

2012

Jordi Mur

Amb aquest article volem fer un petit resum de les novetats que ens ha aportat la recerca en física durant el 2012. Seria il·lusori pretendre que un resum d'un parell de pàgines pot ser exhaustiu. Així que el nostre objectiu és més modest i ens limitarem a donar quatre pinzellades del que els investigadors hem après durant els darrers dotze mesos.

El bosó de Higgs, finalment!

La notícia que sens dubte ha omplert més pàgines dels diaris i blogs i més minuts de televisió ha estat la detecció d'una nova partícula al gran col·lisionador d'hadrons (LHC) del Laboratori Europeu de Física Nuclear (CERN) a Ginebra. Enmig d'una gran expectació, l'anàlisi de les dades recollides entre el 2011 i l'inici del 2012 va ser anunciada en una conferència científica conjunta dels experiments ATLAS i CMS de l'LHC i una roda de premsa, el 4 de juliol, i posteriorment es va publicar en revistes especialitzades [1]. Segons aquestes dades, s'ha detectat un nou bosó amb una massa d'entre 125 i 126 GeV/c^2 i spin diferent d'1. La previsió teòrica d'acord amb el model estàndard de la física de partícules és que el bosó de Higgs tingui spin 0, però les dades disponibles encara no permeten afinar tant. Sigui com sigui, i més enllà de l'impacte mediàtic d'aquesta troballa, destaquem la rellevància del descobriment d'una nova partícula fonamental, la primera des de la detecció del quark t (quark top) el 1995. Si es confirmés que aquesta nova partícula satisfà les expectatives del model estàndard, hauria de ser la darrera partícula fonamental que existeix. Molts físics, tanmateix, esperen que experiments futurs mostraran alguna discrepància amb aquest model, cosa que obrirà la porta al que de vegades s'anomena nova física, i que es refereix concretament a física més enllà del model estàndard. Una d'aquestes teories és l'anomenada supersimetria de la qual, tanmateix, no s'ha observat encara cap senyal [2]: caldrà esperar més dades per poder-se pronunciar de manera més definitiva sobre aquest punt.

Els neutrinos no són tan ràpids, però oscil·len

L'any 2011 es va acabar amb una certa incertesa i força polèmica sobre la possible detecció de neutrinos que viat-

gen a velocitats superiors a la de la llum en el buit. Finalment, les comprovacions experimentals per part de la mateixa col·laboració OPERA van acabar descobrint dues fonts d'incertesa en la mesura dels temps de vol dels neutrinos entre el seu punt de producció al CERN i el seu punt de detecció sota les muntanyes del Gran Sasso a Itàlia. Malgrat que encara no s'ha pogut precisar la magnitud de la incertesa que aquests efectes tenen en la mesura, OPERA ha retirat oficialment la reivindicació d'haver mesurat neutrinos a velocitats superlumíniques, i el coordinador de l'experiment, Antonio Ereditato, ha dimitit. La polèmica encara no ha acabat pel que fa a si l'anunci d'OPERA de l'any passat, juntament amb la retractació d'enguany, constitueix un exemple de transparència i de demostració pública de com funciona la ciència, o si va ser un error de precipitació potser motivat per la cerca d'impacte mediàtic. Seguint amb experiments de neutrinos, un de força menys mediàtic però potser amb més ressò entre la comunitat científica, dut a terme al detector de neutrinos del reactor de la badia de Daya (Xina), ha conduït a la mesura més precisa fins ara de l'angle de barreja θ_{13} , que és una mesura de com es relacionen certs estats de massa i sabor dels neutrinos. El valor (relativament) gran obtingut, $\sin^2 2\theta_{13} = 0,092$ [3], ha de permetre fer nous experiments de més llarga durada i obrir la porta a estudiar amb més detalls les diferències entre matèria i antimatèria i acostar-nos a comprendre per què la primera domina en l'univers actual.

