

Entrevista a Gabriele Veneziano

Joan Soto*

L'autor va fer aquesta entrevista el dia 5 del passat mes de novembre. Aquell dia el professor Gabriele Veneziano va pronunciar una conferència a l'Institut d'Estudis Catalans, convidat per la Societat Catalana de Física amb motiu de la commemoració dels cinquanta anys del CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire).

—*És un plaer per mi tenir l'oportunitat d'entrevistar Gabriele Veneziano. Podem començar repassant els punts culminants d'aquests cinquanta anys, tant des del punt de vista experimental com teòric.*

—N'hi ha molts, possiblement massa, per provar de dir-los tots. En el vessant experimental distingiria entre fites en experiments de física d'altres energies i desenvolupaments en les tècniques d'acceleradors, en els quals s'ha contribuït també d'una manera decisiva. No hem d'oblidar que s'han donat dos premis Nobel al CERN pels desenvolupaments en la tecnologia dels acceleradors i en les tècniques de detecció. Un és el Premi Nobel a Simon van der Meer i Carlo Rubbia pel refredament dels antiprotons, que va ser molt important per al descobriment dels bosons vectorials intermediaris, i l'altre a Georges Charpak per les cambres de fils. Si ara ens fixem en els avenços o descobriments pròpiament experimentals, potser podria assenyalar-ne tres o quatre de vital importància en el nostre camp. Un va ser una descoberta a l'ISR (*Intersecting Storage Ring*), on, a principi dels setanta, es va observar que el protó té constituents interns, una de les primeres evidències que els protons i els neutrons no són elementals, i que hi ha components puntuals dins d'aquestes partícules. Aquests constituents interns dels protons i els neutrons són els quarks, és clar. A través de la col·lisió frontal de protons amb protons en aquesta màquina, a l'ISR, es va veure aquesta estructura de partícules puntuals dins del protó.

Potser un descobriment més important encara va ser el dels corrents neutres, que són un ingredient fonamental del model estàndard de les interaccions electromagnètiques i febles. Això va ser possible gràcies a un experiment molt enginyós i a detectors d'avantguarda. Després, també destacaria la cèlebre descoberta dels bosons vectorials W i Z , que ja he mencionat abans, important des del punt de vista de les tècniques d'acceleradors —el

refredament dels antiprotons. S'observà que fent xocar protons amb aquests antiprotons refredats es podria arribar al llindar de producció dels bosons vectorials intermediaris. Aquest experiment es va fer al CERN a principi dels vuitanta i va conduir a la important descoberta per la qual Carlo Rubbia i Simon van der Meer van rebre el Premi Nobel. Recentment, una altra qüestió culminant, des del punt de vista experimental, ha estat tot el treball fet al LEP (*Large Electron-Positron Collider*), accelerador que va estar actiu durant deu anys i que es va tancar en fa un parell. Va produir una gran quantitat de dades, la majoria de les quals simplement han confirmat l'anomenat *model estàndard*, que és el model que té la física de partícules per descriure totes les forces, excepte la gravitatòria. Per ser justos cal dir que no va haver-hi descobertes realment noves al LEP; d'alguna manera, la natura va ser prou amable per confirmar les idees teòriques, però alhora va ser poc amable perquè no va produir sorpreses. Ara esperem que en el futur, gràcies a l'ascens en l'escala d'energies, hi hagi sorpreses. Crec que aquests són essencialment els punts culminants, encara que mencionar-ne uns quants no fa realment justícia a les moltes i moltes coses que s'han fet com, per exemple, no ho sé, la creació d'antihidrogen al laboratori i... No ho sé, no puc ni intentar d'enumerar-les totes.

—*Podem passar al vessant teòric.*

—La part teòrica? Aquí també es fa molt difícil enumerar tots els punts culminants i alhora ser justos. Començaria potser per un treball teòric que, segons la meua opinió, hauria d'haver estat un Premi Nobel, el treball de John Bell. John Bell, durant els anys seixanta, va escriure diversos articles que podem considerar fonamentals perquè mostren una manera realment clara de distingir una teoria com la mecànica quàntica, que usem cada dia, d'una versió clàssica d'aquesta. Va demostrar que, a diferència d'una teoria determinista, la mecànica quàntica ha de satisfer unes desigualtats, que s'anomenen *desigualtats de Bell*, i que cap teoria determinista que provi de simular les lleis probabilístiques de la mecànica quàntica té el mateix tipus de prediccions. Avui en dia aquestes desigualtats de Bell han estat comprovades; desafortunadament, John Bell va morir prematurament, però penso que aquesta ha estat realment una de les fites en la història de la física teòrica al CERN.

