

El LHC, el model estàndard i el bosó de Higgs



Pep Pedro

Professor de Física i Química
IES Gata de Gorgos

Conèixer l'estructura de la matèria ha sigut i és una de les principals qüestions de la història de la ciència. Cada avanç que s'ha fet en el tema ha tingut grans repercussions tant a nivell teòric com a nivell d'aplicacions pràctiques: electrònica, medicina nuclear, etc.

En la dècada de 1930 els físics havien aconseguit explicar tota la matèria coneguda a partir de sols tres tipus de partícules subatòmiques: electrons, neutrons i protons. Però prompte començaren a aparèixer-ne de noves. L'existència d'algunes, com ara els neutrins, van ser predites a partir de les lleis de la física (1930) i detectades posteriorment (1956). Altres provenien de l'espai exterior (raigs còsmics). Així tenim: positrons, neutrins, pions, muons, kaons, lambdes, sigmes, ... A mitjans dels 1960 s'havien detectat un centenar de partícules. La majoria d'aquestes partícules no les podem trobar actualment a la natura perquè són inestables i es desintegren molt ràpidament. Així, per exemple, el muó, que va ser detectat inicialment en els raigs còsmics, es forma en les capes altes de l'atmosfera terrestre i es desintegra en un electró i un neutrí en 2,2 microsegons. Moltes d'aquestes partícules inestables estaven presents en els primers instants després de produir-se el Big Bang.

Per produir aquestes partícules inestables (i també les estables) tenim els acceleradors de partícules. Són màquines capaces d'accelerar mitjançant camps elèctrics partícules carregades (com electrons o protons) a velocitats molt properes a la de la llum, la qual cosa fa que les partícules adquerisquen una gran energia. Aquestes partícules accelerades són guiades per intensos camps magnètics. Quan aquestes partícules xoquen contra un blanc (en el cas d'un accelerador lineal) o contra un altre feix que viatja en sentit contrari (en acceleradors circulars) disminueixen l'energia de moviment que porten i la converteixen en noves partícules. Aquest fet ve donat per l'equació d'Einstein: $E = mc^2$ (energia és igual a la massa per la velocitat de la llum al quadrat), com més gran és l'energia que es pot comunicar a les partícules que van a col·lidir més gran serà la massa de les noves partícules obtingudes.

El major accelerador de partícules del món es troba al CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) i és el LHC (Large Hadron Collider). Està instal·lat en el túnel que

albergava l'anterior accelerador, el gran col·lisionador Electrò-positró (LEP). Està construït per accelerar feixos de protons (o ions més pesants) fins una energia de 7 TeV cada protó, la qual és de 7000 vegades l'energia que té el protó en repòs. Per fer-nos-en una idea, 1 TeV (teraelectronvolt) és l'energia d'un mosquit volant, però empaquetada en un volum un bilió de vegades més petit que un mosquit. Aquests feixos recorren un anell circular de 27 km de circumferència a uns 100 metres sota terra que travessa la frontera entre França i Suïssa, dins d'un buit continu, guiats per 7000 potents electroimants superconductors refrigerats per Heli líquid a -271°C (2 K). Quan es fan col·lidir dos feixos que viatgen en sentits oposats, els dos protons que xoquen tenen una energia de 14 TeV. Aquesta energia és suficient per a crear 1000 protons nous.

En cada col·lisió es recreen algunes de les condicions presents immediatament després del Big Bang, amb la qual cosa també s'hi pot obtenir informació sobre l'origen i evolució del Univers. El LHC no sols produeix noves partícules sinó que ha d'identificar-les, cosa que requereix de gegantins i sofisticats detectors que revelen la trajectòria i l'energia de les partícules resultants de la col·lisió. El detector Atlas fa 25 m d'alçada per 46 m de llargària i té una massa de 7000 tones, però la seua precisió ha d'anar a la micra. També s'hi requereixen tècniques informàtiques molt avançades per a triar i analitzar l'enorme quantitat d'informació que s'obté en cada col·lisió.

El 1964, els físics Murray Gell-Mann i George Zweig van proposar, de manera independent, que els protons i neutrons no són partícules elementals, sinó que estaven constituïts per partícules més petites anomenades quarks i que no poden existir aïllades. El 1995, experiments amb acceleradors ja havien produït i confirmat l'existència dels sis tipus de quarks que hi ha.

Parlar de partícules és parlar també de les forces. Tots coneixem algunes de les forces que es donen a la natura: la Terra ens atrau, els imants es poden atraure o repel·lir, després de fregar un globus contra el cabell atrau petits paperets. Aquests tipus de forces sempre es donen entre dos objectes: imant-imant, globus-paperets, terra-persona. És a dir, hi ha una interacció entre els objectes implicats. Els exemples que hem posat queden englobats en dos tipus d'interacció: la gravitatòria i l'electromagnètica, les quals presenten analogies (les dues s'estenen fins l'infinit) i diferències (la gravitatòria sempre és atractiva i l'electromagnètica pot ser atractiva o repulsiva). Una altra és la interacció forta, la que manté els quarks units dins dels nucleons i fa també que el nucli dels àtoms amb més d'un protó no es desmunten per la repulsió electrostàtica. Aquesta és de curt abast, no arriba més enllà del diàmetre del nucli. La quarta és la interacció feble, responsable d'algunes desintegracions radioactives. No totes les partícules responen als quatre tipus d'interacció.

