a les demostracions a classe. En la seva exposició «L'èter i la matèria en moviment» revisa els diferents models d'èter proposats al llarg del segle XIX i els nombrosos experiments duts a terme sobre l'aberració estel·lar i la propagació de la llum. Referint-se als resultats negatius de l'experiment de segon ordre de Michelson i Morley, afirma: «Aquest resultat és plenament consistent amb un èter en moviment, però aparentment contradictori amb un èter en repòs, com el proposat per Fresnel. Aparentment, o bé s'ha negligit alguna condició en les hipòtesis fonamentals d'un tal medi, o bé cal imaginar hipòtesis suplementàries. Hipòtesis similars van ser concebudes independentment per Lorentz i Fitzgerald, poc després de la publicació dels experiments de Michelson i Morley el 1887. Assumeixen que una contracció en la direcció del moviment té lloc en un sistema que es mou a través de l'èter, de manera que la seva dimensió es redueix en una fracció de si mateix igual al quadrat de la constant d'aberració. Com a suposició, suggereix únicament una compensació per satisfer un efecte residual aparent, i no tindria cap més significació si resultés impossible incorporar-la en una teoria consistent de l'acció de l'èter. Això és el que han fet Lorentz i Larmor en les seves teories de sistemes en moviment. Lorentz, que va ser el primer de desenvolupar una teoria satisfactòria de l'èter en repòs [...].» (PNC, 189-190).

Després de passar revista a l'experiment de Trouton-Noble i de recordar la crítica feta per Larmor a l'estratègia d'introduir noves hipòtesis *ad hoc* per explicar els resultats negatius a cada ordre superior de precisió experimental, acaba descrivint el programa final de Lorentz: «En l'anàlisi més recent feta per Lorentz (1904), es mostra la necessitat d'un tractament general no limitat al segon ordre, sinó vàlid també per als ordres més elevats. En una consideració sobre els medis transparents, la seva teoria tracta de mostrar que la translació no altera la interferència ni la difracció ni la polarització. Per tant, mitjançant la suposició dels anomenats *el·lipsoides*

de Heaviside com a figura dels electrons, podria explicar els resultats negatius dels experiments òptics, així com les observacions de Kaufmann sobre els raigs de Becquerel.» (PNC, 193).

Paul Langevin (1872-1946)[6] contribuí al Congrés amb l'anàlisi de «Les relacions de la física dels electrons amb altres branques de la ciència» (PNC, 195-230). És la conferència que expressa més clarament l'estat de la física en aquells moments. L'evidència experimental que la càrrega elèctrica té una estructura corpuscular discontínua obre les expectatives d'una nova síntesi, de la qual indica les línies programàtiques. Encara que l'èter és per ell una realitat evident a partir de la descripció dels camps electromagnètics, considera que «serà necessari pensar l'èter, concebre'l, amb independència de qualsevol representació material, mitjançant aquelles propietats electromagnètiques que ens hi posen en contacte». Explica amb cert detall la concepció de Lorentz, segons la qual els centres d'electrificació (llocs on la divergència del camp elèctric no és nul·la) es desplacen relativament a l'èter immòbil de manera que el flux total del camp elèctric es manté (conservació de la càrrega, d'acord amb la llei de Gauss). A partir d'experiments molt diversos s'arriba a la conclusió que és una «propietat fonamental de l'èter i dels electrons, que tots aquests centres d'electrificació, sigui quin sigui el seu origen, són idèntics des del punt de vista de la càrrega que porten».

També explica, a partir de les idees de J. J. Thomson, com les equacions de Maxwell descriuen la formació d'una cua o embolcall electromagnètic entorn de l'electró, que es desplaça a velocitat constant en l'èter, de manera que l'energia electromagnètica de l'embolcall dóna compte de la inèrcia. La forma de l'embolcall, i amb ella el valor de la inèrcia, depenen de la velocitat; la inèrcia tendeix a infinit quan la velocitat s'apropa a la de la llum. La no-observabilitat del moviment absolut queda explicada per un conjunt d'accions de natura electromagnètica descrites per Lorentz. Langevin accepta, però, la possibilitat que experiments futurs de natura no electromagnètica puguin determinar uns eixos fixos en l'èter, que fins llavors tan sols han pogut ser concebuts. De manera clara, doncs, no accepta el principi de relativitat universal que Poincaré defensarà en la seva comunicació a la secció de matemàtiques aplicades.

Un cop analitzat el «moviment uniforme de l'electró en absència de tot camp electromagnètic extern capaç de modificar el seu moviment donant-hi una acceleració», Langevin es planteja el problema general de la connexió de l'èter amb l'electró. Cal respondre a dues qüestions: *a*) Quina és la pertorbació electromagnètica de l'èter que acompanya un moviment donat arbitrari de l'electró? *b*) Quins moviments tindran els electrons lliures si es desplacen en un camp magnètic extern sobreposat a aquell que constitueix el seu embolcall? La resposta a la primera qüestió és completa i correspon al càlcul del camp (ona) de velocitat i del camp (ona) de radiació de Liénard-Wiechert, per bé que Langevin atribueix aquesta solució a Lenard i, més endavant, a Schwartzschild i ell mateix. La conclusió és que l'origen de tota radiació electromagnètica és l'acceleració dels electrons.