*Joan Soto és professor titular del Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria a la Universitat de Barcelona.

Respecte a altres qüestions importants del treball teòric al CERN, bé, he de dir que jo mateix hi vaig fer un treball interessant el 1968. Encara que aquest treball es va començar quan jo encara era a Israel, va ser molt important per mi poder passar l'estiu del 68 al CERN per discutir les meves idees amb els col·legues d'allí. D'aquestes discussions, en va resultar una publicació que ha estat reconeguda com l'inici de la teoria de cordes, que és una de les àrees més actives en física teòrica avui en dia.

També voldria destacar la descoberta teòrica de la supersimetria, que es donà a conèixer en un article també escrit al CERN per Wess i Zumino el 1974, i la seva generalització, perquè va incloure la gravetat, anomenada *supergravetat*, tema també d'un article escrit al CERN. Han aparegut molts articles rellevants relacionats amb la física del model estàndard i que van més enllà, teories de gran unificació i més recentment relacionats amb gravetat, teoria de cordes i temes similars. Un altre treball important fet al CERN, que havia oblidat de mencionar, va ser, tornant al 1969, un article de Bell i Jackiw sobre l'anomenada *anomalía d'Adler-Bell-Jackiw*. Després, Gerardus't Hooft va fer un estudi interessant durant els anys setanta. No és el treball pel qual va rebre el Premi Nobel, però tot i així és important. Tracta de l'anomenada expansió en 1 sobre N , que va inventar mentre era al CERN. Realment, no hi manquen contribucions importants en física teòrica, al CERN. Durant la meua vida he pogut ser testimoni del fet que, al principi, quan vaig conèixer la divisió teòrica del CERN, hi havia un cert tipus de complex d'inferioritat. Era un complex d'inferioritat d'Europa en general cap als EUA; però això, crec, lentament s'ha anat acabant, i ara veiem els nostres col·legues de l'altra banda de l'Atlàntic des de la perspectiva de la igualtat. Es pot veure que hi ha hagut molts desenvolupaments teòrics fets als EUA, però també n'hi ha hagut molts, em refereixo sempre al nostre camp, a Europa i, en particular, al CERN, pel que fa tant a la part teòrica com a l'experimental.

—*Passem a parlar del futur. S'han dedicat molts esforços en la construcció del Large Hadron Collider, l'LHC; això ha generat moltes expectatives, com la descoberta de la supersimetria, de les dimensions extres... Però també pot ser que no es descobreixi res més a part del model estàndard. Podria comentar una mica els possibles escenaris?*

—Sí, per cert, el que acaba de dir sobre l'LHC encaixa molt bé amb la meua última frase de la pregunta anterior, m'he adonat fa poc temps, en una una conferència als EUA, que la comunitat teòrica d'aquest país mira ara cap a Ginebra, al CERN, cap a l'LHC, amb unes grans expectatives. Per tant el CERN s'està convertint, es convertirà segurament almenys durant uns quants anys, en un focus d'atenció de tota la comunitat.

No hem d'oblidar que a l'LHC hi haurà milers de físics americans treballant en els grans experiments d'allí. Ara bé, on estan anant a parar tots aquests esforços i diners? De fet, s'espera, en primer lloc, entendre finalment els detalls del mecanisme a través del qual els bosons vectorials intermediaris adquireixen massa i també com les altres partícules elementals, els electrons, els muons, o els quarks també ho fan. El mecanisme amb què reben massa les partícules elementals no està encara completament entès i crec que, si una cosa és prou segura, és que l'LHC serà capaç d'identificar quin és aquest mecanisme. Ara bé, depenent de quin sigui aquest mecanisme finalment, la física serà més o menys interessant, i el futur del nostre camp serà més o menys apassionant.

Per exemple, la majoria de teories creuen que aquest mecanisme va lligat al que anomenem *la descoberta del món supersimètric*, en el qual es necessita que cadascuna de les partícules elementals que coneixem vagi acompanyada per un company amb unes propietats semblants, però que satisfà l'estadística oposada. Si les teories tenen raó, la supersimetria hauria de ser descoberta a l'LHC. Això seria realment una gran prova per a la física teòrica i estic segur que generaria moltes idees i desenvolupaments nous. Ara bé, hi ha altres alternatives a la supersimetria per sostenir aquest mecanisme de generació de massa; són una mica desfavorides des del punt de vista teòric, però si alguna d'aquestes es donés en la natura seria alhora una sorpresa i també una descoberta molt estimulante. El que la gent pensa que potser és el "pitjor" escenari és aquell en què aquesta nova màquina només descobreixi el mínim necessari per a aquest mecanisme. Aquest escenari mínim és el de la partícula de Higgs: trobar una única nova partícula, a la qual ens referim com a *bosó de Higgs*, que no vagi acompanyada de res més.