Un altre fet a destacar és que cada partícula té la corresponent antipartícula, que forma l'antimatèria, la qual també havia sigut predita per Dirac el 1928 i ha sigut plenament comprovada. Per exemple, a l'electró li correspon el positró, el qual té la mateixa massa i càrrega positiva, i actualment s'utilitza en la tècnica de diagnòstic per imatge anomenada PET (tomografia per emissió de positrons). Algunes partícules com el fotó, són la seua pròpia antipartícula.



Segell espanyol.



Segell francès.



Vista aèria dels anells del CERN a la frontera de França i Suïssa.



Túnel on està ubicat el LHC.



El detector de partícules CM.

En física clàssica es descriu la interacció de partícules carregades elèctricament en termes de força, mitjançant la llei de Coulomb. En mecànica quàntica es descriu aquesta interacció en termes d'emissió i absorció de fotons virtuals. Dos electrons es repel·leixen entre ells quan un emet un fotó i l'altre l'absorbeix. L'atracció entre un electró i un protó es produeix quan els dos intenten "disputar-se" el fotó. Diem que la interacció electromagnètica entre dues partícules carregades és *mitjançada* o transmesa per fotons. Les partícules mediadores pertanyen a un tipus de partícules anomenades bosons, encara que hi ha bosons que no són mediadors d'una força. Les partícules mediadores per a les altres interaccions són els gluons en la interacció forta, els bosons Z, W⁺ i W⁻ en la interacció feble, el gravitró (encara no detectat) en la interacció gravitatòria.

Per donar explicació de la física de partícules i de les interaccions de la natura els físics utilitzen *el model estàndard de la física de partícules*, el qual també ha sigut capaç de fer prediccions amb una altíssima precisió que posteriorment han sigut confirmades. Segons aquest model, les partícules elementals (no formades per altres) s'agrupen en dos classes: fermions i bosons. Els fermions poden ser quarks i leptons. Tenim 6 quarks i 6 leptons (a més de les corresponents antipartícules).

La interacció gravitatòria encara no ha sigut inclosa en el model estàndard, encara que hi ha molts físics treballant per incorporar-la i obtenir així una teoria unificada.

El model estàndard inclou una altra interacció: la interacció de Higgs, la partícula responsable de la qual és el bosó de Higgs. Aquesta partícula, com totes les partícules mediadores, té un camp associat, el camp de Higgs. El bosó de Higgs, també anomenat per alguns "la partícula de Déu", terme que no agrada als físics, és l'única de les partícules que predi el model estàndard i que encara no s'ha detectat. El Higgs explicaria per què les altres partícules tenen massa. L'existència d'aquesta partícula va ser proposada pel físic britànic Peter Higgs el 1964. Se suposa que tot l'espai està ple del camp de Higgs, que per a visualitzar-lo podem suposar-lo com un llac de mel: la mel s'adhereix a les partícules sense massa (quarks i leptons) que travessen el llac. El camp les converteix en partícules amb massa. Si no existira, no ens costaria treball desplaçar les partícules.

El 2011, el LHC ha funcionat a ple rendiment i ha produït un gran nombre de dades. El 13 desembre del 2011, el CERN anunciava indicis de l'existència del Higgs, però aquests resultats no compleixen encara els nivells d'exactitud que són exigits quan hom troba una partícula nova. Aquesta partícula, si existeix, no s'observaria directament, ja que es desintegraria molt ràpidament i sols en podríem detectar els productes de la seua desintegració. Cal tenir en compte que en cada col·lisió es produeixen trilions de partícules i d'aquestes partícules sols unes poques poden ser un Higgs. S'ha aconseguit identificar l'interval en el qual hauria d'estar compresa la seua massa (115-128 GeV) i s'ha predit teòricament les possibles formes en què es desintegraria.

L'accelerador té energia de sobres per a produir el bosó de Higgs, fins i tot, si aquest tinguera la massa màxima esperada. Els físics tenen una gran esperança que prompte (a finals del 2012) el LHC proporcione ja proves irrefutables de la seua existència, encara que també hi ha altres físics, no tan optimistes, que dubten sobre la possible troballa.

Si es troba el Higgs, es consolidarà el model estàndard, es justificarà la inversió (uns 5000 milions d'euros) i segurament Peter Higgs serà guardonat amb el premi Nobel. Si no és així, s'haurà de canviar, corregir o proposar un altre model. Siga com siga, el LHC ens desvelarà el futur de la física de partícules.