El segon problema és menys simple: es tracta de determinar la dinàmica de l'electró. Langevin entén que els termes dinàmics corresponents a les accions externes han estat determinats seguint els mètodes lagrangians proposats per Maxwell, i corresponen a (la força de) Lorentz. Són els termes dinàmics que representen les forces que depenen del mateix moviment, i que produeixen resistència al moviment, similars, per tant, a les forces d'inèrcia, els que plantegen dificultats. I en aquest punt, Langevin considera abocats al fracàs tots els intents d'extrapolar a l'èter els principis i conceptes de la dinàmica de la matèria, com el de força, massa, etc. Més encara, indica que, si ja les forces de Lorentz no satisfan el principi de la igualtat entre acció i reacció, no hauríem de tractar d'estendre el principi més enllà d'on els fets en suggereixin la validesa. En el cas hipotètic que poguéssim estendre aquest principi, «la quantitat de moviment electromagnètica hauria de ser, a cada punt de l'èter, en direcció i magnitud, proporcional al vector de Poynting, que dóna al temps la definició de l'energia transmesa a través del medi». Aquest procediment obligà Abraham, sota les condicions de moviment quasi estacionari (quan l'ona d'acceleració és negligible en relació amb l'embolcall o ona de velocitat), a substituir la massa per un tensor paral·lel a la velocitat o, el que és equivalent, a distingir entre massa transversa i massa longitudinal.

Langevin troba lògicament inadequat el camí seguit per Abraham: es parteix de les idees i principis de la mecànica de la matèria, s'extrapolen a l'èter i, com a resultat, s'obté per a la matèria una massa asimètrica i variable que no es correspon amb el concepte inicial de massa. Langevin proposa un canvi de perspectiva i prendre l'èter i els camps electromagnètics com a conceptes fonamentals, i fer-ne derivar els conceptes de massa i de força. És la dinàmica electromagnètica que invertirà l'analogia que establí Maxwell entre les equacions de l'electromagnetisme i les equacions de la dinàmica de Lagrange. Langevin parteix, així, del principi d'ac-

[6] Físic francès que ha fet contribucions importants a la física, com ara la seva explicació electrònica del paramagnetisme el 1905 (que influí en la formulació de l'àtom de Bohr), l'equació de Langevin per al moviment brownià (amb la qual refinà i simplificà el tractament donat per Einstein) o el desenvolupament del sònar. Destacà també per les seves innovadores posicions pedagògiques: col·laborà amb J. Perrin en la creació del Palais de la Découverte, el 1932 presidí el Congrés Internacional de la Nova Educació i la seva obra pòstuma, el Pla Langevin-Wallon per a la reforma de l'ensenyament, és encara avui un document de referència. Podeu consultar: http://www.edpsciences.org/articles/epistemo/abs/2002/01/contents/contents.html; http://www.cidem.org/cidem/themes/education/edu_infos/textes_reference/edu_t010b.pdf; http://assore veil.org/plan_l-w.html.

ció electromagnètica estacionària per obtenir resultats semblants als d'Abraham: en la hipòtesi de moviment quasi estacionari els termes proporcionals a l'acceleració presenten coeficients que depenen de la velocitat i que es poden caracteritzar com a massa longitudinal i massa transversa; i els termes que depenen de la càrrega coincideixen amb els de Lorentz. El moviment de l'electró *material* està, així, totalment determinat per l'estat electromagnètic del sistema.

Per a l'obtenció efectiva de les equacions, Langevin ha de fer algunes hipòtesis sobre l'estructura etèria o electromagnètica de l'electró: «Per tal de simplificar l'anàlisi i evitar tractar el moviment de rotació de l'electró, el consideraré simplement com una cavitat a l'èter; les integrals de volum que expressen les energies W_e, W_m dels camps elèctrics i magnètics s'estenen tan sols sobre l'espai extern a la cavitat [...].» Si la cavitat se suposa que és esfèrica i invariable, s'obtenen les masses d'Abraham. Si s'imposa un volum fix a causa de la incompressibilitat de l'èter extern, que és la proposta de Langevin, s'obté un el·lipsoide oblat que es diferencia del de Lorentz per tenir incrementat el diàmetre equatorial (transvers al moviment). La constància d'aquest diàmetre fa que l'electró de Lorentz disminueixi el volum en augmentar la velocitat. Langevin indica com els tipus d'experiments duts a terme per Kaufmann sobre els raigs β del radi permeten tan sols una comprovació experimental de l'expressió teòrica per a la massa transversa; la precisió de les dades experimentals és insuficient per discriminar entre els tres models proposats. Per aquest motiu considera extremament important la realització d'experiments d'acceleració lineal en camps elèctrics intensos. Amb tot, l'acord obtingut és suficient per afirmar que «podem concloure raonablement que les partícules catòdiques que constitueixen els raigs β no tenen altra massa que la deguda a les seves càrregues o a l'embolcall que arrosseguen en el seu moviment a través de l'èter».

Aquest resultat l'anima a especular que tota la matèria pot estar formada per agregats d'electrons de càrregues oposades, ja que seria poc raonable aplicar dues explicacions totalment diferents a dos fenòmens pràcticament idèntics, com són la inèrcia de la matèria ordinària i la inèrcia de les partícules catòdiques. Langevin ofereix, així, una imatge paradigmàtica (o exemplar) del científic que proposa un paradigma (o programa de recerca) emergent: «Aquesta concepció, aquesta teoria electrònica de la matèria en la qual la matèria esdevé, almenys parcialment, sinònim d'electricitat en moviment, sembla donar compte d'un nombre enorme de fets, nombre que s'incrementa de manera constant sota els esforços de físics impacients per contemplar en una forma menys primitiva la síntesi que promet portar en un futur.» (PNC, 143).