Propagació de correlacions i relaxació cap a l'equilibri

El fet que la velocitat de la llum en el buit sigui finita ens indica que la informació no pot viatjar infinitament ràpid entre dos punts de l'univers. Des de fa temps hi ha càlculs que indiquen que una «velocitat màxima» també existeix en certs sistemes unidimensionals de moltes partícules en interacció, si bé fins ara ha estat molt difícil d'observar aquest fenomen experimentalment, o de generalitzar el teorema a condicions menys restrictives. En aquest context, cal destacar un experiment fet pel grup d'Immanuel Bloch

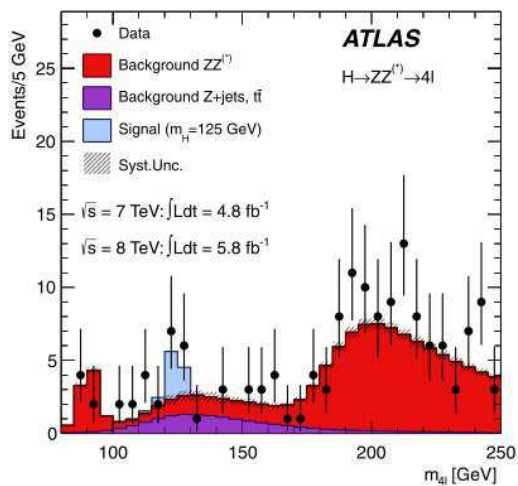


Figura 1: Senyal experimental de la presència d'una nova partícula de massa entorn de $125 \text{ GeV}/c^2$. Les dades experimentals (cercles amb barres d'error verticals) segueixen la corba marcada per la zona vermella, indicativa d'un senyal de fons de bosons Z, excepte en la regió propera als $125 \text{ GeV}/c^2$, on un petit excés d'esdeveniments (zona de color blau cel) apunta a la presència d'una nova partícula. [imatge de la col·laboració ATLAS, Ref. [1] (c) CERN, distribuïda sota llicència Creative Commons Attribution License 3.0]

i Stefan Kuhr a Alemanya, on han construït un sistema unidimensional artificial ?un conjunt d'àtoms atrapats en una xarxa òptica? i han mesurat la propagació de les seves excitacions després d'un canvi sobtat en el potencial que confina els àtoms [4]. Els resultats confirmen l'existència d'una velocitat màxima de propagació de la informació. A més, les mesures es reproduïxen perfectament amb les simulacions numèriques que s'han dut a terme, cosa que indica que entenem bé el comportament microscòpic del sistema. El més interessant, tanmateix, pot ser que la versatilitat d'aquests experiments ha de permetre d'estendre l'estudi a sistemes bidimensionals, per als quals no hi ha resultats teòrics analítics i les simulacions numèriques són extremadament costoses.

Novament el grup d'I. Bloch, així com el grup de Jörg Schmiedmayer a Viena (Àustria), han dut a terme dos experiments més que exploren a la vegada conceptes bàsics de la física estadística com ara l'equilibri i com hi arriba un sistema inicialment fora d'equilibri, i els límits dels càlculs teòrics disponibles per entendre'ls. En el primer experiment, de nou un conjunt d'àtoms ha estat confinat per làsers en un potencial periòdic al llarg d'una «cadena» unidimensional, i ha estat situat en un estat de no equilibri. Mitjançant mesures dinàmiques de diverses propietats, s'ha observat una relaxació ràpida cap a uns valors d'equilibri. La comparació de les dades experimentals amb simulacions teòriques mostra un acord excel·lent [5], amb l'avantatge que l'experiment permet seguir l'evolució

