

Premi Nobel de Física 2004

Domènec Espriu*

David J. Gross, H. David Politzer i Frank Wilczek han obtingut el Premi Nobel de Física 2004 per les seves contribucions a l'estudi de les interaccions fortes i en particular pel descobriment de la propietat de la llibertat asimptòtica d'aquestes.

Nascut a Washington el 1941, David J. Gross va llicenciar-se a la Universitat de Jerusalem i va obtenir el doctorat a la Universitat de Califòrnia a Berkeley el 1966. Posteriorment va ocupar un lloc de recerca post-doctoral a la Universitat de Harvard i el 1969 va obtenir una càtedra a la Universitat de Princeton on va ocupar diferents places de professor i hi va romandre fins el 1997, moment en què es va traslladar a la Universitat de Califòrnia a Santa Barbara per dirigir el Kavli Institute for Theoretical Physics. Gross es un dels creadors de la cromodinàmica quàntica o QCD (de *quantum chromodynamics*), la teoria de les interaccions fortes. El 1973, juntament amb el seu estudiant de doctorat Frank Wilczek, publicà a *Physical Review Letters* l'article «Ultraviolet Behaviour of Non-abelian Gauge Theories», ara premiat. A més d'aquest guardó, David Gross té nombroses distincions: Alfred P. Sloan Fellow, Fellow de l'Acadèmia Americana d'Arts i Ciències, Fellow de l'Acadèmia Nacional de Ciències dels Estats Units, Premi de la McArthur Foundation, Premi Sakurai de la Societat Americana de Física, Medalla Dirac de la UNESCO i Gran Medalla d'Or de la República Francesa. A part, ha fet nombroses contribucions a la física teòrica i la seva línia de treball actual són les teories de cordes.

H. David Politzer nasqué a Nova York el 1949 i en l'actualitat és professor de l'Institut de Tecnologia de Califòrnia (CALTECH), a Pasadena. Va estudiar a la coneguda Bronx School of Science, entre els graduats de la qual hi ha sis premis Nobel de Física. Politzer es va llicenciar a la Universitat de Michigan el 1969 i es va traslladar a Harvard on va obtenir el doctorat. En el decurs dels seus estudis de doctorat, per indicació de Sydney Coleman, va analitzar el problema de les correccions quàntiques a la constant d'acoblament en teories de galga, i va concloure que les teories basades en un grup no

*Domènec Espriu (Barcelona, 1957) és doctor en Física per la Universitat de Barcelona (1982) i actualment és catedràtic de Física Teòrica al Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria de la Universitat de Barcelona i gestor del Programa de Física de Partícules del MEC.

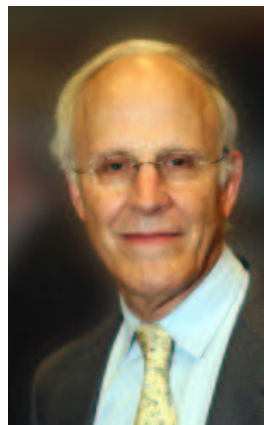


Figura 1: David J. Gross

abelià eren les úniques candidates per proporcionar una constant d'acoblament decreixent en augmentar l'energia i, consegüentment, més petita a curtes distàncies. Politzer va publicar-ne el resultat a l'article «Reliable Perturbative Results for Strong Interactions?», que va aparèixer simultàniament amb el de Gross i Wilczek a *Physical Review Letters* el 1973. Ha fet relativament poca recerca en el camp de la física de partícules i actualment s'interessa en la recerca de les propietats dels àtoms a baixes temperatures.



Figura 2: H. David Politzer

Nascut a Nova York el 1951, Frank Wilczek ocupa la càtedra Hermann Feshbach a l'Institut de Tecnologia de Massachusetts (MIT) des del 2000. Quan tenia només

21 anys i era estudiant de doctorat de David Gross a la Universitat de Princeton, ambdós van descobrir que les teories no abelianes de galga tenien una gran abundància de partícules portadores de la interacció (en el cas de la QCD, la cromodinàmica quàntica, hi ha vuit *gluons*; en canvi, a l'electrodinàmica quàntica només n'hi ha una, el fotó). L'abundància d'aquestes partícules i les interaccions mútues fan que l'apantallament de la càrrega elèctrica es transformi en antiapantallament en el cas de la QCD. Els experiments de SLAC van revelar que en fer incidir electrons d'alta energia sobre un fitó de protons i explorar l'estructura del protó a molt curtes longituds, es trobaven tres centres difusors puntuals quasi lliures dins del protó: els *quarks* acabaven de ser descoberts. Poc temps després els resultats de Gross i Wilczek, d'una banda, i Politzer, de l'altra, donaven una explicació d'aquest fenomen. Wilczek ha estat Fellow a l'Institut for Advanced Study de Princeton, professor a la Universitat de Princeton, a la Universitat de Califòrnia a Santa Barbara i després va ocupar la càtedra Oppenheimer a l'Institut for Advanced Study. La seva activitat i recerca són considerables: axions, teories de superconductivitat d'alta temperatura, cosmologia, física nuclear, etc. Té diferents guardons i distincions, entre d'altres: Alfred P. Sloan Foundation Fellow, medalla Lorentz de l'Acadèmia Holandesa de Ciències, Premi de la Societat Europea de Física i el Premi Lilienfeld de la Societat Americana de Física.