Després d'aquest clímax, Langevin prossegueix amb una ràpida exposició d'una llarga sèrie de suggeriments o problemes oberts, com ara: *a*) L'estabilitat de la càrrega de l'electró i la possible relació d'aquesta qüestió amb la forma de la cavitat o amb una nova mena d'activitat de l'èter relacionada amb una tercera forma d'energia, com podria ser la gravitatòria. *b*) De la gravitació comenta: «La gravitació roman obstinadament fora de la nostra síntesi electromagnètica; les forces newtonianes no tan sols no semblen propagar-se a la velocitat de la llum, sinó que també sembla difícil fundar-les sobre l'electromagnetisme sense modificar profundament les nostres idees fonamentals en relació amb el camp i la quantitat d'electricitat [...].» *c*) La natura diferent de la força gravitatòria no invalida l'explicació dels resultats nuls en la detecció d'una velocitat absoluta, atès que la seva intensitat és extremament petita comparada amb les accions electromagnètiques, i amb el fet addicional que els experiments de Michelson i Trouton-Noble no involucren la gravetat. *d-z*) La llista es completa amb qüestions sobre la natura dels electrons positius i els elements químics ordinaris, els àtoms radioactius, l'energia interna dels àtoms, l'anàlisi dels fenòmens de la descàrrega disruptiva i la conducció metàl·lica, la polarització electrostàtica, la ionització per impacte, l'arc elèctric, l'evaporació del càtode, la dissociació electrolítica, etc.

Després d'aquesta llarga enumeració de temes diversos, acaba presentant les línies mestres del que l'any següent serà la seva teoria de les propietats magnètiques. El magnetisme i el diamagnetisme són explicats mitjançant corrents d'Ampère, que no són sinó electrons gravitant en òrbites tancades en els àtoms. Amb aquestes idees, no tan sols justifica les lleis experimentals de Curie, segons el qual el magnetisme dèbil varia inversament amb la temperatura absoluta i el diamagnetisme en resulta independent, sinó que dóna una explicació de l'efecte Zeeman.

La conclusió, una pàgina sencera, està íntegrament dedicada a proclamar les excel·lències del nou paradigma electromagnètic: «Allà on adrecem la mirada, no només a l'èter, sinó a la matèria, font i receptora de les ones lluminoses, obtenim una interpretació immediata que la mecànica és incapaç de donar-nos. Aquesta mateixa mecànica se'ns apareix avui com una primera aproximació, sobradament suficient en tots els casos de moviments massius de la matèria, però per als quals cal cercar una expressió més completa en la dinàmica de l'electró [...]. Aquesta idea ha pres una immensa volada aquests darrers anys, ha ocasionat la ruptura en peces de l'estructura de la vella física i capgirat l'ordre establert de les idees i de les lleis, per tal de poder establir de nou una organització que es preveu que serà simple, harmoniosa i fructífera».

Poincaré. El principi de relativitat i la nova mecànica

Al valor intrínsec de les actes del Congrés de Saint Louis per a la història de la física, cal afegir-hi el valor emotiu

que els donà el 1951 Sir Edmund Whittaker. El capítol II del segon volum de la seva monumental obra *Una història de les teories de l'èter i l'electricitat* porta per títol «La teoria de la relativitat de Poincaré i Lorentz». En aquest capítol, l'article «fundacional» d'Einstein rep el comentari: «A la tardor del mateix any, en el mateix volum dels *Annalen der Physik* que contenia el seu article sobre el moviment brownià, Einstein publicà un article que presentava la teoria de la relativitat de Poincaré i Lorentz amb algunes ampliacions, i que va cridar molt l'atenció». I això ho exposa després de presentar la formulació que Poincaré havia fet el 1904, al Congrés de Saint Louis, tant del principi de relativitat com del caràcter límit que ha de tenir la velocitat de la llum en una nova dinàmica basada en l'esmentat principi. Poincaré va fer una primera presentació de la nova mecànica en la sessió del 5 de juny de 1905 de l'Acadèmia de Ciències de París i envià a publicar un complet estudi[7] el 23 de juliol de 1905. Com que Einstein envià el seu article el 30 de juny, la polèmica de prioritats estava servida.[8]

S'ha produït, i es continua produint, tota una allau d'anàlisis sobre el contingut i les relacions que guarden entre si els dos treballs d'Einstein i Poincaré, iniciada per la raonable defensa de la *història apresa* per part de físics i historiadors de la física. A grans trets, podem dir que aquesta defensa ha consistit majoritàriament[9] a afirmar que Einstein aconseguí formular el que avui entenem com a teoria de la relativitat especial (d'Einstein) el 1905, mentre que Poincaré es quedà a un pas de fer-ho, condicionat per la seva filosofia convencionalista de les matemàtiques. La discussió oberta sobre els orígens i fonaments de la relativitat especial, en la qual han pres i prenen part tant físics i matemàtics com historiadors i filòsofs de la ciència, ha anat guanyant, amb el pas dels anys, en complexitat i riquesa, ha anat incloent molts àmbits de la història, la filosofia i la sociologia de la ciència i estenent-se a les contribucions d'altres científics com ara Voigt, Lorentz, Planck, Minkowski, Sommerfeld, Robb, etc. Potser ha arribat l'hora que revisem, com a físics, la història apresa de la història de la relativitat especial, anticipant-nos o preparant-nos per al centenari oficial de la teoria de la relativitat especial de 1905. D'arguments onomàstics per dur a terme aquesta revisió *anticipada* no en manquen, ja que el 16 de maig de 2004 es commemora el 150 aniversari del naixement de Poincaré. També cal tenir en compte que l'any 1904 Lorentz publicà l'article «Fenòmens electromagnètics en un sistema que es mou a qualsevol velocitat inferior a la de la llum», que conté les transformacions que porten el seu nom. Fou a partir d'aquest darrer treball que Poincaré elaborà la seva nova mecànica.