de les propietats d'interès fins a temps molt més llargs que no poden fer les simulacions, per limitacions tècniques dels ordinadors. El sistema experimental apareix, doncs, com un autèntic «simulador quàntic» en el sentit descrit per primera vegada per Feynman. En el segon experiment [6], s'ha dividit longitudinalment un sistema unidimensional d'àtoms en dos d'iguals i s'ha estudiat la seva interferència quàntica en funció del temps. També aquí s'ha observat una relaxació dels valors mesurats cap a valors estacionaris i compatibles amb un equilibri tèrmic. Però la temperatura que es despendria d'aquesta anàlisi és marcadament inferior a la temperatura coneguda del sistema. La interpretació és que les observacions són la manifestació d'un nou fenomen teoritzat recentment i anomenat pretermalització, que apareixeria en particular en sistemes (quasi)integrables, per als quals l'autèntic relaxament cap a l'equilibri requereix temps molt llargs o està prohibit per alguna llei de conservació.

Superconductivitat i antiferromagnetisme: noves evidències

En el camp de la matèria condensada volem destacar les noves evidències aportades sobre la relació entre superconductivitat i antiferromagnetisme, d'acord amb un article publicat pel grup de Y. Matsuda i T. Shibauchi de la Universitat de Kyoto (Japó). Treballant amb mostres molt homogènies de $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$, aquest grup ha pogut observar un fort increment de la temperatura crítica de la transició superconductora del material prop del valor de la composició x que s'ha identificat com un punt crític quàntic antiferromagnètic [7]. Això constitueix una evidència que les fluctuacions quàntiques antiferromagnètiques reforcen les correlacions d'aparellament entre els electrons, i pot aportar llum a la interrelació entre aquests dos fenòmens quàntics i com contribueix cadascun al fenomen de la superconductivitat d'alta temperatura.

Un fil de matèria fosca

Tornem ara al camp de la física més fonamental per destacar l'observació per primera vegada de matèria fosca en la forma d'un filament entre dos cúmuls de galàxies (Abel 222 i Abel 223) [8]. S'estima que prop dels cúmuls de galàxies es troba més de la meitat de la matèria fosca freda de l'univers en forma de filaments que els uneixen en l'anomenada teranyina còsmica. Tanmateix, les observacions d'aquesta estructura publicades anteriorment partien de senyals estadísticament poc fiables o havien estat posteriorment descartades. En el context astronòmic, citem també que la Unió Astronòmica Internacional ha acordat de redefinir la unitat astronòmica (una unitat de longitud aproximadament igual a la distància mitjana entre el Sol i la Terra) com exactament $149\,597\,870\,700$ metres. Aquesta definició en termes del metre (el qual, al seu torn, està definit en termes de la velocitat de la

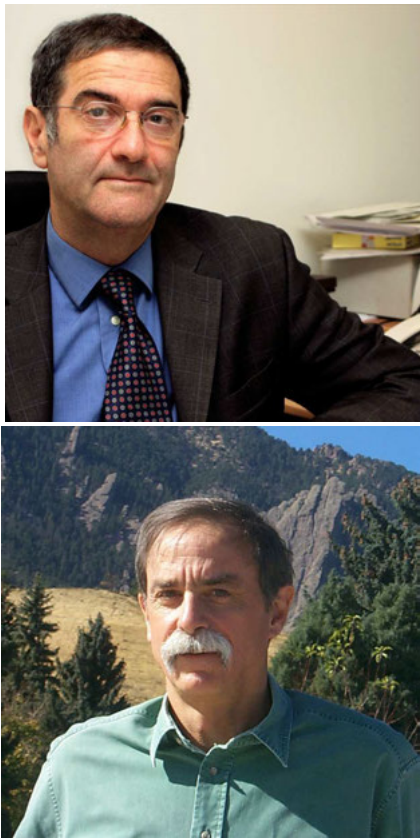


Figura 2: Serge Haroche i Dave Wineland, guanyadors del Premi Nobel de Física 2012 [La imatge de Haroche prové de la web del Collège de France; copyright desconegut. La imatge de Wineland prové de la Wikipedia i està lliure de copyright]

llum en el buit, una constant universal) té l'objectiu d'acabar amb certs problemes de la definició anterior, que no era compatible amb principis de la teoria general de la relativitat.