Aquesta possibilitat sembla molt artificial des del punt de vista teòric, molt poc probable; però bé, com que amb les teories no podem decidir totes les possibles maneres de funcionament de la natura, qui sap, potser la natura ha escollit aquesta possibilitat. En aquest cas podria ser que els resultats de l'LHC no fossin tan apassionants, vull dir que en certa manera seria important perquè hauríem tancat un capítol. Al model estàndard, que és el que creiem correcte avui en dia, només li falta una peça, que és aquesta partícula de Higgs. Si es troba, el model estàndard mínim seria complet; tanmateix, aquest model no és gaire natural des del punt de vista teòric. Per tant, nosaltres creiem, i també esperem, que la compleció del model estàndard vingui acompanyada per descobertes extra. Si això passa, crec que ens espera un futur brillant. De fet, la gent està ja pensant en un nou accelerador, l'anomenat *Next Linear Collider*, que, en comptes de ser com l'LHC, un anell de col·lisió de protons amb protons, seria un altre cop com el LEP, un accelerador d'electrons i positrons. L'única diferència

és que no seria un accelerador circular sinó un accelerador lineal, cosa que té certs avantatges. En un anell de col·lisió com aquest s'estudiaria detalladament el món supersimètric, si aquest món es descobreix a l'LHC.

La situació és paral·lela amb el que va passar amb els bosons vectorials intermediaris. Van ser descoberts per Rubbia i altres en un anell de col·lisió de protons amb antiprotons, però aleshores se'n va estudiar els detalls i les propietats en un accelerador d'electrons i positrons, al LEP. D'alguna manera l'LHC, l'anell de col·lisió d'hadrons, és potser la millor màquina per descobrir la supersimetria, però aleshores es necessita una màquina més neta, com un accelerador d'electrons i positrons, per tal d'estudiar amb profunditat les propietats d'aquest món supersimètric.

Hi ha, de fet havia oblidat de mencionar-ho, un altre escenari possible, aquell en què no hi ha partícula de Higgs, cosa que també és interessant. Si no es troba res, cap partícula de Higgs, és interessant perquè es plantegen nous enigmes. Diria que en aquest cas els teòrics haurien de tornar enrere i pensar més, i potser hi hauria nous desenvolupaments teòrics. Si l'LHC mostra que en el món només hi ha el model estàndard mínim, aleshores no sé si la gent tindria prou motivació per anar més endavant amb els experiments amb acceleradors.

—Veig que s'ha avançat a la pregunta següent, que era justament sobre si l'era dels acceleradors s'estava acabant; pràcticament ho estava discutint ja.

—Puc comentar això una mica més, d'una manera més específica. El que sembla clar és que qualsevol pas més en l'energia dels acceleradors, la intensitat dels feixos..., qualsevol pas endavant esdevé més i més costós. No ho sé, si ho comparem amb els ordinadors, podem dir que els ordinadors es perfeccionen molt ràpidament avui. Hi ha aquestes lleis exponencials, en memòria, en la velocitat dels ordinadors. És realment ràpid. Per contra, per incrementar l'energia d'un accelerador en un factor deu el cost és molt i molt gran, i no és només una qüestió de diners, és realment una qüestió d'escalas de temps: el temps que hi ha des del disseny d'un accelerador fins a la seva compleció i l'anàlisi de les dades. Estàriem parlant d'unes quantes dècades, que és una escala de temps que no ens satisfà gaire encara que actualment ens hi estem acostant. Ara bé, si l'LHC, com anava dient, revela alguna cosa realment molt apassionant, aleshores no tinc cap mena de dubte que almenys n'hi haurà un altre, com ara el *Next Linear Collider*. Però també hi ha la possibilitat, encara que penso, honestament, que és poc probable, que l'LHC simplement confirmi el període del model estàndard, res més, cap nova física, res de res... En aquest cas, dubto que hi hagi prou motivació per promoure una cosa que costarà tant de temps, que la comunitat tingui prou determinació... Però honestament crec que les possibilitats que això passi són petites i de ben segur que hi haurà nova física, nous descobri-

ments, coses excitanys, i que seguirem endavant almenys una generació més.