Figura 3: *Frank Wilczek*

Al número 30 de la revista *Physical Review Letters* van aparèixer fa 31 anys dos articles consecutius: «Ultraviolet Behaviour of Non-abelian Gauge Theories» (Gross i Wilczek) i «Reliable Perturbative Results for Strong Interactions?» (Politzer). Aquests dos articles han canviat la nostra manera d'entendre la teoria quàntica de camps i han resultat fonamentals per obrir el camí que ha conduït avui a considerar que la QCD és la teoria correcta de les interaccions fortes.

Per entendre i situar en el seu context la rellevant contribució dels tres guardonats a la física teòrica i a la física de les partícules elementals, cal recordar la confo-

sa situació que vivia el camp de les interaccions fortes durant les dècades dels anys cinquanta i seixanta. A mesura que nous acceleradors permetien fer col·lisions a més i més energia, es va veure aviat que el nombre de partícules que interaccionaven fortament es multiplicava d'una manera que era impensable admetre que totes eren «elementals» en algun sentit de la paraula. Tal era la situació de crisi conceptual, que molts autors van proposar abandonar la teoria quàntica de camps, cos doctrinal que incorpora els principis de la relativitat especial d'Albert Einstein i la mecànica quàntica de Niels Bohr i altres. Desenvolupada els anys quaranta i cinquanta entre d'altres per Feynman, Schwinger i Tomonaga (tots tres van rebre el Premi Nobel el 1965), la teoria quàntica de camps de l'electromagnetisme (QED en les sigles angleses) havia permès calcular amb una precisió considerable efectes subtils com per exemple l'efecte Lamb o l'estructura hiperfina dels àtoms. Fins i tot una teoria similar a la QED, la teoria de Fermi, descrivia prou bé les interaccions febles (tot i que aquesta darrera teoria presentava certes dificultats teòriques importants que no van ser resoltes fins al descobriment de la teoria electrofeble, per la qual van rebre el premi Glashow, Salam i Weinberg el 1979).

En teories quàntiques de camps com la QED o la teoria de Fermi, era consistent suposar que els *quanta* que les teories descrivien eren elementals, sense estructura interna. Tractar partícules que interaccionaven fortament (com per exemple el protó, el neutró, el pió, la partícula ρ , i moltes altres, totes conegudes com a hadrons) com a elementals no solament era poc estètic (hi hauria literalment milers de partícules «elementals»), sinó inconsistent, i conduïa a resultats que estaven en contradicció amb l'experiment (per exemple el moment magnètic del protó és molt diferent del valor que prediria l'electrodinàmica quàntica). Davant d'aquesta situació, va haver-hi diferents propostes radicals que tenien el denominador comú d'abandonar la teoria quàntica de camps com a paradigma teòric; potser la més coherent va ser la hipòtesi que coneixem amb el curiós nom de *cordó de les sabates* (el nom fa referència a una popular història en el món anglosaxó en la qual el protagonista vol enlairar-se tot estirant cap amunt els seus cordons). Aquesta hipòtesi abandona completament la teoria quàntica de camps i manté que les partícules amb interaccions fortes viuen en una espècie de democràcia on cadascuna d'elles està formada de manera virtual per totes les altres. Va ser defensada sobretot per Geoffrey Chew al final dels anys seixanta.

El desllorigador d'aquesta confosa situació va ser adonar-se que, en lloc de qüestionar la teoria quàntica de camps, el que calia era identificar els veritables graus de llibertat fonamentals. A diferència dels leptons, que són partícules que interaccionen només electromagnèticament o feblement, els hadrons no serien elementals.

Persones com Han, Nambu, Gell-Mann i Zweig van abonar aquesta hipòtesi proposant que els hadrons estarien formats d'unes entitats bàsiques que Gell-Mann va anomenar *quarks*, inspirant-se en una novel·la de Joyce.