Apropar-nos amb cert detall a la contribució de Poincaré, a les argumentacions i visions que exposà a Saint Louis el 1904 davant un públic molt ampli, pot contribuir a deslliurar-nos de la visió de la relativitat com a part de la biografia d'un geni, Einstein, i a substituir-la per una visió ponderada del que aquest geni, i d'altres, van aportar al progrés de la ciència. Des d'aquesta visió més polièdrica o hologràfica, serà sens dubte més fàcil poder contribuir de manera efectiva a fer que la teoria de la relativitat i la teoria de Maxwell passin a ocupar, en la cultura[10] i en l'ensenyament, el lloc que els pertoca, segons la seva importància en una concepció científica del món. No hem de renunciar a posar fi a la curiosa i lamentable situació per la qual unes fites tan importants de la cultura universal són encara absents de la formació de més del 99 % dels ciutadans. Adaptant un pensament que Bertrand Russell dedicà a les deficiències en l'ensenyament de les matemàtiques, es pot dir que hi ha gent a qui la natura no ha dotat de les capacitats necessàries per entendre la relativitat i l'electromagnetisme, però, sens dubte, són molts menys que els que una pràctica educativa i una organització del coneixement obsoletes i fragmentades ens indueixen a creure.[11]

A diferència del que succeeix amb les altres contribucions al Congrés de Saint Louis, la contribució de Poincaré «The Principles of Mathematical Physics» és fàcilment accessible (Poincaré, 2000) i ha estat objecte d'un recent i extens comentari per part d'Enrico Giannetto.[12] Per aquests dos motius, aquí no oferirem un resum de la complexa intervenció de Poincaré i ens cenyirem a l'exposició i al comentari dels fragments cabdals en l'argumentació de Whittaker, encoratjant el lector a una lectura completa de la històrica intervenció de Poincaré. Algunes referències a treballs posteriors de Poincaré i Einstein són, però, inevitables.

La formulació del principi de relativitat que Poincaré presentà a Saint Louis no és, en absolut, ambigua: «El principi de relativitat, d'acord amb el qual les lleis dels fenòmens físics han de ser les mateixes per a un observador estacionari que per a un observador que es desplaça amb un moviment de translació uniforme, de manera que no disposem de cap mitjà, ni pot haver-n'hi

[7] Consulteu a la bibliografia Poincaré, Walter, Miller i Pierseaux, per a la versió original francesa de «Sur la dynamique de l'electron» una traducció parcial a l'anglès i dues anàlisis molt diverses, respectivament.

[8] En una carta a Born, Einstein reaccionà dient «No tinc cap necessitat de llegir això ... Si aconsegueix convèncer a d'altres, serà problema seu.» (Pais, 175).

[9] Miller i Pais en són dos exemples paradigmàtics.

[10] No cal insistir en la necessitat de construir ponts entre les dues cultures que substitueixin passarel·les tan perilloses com les que porten de la teoria de la relativitat al relativisme cultural. Vegeu SOKAL, A. i BRICMONT, J., *Impostures intel·lectuals*, Ed. Empúries (Barcelona, 1999), especialment els capítols 3 i 11.

[11] Compartim amb A. Pais (pàg. 149) «que aquesta cinemàtica, amb inclusió del teorema d'addició de velocitats, s'hauria d'ensenyar a les escoles mitjanes, com l'exemple més senzill de la manera com la nova física va més enllà de la intuïció quotidiana».

[12] E. GIANNETTO, *The rise of special relativity. Henry Poincaré's works before Einstein*, en línia a: http://albinoni.brera.unimi.it/Atti-Como-98/Giannetto.pdf.

cap per determinar si ens desplacem o no ens desplacem amb un tal moviment.» (Poincaré, 2000, 27). Es tracta, doncs, d'un enunciat que engloba tota la física i, per tant igualment agosarat i indistingible de la formulació que en farà Einstein un any més tard. Que Poincaré és conscient del que implica adoptar aquest principi ho deixa ben clar dient: «Michelson ha mostrat, com he dit, que els mètodes de la física són impotents per posar el moviment absolut en evidència; estic convençut que en el cas dels mètodes astronòmics passarà el mateix, no importa com sigui de gran la precisió. No obstant això, pot ser que les dades que un dia ofereixi l'astronomia en aquesta direcció siguin de valor per al físic.» (Poincaré, 2000, 36). Per Poincaré és clar que «això suposaria, d'una altra manera, la fi del principi de relativitat.» (Poincaré, 2000, 36).