Premi Nobel per a dos pioners de l'òptica quàntica

Acabem aquest breu repàs amb el Premi Nobel de Física d'enguany, que s'ha atorgat a Serge Haroche (de l'École Normale Supérieure de Paris i el Collège de France) i David J. Wineland (del National Institute of Standards and Technology a Boulder, Colorado) «per mètodes experimentals revolucionaris que permeten la mesura i la manipulació de sistemes quàntics individuals». Haroche ha fet treballs fonamentals en el control de la llum i els fotons aprofitant la seva interacció amb àtoms i cavitats òptiques, fins al punt de ser capaç de comptar fotons individuals d'un en un l'any 2007. Per la seva banda, Wineland treballa amb ions atrapats i ha fet contribucions essencials tant en el desenvolupament de tècniques de confinament com de mesura i control d'ions aïllats o en petits grups,

de manera que ha establert les bases on reposen avui els rellotges de més precisió i ha permès avançar cap a la construcció d'ordinadors i simuladors quàntics, ja que el seu grup és pioner en la implementació de portes i protocols quàntics.

Última hora sobre simetries

Mencionem finalment dos resultats de darrera hora l'any 2012. D'una banda, l'observació directa del trencament de la simetria T (inversió temporal) en el decaïment de mesons B^0 [9], que confirma les observacions anteriors de ruptura de la simetria CP en el mateix sistema. De l'altra, l'observació que la simetria global CPT és respectada pels fotons, segons un estudi de la polarització de la llum que ens arriba des d'esclats de raigs gamma (GRB, gamma ray bursts) dut a terme per un equip japonès [10]. El límit observat, que restringeix la possible violació de CPT a menys d'una part en 10^{15} té rellevància per a algunes teories d'unificació de la gravitació amb la mecànica quàntica, que preveuen una rotació del pla de polarització d'aquests feixos en propagar-se sobre distàncies astronòmiques.

Aquest treball ha rebut el suport de la Unió Europea mitjançant un contracte Marie Curie i del projecte FIS2009-10061 del MICINN.

Bibliografia

- [1] Col·laboració ATLAS, *Phys. Lett. B*, **716**, 1 (2012), <http://arxiv.org/abs/1207.7214>.
- Col·laboració CMS, *Phys. Lett. B*, **716**, 30 (2012), <http://arxiv.org/abs/1207.7235>.
- [2] Col·laboració CMS, *Phys. Rev. Lett.*, **109**, 071803 (2012), <http://arxiv.org/abs/1104.3168>.
- Col·laboració ATLAS, *Phys. Rev. Lett.*, **109**, 071801 (2012), <http://arxiv.org/abs/1204.1265>.
- [3] F. P. An et al., *Phys. Rev. Lett.*, **108**, 171803 (2012), <http://arxiv.org/abs/1303.1669>.
- F. P. An et al., *Chinese Phys. C*, **37**, 011001 (2013), <http://arxiv.org/abs/1210.6327>.
- [4] M. Cheneau et al., *Nature*, **481**, 484 (2012), <http://arxiv.org/abs/1111.0776>.
- [5] S. Trotzky et al., *Nature Physics*, **8**, 325 (2012), <http://arxiv.org/abs/1101.2659>.
- [6] M. Gring et al., *Science*, **337**, 1318 (2012), <http://arxiv.org/abs/1112.0013>.
- [7] K. Hashimoto et al., *Science*, **336**, 1554-1557 (2012), <http://arxiv.org/abs/1212.5632>.
- [8] J. P. Dietrich et al., *Nature*, **487**, 202 (2012), <http://arxiv.org/abs/1207.0809>.
- [9] Col·laboració BaBar, *Phys. Rev. Lett.*, **109**, 211801 (2012), <http://arxiv.org/abs/1207.5832>.
- [10] K. Toma et al., *Phys. Rev. Lett.*, **109**, 241104 (2012), <http://arxiv.org/abs/1208.5288>.