Els quarks es combinarien per formar tots els hadrons coneguts, d'una manera no gaire diferent de com Mendeleiev va poder reconstruir tots els àtoms a partir de protons i electrons. En aquest paralelisme, els àtoms serien els hadrons i el paper de protons i electrons l'ocuparien els quarks, dels quals avui sabem que n'hi ha sis classes diferents. El paralelisme amb Mendeleiev va més enllà, perquè Gell-Mann i col·laboradors no coneixien les propietats de la força que mantenia units els quarks dins dels hadrons, de la mateixa manera que el científic de Sant Petersburg desconeixia la mecànica quàntica, que permet entendre l'estabilitat i els diferents nivells dels àtoms. Naturalment era la força forta la que unia els quarks; però, quina teoria descrivia aquesta força? Alguna cosa estranya hi havia, perquè mai ningú havia observat cap quark lliure (els quarks tenen càrrega elèctrica fraccionària i per tant serien fàcilment identificables).

En aquell moment, quan els quarks eren poc més que una eina teòrica, un crucial nou accelerador va entrar en funcionament a començament dels setanta. A l'Stanford Linear Accelerator Center, a Califòrnia, fou possible accelerar electrons fins a una energia d'uns quants GeV i fer-los col·lidir amb un fitó de protons. Els resultats foren sorprenents: els processos podien descriure's com si dins de cada protó hi hagués tres centres difusors elementals i l'electró interaccionés amb tots tres separatament. En poques paraules, l'electró a aquestes energies tan elevades (i per tant a unes longituds d'ona Compton molt petites) penetra dins l'estructura del protó i en «veu» els components. Els quarks acabaven de ser descoberts.

A longituds d'ones molt curtes els quarks ens apareixen, per tant, gairebé com a partícules lliures. Però, per què no els veiem lliures, per què no podem produir quarks en col·lisions? L'única explicació possible és que quan intentem separar els quarks la força esdevé tan gran que «l'energia d'ionització» (utilitzant un altre cop el símil atòmic) és infinita.

Molts físics, entre ells els guardonats, van abraonar-se sobre el problema intentant trobar teories que tinguessin aquestes dues propietats alhora: interacció molt forta a llargues distàncies i molt feble a curtes. Malauradament, l'únic exemple realment consistent de teoria quàntica de camps disponible aleshores, la QED, presentava precisament la propietat contrària, la teoria és feblement acoblada a llargues distàncies i els desenvolupaments en teoria de perturbacions són possibles, però les correccions quàntiques la fan fortament acoblada a

molt curtes distàncies (si bé a una escala experimentalment inabastable). Aquest efecte s'ha pogut observar fent experiments de precisió a energies més i més elevades.

És mèrit de Gross, Politzer i Wilczek haver-se adonat que una de les possibilitats teòriques que van estudiar podria ser el desllorigador que es buscava. L'electromagnetisme està basat en una simetria de galga basada en el grup $U(1)$. Això en llenguatge més planer vol dir simplement que és invariant sota canvis de la fase de la funció d'ona de l'electró, per exemple. Diferents autors havien ja explorat la possibilitat que cadascun dels quarks vingués dotat d'un nombre quàntic «vectorial», i la seva funció d'ona tinguéssin diverses components. Això permetria entendre, per exemple, certs problemes que el model quark presentava en intentar reproduir la «taula periòdica» dels hadrons i obria la porta a grups de galga més generals, en els quals la invariància és sota multiplicació de la funció d'ona per un cert tipus de matriu (recordem que la funció d'ona del quark seria un vector en un cert espai intern). Un cop fets els càlculs van veure que el comportament de la constant d'acoblament quan el grup de simetria era un grup no abelià era precisament l'adequat. Les teories d'aquest tipus són quasi lliures a curtes distàncies i aquesta propietat s'anomena *llibertat asimptòtica*. Al contrari, són fortament interaccionants, fins a l'extrem de portar al confinament, a llargues distàncies.

Tres anys després de la publicació dels articles a *Physical Review Letters*, Gross estava ja convençut que la teoria era correcta. De fet, la publicació d'aquests dos articles constitueix la presentació en societat de la teoria de les interaccions fortes, la cromodinàmica quàntica o QCD. Arribar a aquesta teoria va necessitar la contribució de moltes persones, a part dels guardonats aquest any, com Fritzsche, Leutwyler, Nambu, Symanzik, 't Hooft, i altres que ja hem esmentat. Per això l'Acadèmia Sueca en la seva citació pel premi d'enguany esmenta només: «pel descobriment de la llibertat asimptòtica en la teoria de les interaccions fortes». La construcció de la QCD fou sens cap tipus de dubte un dels grans triomfs de la física teòrica del segle XX.

Frank Wilczek va ser el primer estudiant de doctorat de David Gross a Princeton, mentre que Politzer feia la tesi doctoral sota la direcció de Syd Coleman a Harvard. Estem per tant davant del treball de gent molt jove. Potser és adient recordar algunes de les paraules que Gross ha pronunciat recentment aconsellant els nous físics: «mantingueu sempre en el vostre cap els grans problemes, els que són veritablement importants i observeu amb atenció el que la natura intenta dir-nos». Wilczek afegeix: «penseu per vosaltres mateixos i penseu sobretot en la natura».