Un cop establert que el «principi» de relativitat és, com ho expressà clarament Galileu, una evidència experimental que tota teoria ha de considerar en forma d'axioma, de postulat o de teorema, mentre no hi hagi cap prova en contra, dirigim la nostra atenció al segon pilar fonamental de les construccions teòriques d'Einstein i de Poincaré, aquell que distingeix la relativitat «newtoniana» de l'«einsteniana»: la igualtat de la velocitat de la llum en tots els sistemes inercials. Poincaré, després de parlar-nos de tota una sèrie d'experiments, incloent-hi el de Michelson, que Einstein no cita al seu article, ens diu: «A partir de tots aquests resultats, si es confirmen, ha de sorgir una mecànica completament nova que, per damunt de tot, es caracteritzaria pel fet que no hi pot haver una velocitat més gran que la de la llum, de la mateixa manera que no hi ha temperatures per sota del zero absolut. Per a un observador, que participi en un moviment de translació que no sospita, cap velocitat aparent no pot sobrepassar la de la llum, i això seria una contradicció, llevat que recordem el fet que aquest observador no usa el mateix rellotge que un observador estacionari, sinó un rellotge que dóna el "temps local".» (Poincaré, 2000, 34).

Per Poincaré, que parteix d'una perllongada reflexió sobre les diverses teories de l'òptica i l'electromagnetisme, testimoniada per les notes dels seus cursos a la Sorbona, la igualtat de la velocitat de la llum requerida per poder explicar, de manera vàlida a tot ordre en v/c i per a tots els experiments òptics imaginables, els resultats negatius per detectar la velocitat absoluta de la Terra, resulta de la invariància de les equacions de Maxwell en el buit. Són, per tant, les transformacions que havia introduït Lorentz[13] i que ell caracteritzarà i batejarà com a *grup de Lorentz*, les que indiquen els canvis a què se sotmeten les variables de temps i d'espai en canviar de sistema de referència.[14] És, doncs, la física de la llum, establerta per les equacions de Maxwell, la que imposa les transformacions relativistes.[15]

Partint d'aquesta reformulació, clarament enunciada al Congrés de Saint Louis de 1904, Poincaré dedicarà la seva memòria del 1905 «Sobre la dinàmica de l'electró» a l'estudi dels temes més rellevants d'aquesta electrodinàmica que, des de Lorentz, es presenta com a teoria fonamental de la natura. Entre tots destaca el problema de la natura de l'electró. Titànica tasca, aquesta, en la perspectiva d'avui, que Poincaré tracta de resoldre amb un constructe mecànic (les anomenades *tensions de Poincaré*), que fa intervenir l'èter electromagnètic. Així com Maxwell acabà prescindint del model mecànic del camp electromagnètic que presentà a «On Physical Lines of Force», Poincaré no descarta poder prescindir de l'èter en un futur. Resulta, per tant, injust atribuir-li una defensa dogmàtica de l'èter i, menys encara, declarar-lo prerelativista.

Quina és la presentació que Einstein fa de la relativitat el 1905? Einstein dedica la primera part del seu article a produir les transformacions de Lorentz, a partir «exclusivament» de compatibilitzar el principi de relativitat i la invariància de la velocitat de la llum. En aquesta primera part, que ell mateix anomena «Part cinemàtica», prescindeix de la idea, generalment acceptada, que la llum correspon a les solucions de les equacions de Maxwell, fet que podríem dir que està en consonància amb la seva revolucionària visió quàntica de la natura del fotó presentada paral·lelament a l'article «Sobre un punt de vista heurístic relatiu a la producció i transformació de la llum» pel qual obtindrà el Premi Nobel.[16] Complementa la deducció de les transformacions de Lorentz amb el tractament dels problemes que plantegen les mesures del temps i de les longituds associades als cossos en moviment, així com del problema de la composició de velocitats. Totes i cadascuna de les expressions d'aquest apartat, que és el «constitutiu» de la teoria de la relativitat d'Einstein, són idèntiques a les que presentà (o hauria pogut presentar com un exemple més) Poincaré en la seva memòria. La diferència es troba en la interpretació fisicoontològica que Poincaré fa de la contracció de Lorentz, en contrast amb la interpretació pragmaticoempirista que en fa Einstein, basada en un protocol de mesura de longituds no relacionat amb l'estructura de la matèria. Pel que fa a la composició de

[13] De fet, el matemàtic de Göttingen Woldemar Voigt havia trobat l'esmentada invariància el 1887.

[14] El camí que segueix Poincaré en aquesta perllongada recerca ha estat molt ben descrit per J. Reignier.

[15] Des d'una perspectiva més formal i epistemològica, destaquem l'excel·lent monografia resultat de la col·laboració del filòsof J. R. Lucas amb el físic P. E. Hodgson. Les «mil cares» de les transformacions de Lorentz mostrades en el llibre s'ofereixen com a portes d'accés a una reflexió ponderada sobre els fonaments de la polièdrica teoria de la relativitat.

[16] Mitjançant una detallada anàlisi de les contribucions de Poincaré i Einstein, Yves Pierseaux (1999) mostra com la diferència substancial entre les formulacions de la relativitat de Poincaré i d'Einstein es troba en la concepció quàntica de la llum d'aquest darrer, contraposada a la concepció clàssica ondulatòria aceptada per Poincaré.

velocitats, és, per Einstein, un *teorema* referent a aquestes magnituds físiques de la cinemàtica, mentre que, per Poincaré, és el corol·lari de la transitivitat de la relació d'equivalència entre tots els sistemes inercials, que s'estableix component les transformacions del grup de Lorentz.