—Bé, sembla que l'alternativa als acceleradors és mirar cap al cel. Hi ha molt d'interès avui en dia en la relació entre la física de partícules i la cosmologia; crec que vostè hi ha contribuït força.

—Bé, sí, és una qüestió realment interessant. De fet, he estat promovent aquesta idea durant molts anys. Recordo una xerrada de cloenda en una conferència fa deu anys en la qual deia que precisament en aquesta era, en què els experiments amb acceleradors estan esdevenint més i més llargs i necessiten una gran quantitat de temps per obtenir les dades, etc., no hem de tancar els ulls a la informació que ens arriba del cel. Aquestes dades provenen d'un tipus diferent d'experiments, amb més observació que no pas preparació. Aquest és precisament el domini de l'astrofísica i la cosmologia. La diferència és que en física d'acceleradors tenim el model estàndard, que funciona bé, meravellosament bé, potser massa bé, de manera que no hi ha pistes, de moment, d'alguna cosa nova. En canvi, les dades que provenen de l'astrofísica i la cosmologia plantegen un munt d'interrogants, un munt de misteris, un munt d'enigmes.

Puc mencionar, simplement per esmentar-ne un, el fet que avui en dia estem prou segurs que la matèria que coneixem —protons, neutrons, àtoms...— només representa com a màxim el 5 % de la matèria de l'Univers, o de l'energia de l'Univers; per tant, què és el 95 % restant de l'energia de l'Univers? Sabem que possiblement el 30 o el 35 % es troba en forma d'algun tipus d'agrupament de matèria, però no poden ser àtoms, ha de ser algun tipus exòtic de matèria que encara no hem descobert. De fet, una de les possibilitats principals per a aquesta matèria anomenada *matèria fosca* és que sigui en forma de partícules supersimètriques de les quals parlava fa un moment. El mateix món supersimètric que es necessita per fer el mecanisme de generació de massa més natural, aquest mateix tipus de món, pot ser el 30 o 35 % de l'energia de l'Univers. I després hi ha encara el 70 % restant, que es troba en forma d'un tipus difús d'energia, anomenada *energia fosca*, que no s'agrupa i està dispersa per l'espai. Això és encara més misteriós perquè, mentre que per a la matèria fosca podem tenir uns candidats, que encara no s'han descobert però que potser l'LHC descobrirà, per a l'energia fosca estem realment a les fosques. De fet aquesta energia fosca surt de manera natural en qualsevol teoria de partícules elementals, però apareix en una quantitat que és incompatible amb les observacions; per tant, el que és extremament difícil és trobar que aquesta energia fosca tingui el valor que semblen indicar els experiments cosmològics.

I després hi ha molts altres misteris que vénen de l'espai, com ara els raigs còsmics ultraenergètics. Tenim evidència que hi ha raigs còsmics amb una energia fantàsticament alta, és una energia tan gran que és un

misteri com aquests raigs poden haver vingut d'algun lloc llunyà en el cosmos fins a nosaltres sense interactuar amb una cosa que sabem que és allà, a l'Univers. Es tracta del fons còsmic de microones, el gas de fotons a tres graus kelvin que impregna el nostre Univers, que van descobrir Penzias i Wilson. Aquest fons còsmic de microones està format només per fotons, que haurien d'interaccionar amb els raigs còsmics d'alta energia i fer-los-en perdre, de manera que no poden venir de gaire lluny.

D'altra banda, si els raigs còsmics ultraenergètics vénen de prop nostre —prop vol dir de la Via Làctia o d'alguna galàxia propera—, aleshores no coneixem cap font que els pogués produir; a més, no crec que hi hagi prou fonts i, tanmateix, la distribució no hauria de ser isotropa. Així hi ha molts i molts misteris com aquests, com per exemple les ràfegues de raigs gamma.