En la anomenada «Part electrodinàmica» del seu article, Einstein imposa de fet la invariància de les equacions de Maxwell sota aquelles transformacions que ha deduït sense fer-hi cap referència. De la imposició de la invariància, en dedueix les lleis de transformació del camp electromagnètic (les corresponents a un tensor antisimètric de segon ordre o a una 2-forma en el llenguatge tensorial actual). Obté, així, els mateixos resultats que Poincaré per a les magnituds electromagnètiques, l'efecte Doppler i l'aberració, i dóna l'explicació relativista de la paradoxa amb la qual inicia l'article: l'evident igualtat galileiana entre moure la bobina o moure l'imant per produir el corrent induït.[17] Tracta, però, de manera especial, la transformació de l'energia dels raigs de llum i la corresponent pressió de radiació, no com a vibracions de l'èter, sinó com un *complex de llum* tancat en la superfície que defineix el front d'ona. En consonància, reafirmant la relació quàntica $E = h\nu$ que havia introduït en l'article sobre l'efecte fotoelèctric, fa notar de manera explícita que el canvi de freqüència de l'ona electromagnètica corresponent a l'efecte Doppler és idèntic al canvi en l'energia total continguda en un complex de llum.

Per bé que en la teoria de la relativitat especial, com en la teoria de Newton, es pot suposar que, entre els sistemes inercials, n'hi ha un de privilegiat, i que aquest transmet el seu privilegi als altres d'acord amb les lleis de la física, els plantejaments d'Einstein i Poincaré sobre aquesta qüestió ofereixen diversos elements d'interès. Per Einstein l'argument decisiu per prescindir totalment de l'èter en la seva formulació de la relativitat especial com a teoria de principis o teoria marc, és que un èter en repòs en un sistema K trencaria la simetria: «Una tal asimetria en l'edifici teòric, que no correspon a cap asimetria en el conjunt de les experiències, resulta insuportable per al teòric.» (Einstein, 1921). Poincaré, en canvi, compromès amb una teoria fonamental de la matèria que elabora a partir de la proposada per Lorentz, estableix que els electrons són esfèrics en K, mentre que en els altres referencials inercials són ellipsoïdals. I és la seva particular articulacíó de la teoria de Maxwell-Lorentz, obligada a donar compte dels fets de l'experiència, la que aconsegueix que tots els sistemes inercials resultin observacionalment equivalents, tal com s'ha exigit en postular un principi de relativitat amb caràcter universal. Una necessitat o preu a pagar, almenys provisionalment, per assolir aquesta articulació és acceptar hipotèticament o postular una funció addicional de l'èter que serveixi de suport a l'estructura de l'electró i que proporcioni les anomenades *tensions de Poincaré*. A grans trets, podem considerar-la descrita per l'extensament comentada contribució de Langevin, de la qual en seria una versió més completa.

En comparar la teoria de la relativitat d'Einstein (TRE) i la de Poincaré (TRP), ens trobem amb un cas força semblant a la confrontació entre la interpretació habitual de l'equació de Schrödinger i la interpretació que en fa la teoria de David Bohm: els resultats experimentals no permeten de distingir una explicació completa amb pretensions ontològiques (existència d'un potencial quàntic que explica mecànicament i individualment el comportament quàntic) d'una descripció que es pretén que sigui estrictament fenomenològica i estadística. Així, la determinació experimental d'un sistema de referència isòtrop respecte de la radiació còsmica de fons no és una asimetria suficient perquè el fet de privilegiar un dels sistemes inercials deixi de resultar «insuportable» als teòrics relativistes que opten per la TRE.

D'altra banda, reivindicar avui en dia la TRP com a victoriosa requeriria articular la radiació còsmica de fons amb les tensions i la forma dels electrons del model clàssic (prequàntic) de Poincaré.

Una perspectiva diferent de la qüestió de si, a part dels dos postulats fonamentals, la no-existència de l'èter forma part substancial de la teoria de la relativitat, ens la dóna el mateix Einstein. En l'escrit ja citat, corresponent a una conferència pronunciada a Leyden el 5 de maig de 1920, un Einstein madur i al cim de la seva carrera, raonant sobre la base de la relativitat general (que ja no és una teoria de principis com la TRE, sinó una teoria dinàmica de la interacció gravitatòria com la TRP ho és de la interacció electromagnètica) ens diu: «No obstant això, una reflexió més atenta ens mostra que la negació de l'èter no és una exigència necessària de la relativitat especial. Es pot admetre l'existència de l'èter, però llavors cal renunciar a atribuir-li un estat de moviment determinat, és a dir, desvestir-lo mitjançant l'abstracció del seu darrer caràcter mecànic, que Lorentz encara li ha deixat.» Que propera aquesta proposta a la de Langevin! I més endavant prossegueix: «Negar l'èter significa, en darrer terme, suposar que l'espai buit no té cap propietat física. Però els fets fonamentals de la mecànica no es mostren d'acord amb aquesta concepció [...]. Allò que importa, principalment, és suposar com a real, al costat dels objectes accessibles a l'observació, un objecte que és inaccessible, a fi de poder considerar l'acceleració o rotació com a reals [...]. Sobre el paper que l'èter ha de tenir en la futura concepció del món físic, no

[17] Una paradoxa que, basada en un efecte físic tan bàsic, s'hauria d'utilitzar com un incentiu immediat per introduir la relativitat i el seu lligam amb l'electromagnetisme. Sembla que Einstein s'inspirà en el llibre de Föppl, amb el qual s'introduí en la teoria de Maxwell. Curiosament, la presentació cinemàtica que Einstein fa de la teoria de la relativitat pot haver afavorit la persistència d'un ensenyament no relativista de la teoria de Maxwell.

en tenim una posició fixada. Sabem que determina les relacions mètriques en el continu espaciotemporal com, per exemple, les possibilitats de configuració dels cossos sòlids així com els camps de gravitació; però no sabem si té un paper essencial en la formació de les partícules elementals de l'electricitat que constitueixen la matèria. No sabem si la seva estructura no difereix essencialment de la de l'èter de Lorentz més que en les proximitats de masses ponderables [...]» (Einstein, 1921).

De fet, Einstein acabà la seva conferència afirmant: «D'acord amb la teoria de la relativitat general, l'espai està dotat de propietats físiques; en conseqüència, existeix un èter. Segons la teoria de la relativitat general un espai sense èter és inconcebible, perquè no tan sols la propagació de la llum hi resultaria impossible, sinó que tampoc no hi tindrien cap possibilitat d'existència les regles de mesura ni els rellotges ni, conseqüentment, les distàncies espaciotemporals en el sentit que els dóna la física. Aquest èter, però, no s'ha de concebre dotat de la propietat que caracteritza els medis ponderables, és a dir, com si estigués constituït de parts que puguin ser seguides en el temps: No se li ha d'aplicar la noció de moviment.» (Einstein, 1921). Així, força abans de la seva confrontació amb la interpretació de Copenhaguen, Einstein ha evolucionat de la seva posició empirista a una actitud substancialment coincident amb la de Poincaré, en afrontar el repte de construir una teoria de la realitat física. Serà la que mantindrà fins al final de la seva vida en la recerca d'una teoria unificada. Aquesta constatació ens anima a fer unes consideracions finals sobre la problemàtica Einstein-Poincaré.

Epíleg

L'estratègia d'Einstein i de Minkowski, que consistí a formular una cinemàtica i una dinàmica relativistes que no fossin considerades parts integrants d'una teoria electromagnètica de la natura fonamentada en les equacions de Maxwell (programa de Lorentz-Poincaré), ha resultat força reeixida, d'acord amb el paper de teoria marc que ha tingut la teoria de la relativitat especial.[18] Des de la perspectiva del desenvolupament del segle XX, el segle de la física, contemplem com era d'imponent l'obstacle que s'alçava davant el programa de Lorentz i de la reformulació plenament relativista que en féu Poincaré. La física dels fenòmens quàntics, la mecànica quàntica, la física teòrica i experimental de les partícules elementals, són un testimoni aclaparador del caràcter prematur —però no il·legítim— d'aquella temptativa d'obtenir una teoria fonamental de la natura. Cent anys després del Congrés de Saint Louis, els avenços aconseguits gràcies a l'optoelectrònica maxwel·liana en instrumentació, ampliació del domini fenomenològic, potència de càlcul i universalitat de la comunicació científica, les grans qüestions «filosòfiques» es tornen a plantejar amb esperança de solució «física». Els laboratoris de la nova fotònica, els satèl·lits i radiotelescopis de la nova cosmologia, els immensos acceleradors, no són part d'un intent combinat d'obligar la natura a revelar-nos aquells secrets per als quals els jonis del segle VI aC es van començar a interessar i van aprendre a raonar?

En el present estadi de desenvolupament de la física, la reconsideració atenta de la complexa i polièdrica creació de la ja «honorable» teoria de la relativitat especial pot contribuir a: *a*) Situar amb més precisió les problemàtiques filosòfiques i epistemològiques vinculades a l'actual recerca en física fonamental en aquesta dimensió temàtica que totes les teories físiques tenen, més enllà de les estructures matemàtiques i dels fets empírics. *b*) Aprofundir en la comprensió del procés històric de construcció de la imatge científica del món, amb el profit que se'n deriva per a la cultura en general i per a l'ensenyament en particular. *c*) Promoure, per la via de l'exemple, una relació més íntima i constructiva entre físics i matemàtics, en la línia defensada per Maxwell, el 1870, en la seva lliçó presidencial davant la British Association: «Per al profit de les persones d'aquestes diferents mentalitats, s'hauria de presentar la veritat científica de maneres diferents, i s'hauria de considerar igualment científica tant si se'ns presenta en la forma robusta i intensament acolorida d'una il·lustració física, com si ho fa amb la subtilesa i pal·lidesa d'una expressió simbòlica».

L'opinió que expressà Poincaré sobre Einstein després de la seva primera i única trobada a la primera conferència Solvay de 1911, a petició de l'ETH que tenia interès a contractar Einstein, sembla totalment encertada: «El senyor Einstein és una de les ments més originals que he conegut; tot i la seva joventut ocupa ja una posició molt honorable entre els principals científics de la seva època. D'ell, n'hem d'admirar especialment la facilitat amb la qual s'adapta a nous conceptes, i la seva habilitat per extraure'n totes les conseqüències. No es manté lligat als principis clàssics i, posat davant d'un problema de física, aviat en copsa totes les possibilitats. Això té una traducció immediata en el seu pensament, en forma de previsions de nous fenòmens, susceptibles de ser verificats algun dia. No diria que totes les seves previsions puguin ser verificades experimentalment quan aquestes proves siguin possibles. Com que assaja en totes direccions, es pot preveure que, al contrari, la major part dels camins que segueix portaran a punts morts; però al mateix temps s'ha d'esperar que una de les direccions que ha indicat sigui la bona, i això és suficient.» (Pais, 177). Es tracta d'un reconeixement explícit del geni d'Einstein per part de Poincaré, si entenem com a definició vàlida de geni no tan sols aquella persona que no s'equivoca mai, sinó també la que és capaç

[18] Vegeu Staley (1998) per a una detallada anàlisi de les interrelacions entre els processos de creació i recepció de la relativitat especial que tingueren lloc a Alemanya.

d'equivocar-se més vegades en menys temps (J. A. Wheeler). Fou també una visió profètica, si tenim presents les realitzacions posteriors d'Einstein.