D'altra banda, hi pot haver una complementarietat molt interessant entre el que es pot fer amb els acceleradors i el que es pot fer amb les observacions astrofísiques pel que fa a la física dels neutrinos, cosa que abans havia passat per alt. Bé, les notícies realment noves en física de partícules dels últims anys —més enllà del folklore del model estàndard— és el fet que sabem de ben segur que els neutrinos tenen massa, de manera que poden oscil·lar d'una espècie a una altra. Aquest és un bon exemple d'una qüestió que no es va descobrir fent experiments en acceleradors —els experiments en acceleradors no eren prou bons per veure la massa dels neutrinos—, sinó mitjançant els neutrinos atmosfèrics, que vénen de l'atmosfera a través dels raigs còsmics, o dels neutrinos solars, que vénen del Sol, que van revelar aquest fenomen. Però ara que sabem que els neutrinos tenen massa i oscil·len, podem pensar en experiments d'acceleradors que puguin estudiar d'una manera més precisa aquests problemes. Aquest és, per tant, un exemple en el qual la física d'acceleradors complementa molt bé experiments fets amb fonts astrofísiques, com ara el Sol. És el cas de l'experiment que envia neutrinos produïts al CERN cap a detectors del laboratori subterrani del túnel del Gran Sasso, a Itàlia.

I després hi ha moltes altres coses, una que m'agrada particularment és la possibilitat de detectar ones gravitatòries. Aquesta és una àrea de recerca molt interessant, que es basa en les observacions. Avui en dia hi ha grans interferòmetres als EUA i a Itàlia que estan recollint dades. Detectar ones gravitatòries seria molt interessant no només perquè són una predicció de la relativitat general sinó també perquè creiem que, si es poguessin detectar ones gravitatòries que no vénen de fonts astrofísiques discretes sinó que són d'origen cosmològic, que van ser produïdes en el Big Bang, aleshores aquestes ones gravitatòries ens podrien donar una imatge de com era l'Univers molt a prop d'aquest moment. En contraposició, quan estudiem el fons de microones de fotons

obtenim informació sobre el moment en què es van formar els àtoms. Abans d'això, hi havia nuclis i electrons, que en un cert moment es van ajuntar per formar àtoms neutres; aleshores, la llum va poder propagar-se sense traves, perquè la llum no es veu afectada pels objectes neutres. Aquesta és la raó per la qual no podem veure una foto de l'Univers fins a aquest moment, perquè abans la llum es dispersava en totes les possibles direccions i, per tant, no se'n pot obtenir una imatge clara. D'altra banda, les ones gravitatòries interaccionen feblement amb qualsevol cosa. Així, si es detectessin avui ens parlarien de com era l'Univers molt i molt a prop del seu començament, ens podrien donar per tant informació interessant sobre el Big Bang mateix.

—*Les ones gravitatòries ens porten a la gravetat, i una entrevista amb Gabriele Veneziano té una pregunta obligada, que és la teoria de cordes, la teoria, que inclou la gravetat quàntica, més prometedora avui en dia. M'agradaria, però, centrar-me en quina creu vostè que seria una prova crucial per a la teoria de cordes.*

—Bé, sí..., la teoria de cordes. Per fer un petit recordatori, podríem dir que va començar potser amb el treball que estava fent el 1968, per raons diferents. Però si s'ha desenvolupat al llarg dels anys ha estat com a teoria candidata a la versió quàntica de la relativitat general, la manera d'ajuntar la relativitat general d'Einstein i la mecànica quàntica. Això va resultar molt difícil i tots els intents anteriors de combinar la relativitat general i la mecànica quàntica van fracassar. Però finalment l'any 1974, Scherk i Schwarz van proposar que la teoria de cordes s'havia de pensar com la teoria de la gravetat quàntica, i el 1984 Green i Schwarz, en un article fonamental, van demostrar que aquesta és de fet una teoria consistent. A partir d'aleshores, ja fa vint anys, molts teòrics han treballat en aquesta idea i han provat de desenvolupar aquesta teoria, però no només la de la gravetat quàntica sinó també la de totes les altres forces de la natura, de manera que de vegades se l'anomena *teoria del tot*.

Ara bé, pel que fa a la teoria de cordes hi ha diversos problemes, però n'hi ha un que és que substitueix les partícules puntuals per petits objectes extensos anomenats *cordes*, cordes vibrants. Aquests objectes són tan petits que en qualsevol experiment que puguem pensar és molt difícil veure que són extensos. Són tan petits que els podem considerar puntuals per a qualsevol qüestió pràctica. Es podria dir, per tant, que és una teoria bonica però que mai descobrirem si és correcta o no; bé, segons la meua opinió, això és massa pessimista. Crec que hi ha, de fet, diverses possibilitats per comprovar aquesta teoria. Evidentment, per poder-ho fer realment cal desenvolupar-la més, perquè la teoria de cordes només s'entén en unes circumstàncies determinades i no amb tots els detalls. Poden faltar encara unes dècades fins que la controlem del tot, però suposem que ho

aconseguirem en algun moment, que podrem manejar teòricament la teoria de cordes.