Recíprocament, també podem parlar d'un reconeixement d'Einstein envers Poincaré. Quan Abraham Pais preguntà a Einstein, cap el 1950, quina havia estat la influència en el seu pensament del treball de Poincaré de 1905, la resposta fou que mai l'havia llegit. A petició d'Einstein, Pais li va deixar la còpia que en tenia i que mai no li va tornar. El paràgraf de Pais que segueix, incloses les notes a peu de pàgina, constitueix tota una invitació a seguir, amb atenció i sentit crític, el ja imminent centenari de la relativitat especial: «Un temps després de la mort d'Einstein vaig demanar a Hellen Dukas que fes el favor de buscar-la [la còpia]. Havia desaparegut. [...] Bé pot ser que l'hagués llegit. El 1953, Einstein rebé una invitació per assistir a Berna a la celebració del cinquantè aniversari de la relativitat especial. Einstein contestà que la seva salut no li permetia fer un viatge com aquest. En aquesta carta, Einstein esmenta per primer cop (que jo sàpiga) el paper de Poincaré pel que fa a la relativitat especial: "Espero que en aquesta ocasió es procuri que els mèrits de L. i P. siguin apropiadament reconeguts." La conferència de Berna tingué lloc poc després de la mort d'Einstein. La tasca de parlar sobre Lorentz i Poincaré va recaure en Born (que havia assistit a la conferència de Poincaré a Göttingen). No ho va fer bé.» Aquesta apreciació la justifica en la nota a peu de pàgina citant a Max Born: «"El raonament usat per Poincaré va ser el mateix que Einstein presentà en el seu primer treball de 1905... Significa això que Poincaré ja ho coneixia tot abans que Einstein? És possible..." (M. Born, *Helv. Phys. Acta Suppl.*, **4**, 244 (1956)).» (Pais, 178).

Referències

CORRY, L., Hermann Minkowski and the postulate of relativity, *Archive for History of Exact Sciences*, **51**, 273-314 (1997).

DARRIGOL, O., Henri Poincaré's Criticism of Fin de Siècle Electrodynamics, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **26**, 1-44 (1995).

EINSTEIN, A., *L'éther et la théorie de la relativité*, Gauthier-Villars, (París, 1921); en línia, en anglès, a: http://www.spaceandmotion.com/Physics-Albert-Einstein-Leiden-1920.htm.

EINSTEIN, A., *Einstein en català. Els tres cèlebres articles de 1905*, Edicions de la Revista de Física (Barcelona, 1998).

EINSTEIN, A., *The Collected Papers of Albert Einstein. Vol. 2: The Swiss Years: Writings, 1900-1909*, J. Stachel, D. C. Cassidy, J. Renn, R. Schulmann (ed.), Princeton University Press (1989).

LUCAS, J. R. i HODGSON, P. E., *Spacetime and electromagnetism*, Clarendon Press (Oxford, 1990).

MILLER, A. I., *Albert Einstein's Special Theory of Relativity: Emergence (1905) and Early Interpretation (1905-1911)*, Addison-Wesley (Reading, 1981).

MILLER, A. I., A Study of Henri Poincaré's «Sur la dynamique de l'électron» , *Archive for History of Exact Sciences*, **10**, 207-328 (1973).

PAIS, A., *El Señor es sutil... La ciencia y la vida de Albert Einstein*, Ariel (Barcelona, 1984); OUP (1982).

PIERSEAUX, Y., *La «structure fine» de la théorie de la relativité restreinte*, L'Harmattan (París, 1999).

PNC, *Physics for a New Century. Papers presented at the 1904 St. Louis Congress*, Tomash Pub., Am. Inst. Physics (1986).

POINCARÉ, H., The present and the future of mathematical physics, *Bull. AMS*, **37**, (1), 25-38 (2000); originalment **12**, 240-260 (1906); en línia a: http://www.ams.org/bull/.

POINCARÉ, H., *La mécanique nouvelle. Conférence, mémoire et note sur la théorie de la relativité*, Jacques Gabay (París, 1989); Gauthier-Villars (1924).

POINCARÉ, H. La versió francesa dels seus llibres i alguns dels seus articles sobre filosofia de la ciència és accessible en línia a: http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/philo/textesph/default.htm

Reflections on Relativity, http://www.mathpages.com/rr/. Una acurada presentació sobre aspectes conceptuals concrets i sovint rellevants.

REIGNIER, J., De l'éther de Fresnel à la relativité restreinte, *Annales Fondation Louis de Broglie*, **29**, 21-56, (2004). En línia a: http://www.ensmp.fr /aflb/AFLB-291/aflb291p021.htm..

STALEY, R., On the Histories of Relativity, *Isis*, **89**, 263-299 (1998).

WALTER, S., *Hermann Minkowski et la mathématisation de la théorie de la relativité restreinte, 1905-1915*, tesi doctoral, Universitat de París 7, (1996). En línia a: http://www.univ-nancy2.fr/ENSGT/PHILO/walter/pubsh.html. Conté, a part de la tesi, altres publicacions i referències electròniques. En particular la traducció a l'anglès de les seccions 1 i 9 de «Sur la dynamique de l'électron» de Poincaré.

Nota: Totes les pàgines web citades s'han consultat el 20 de març de 2004.