Crec que una manera per posar-la a prova seria veure si hi ha altres forces a la natura a part de les quatre forces fonamentals que coneixem, perquè com he dit, tot i que no és prou clar, sembla que aquesta teoria conté algunes partícules extres que produeixen forces de llarg abast. I no només això, sinó que també es poden produir variacions en l'espai o en el temps, o en tots dos, d'algunes constants fonamentals. Coses que nosaltres pensem que són constants de la natura podrien canviar en el temps i d'un punt de l'Univers a un altre. Per tant, hi ha certes coses que la teoria de cordes permet i que unes altres teories més convencionals no permeten. Si en tinguéssim alguna evidència —del fet que hi ha més forces de llarg abast o de la variació en el temps de la constant d'estructura fina, o d'alguna cosa com aquesta—, seria una bona indicació de la teoria de cordes.

Una altra direcció en la qual crec que es pot provar la teoria de cordes és tornant un altre cop a la cosmologia, en comptes d'usar la física dels acceleradors. Podem fer servir l'Univers com un gran accelerador si mirem enrere en el temps, perquè en aquest primer moment l'Univers era més i més calent i per tant l'energia de les partícules que hi havia, proporcional a la temperatura, era més gran. Així, si anem fins a l'anomenat *temps de Planck*, molt poc després del Big Bang, l'energia de les partícules era tan gran, o l'Univers era tan petit, que el fet que tinguem cordes en lloc de punts marca una gran diferència. Per tant, hi ha modificacions de la cosmologia en aquests primers instants que són degudes a la teoria de cordes.

Així, la meua esperança és que hi hagi alguna marca de la teoria de cordes en determinades dades cosmològiques i, en particular, en aquest fons còsmic d'ones gravitatòries que potser un dia podrem detectar amb algun d'aquests interferòmetres. La gent està pensant també en un interferòmetre a l'espai, anomenat LISA. He sentit a parlar també del BBO; sí, hi ha ara un projecte que pretén tenir una gran precisió, i s'anomena *Big Bang Observatory* perquè pretén estudiar el Big Bang. Si aquest fos el cas, si es pogués veure com era l'Univers molt a prop del Big Bang, aleshores es podria dir si l'Univers és com ens diu la teoria de cordes o com ens diuen les teories més convencionals. Per tant, he anomenat alguna força de llarg abast molt feble, alguna petita variació de les constants fonamentals o potser alguna informació en el cel en la forma d'ones gravitatòries. Finalment, hi ha una tercera possibilitat basada en el fet que la teoria de cordes, en la majoria de les seves versions, demana que l'espai no sigui tridimensional sinó que tingui dimensions extres. Normalment esperem que aquestes dimensions extres siguin molt i molt petites; un altre cop, en aquest cas, només a molt altes energies tindríem una possibilitat de «veure-les». Però hi ha

algunes alternatives viables en les quals les anomenades *dimensions extres* no són tan petites i, en particular, hi ha escenaris molt interessants on només la gravetat sent la presència de les dimensions extres, i no les interaccions electromagnètiques, per exemple. En aquest cas les dimensions extres poden tenir mides macroscòpiques, com un mil·límetre. Per què? Perquè modificarien la llei de la gravitació, la llei de Newton, per sota d'un mil·límetre, però no hi ha comprovacions de la llei de Newton per sota d'un mil·límetre. Per tant, no sabem realment si la llei de Newton serveix per sota de... diguem fraccions de mil·límetre, mentre que sabem que, per exemple, la llei de Coulomb funciona bé fins a escales molt més petites. Afortunadament, la teoria de cordes permet els anomenats escenaris de *braneworld*, on totes les forces són confinades en el nostre món tridimensional però la gravetat pot moure's per les dimensions extres. Si això fos veritat, i si aquestes dimensions fossin prou grans, aleshores es podria pensar fins i tot a comprovar la teoria de cordes en els acceleradors, de fet fins i tot en l'LHC. Podria ser que es trobés una prova de la teoria de cordes, o si es prefereix de la gravetat quàntica o de la versió de la gravetat quàntica que és la teoria de cordes, a les escales d'energia de l'LHC, cosa que suposa uns 10 TeV. Un dels fenòmens més impressionants podria ser el de la formació de miniforats negres en les col·lisions d'alta energia. En algunes teories s'han calculat aquests esdeveniments i les proves que deixaria aquest tipus de fenomen.

—Sembla que en algun moment hi pot haver confirmacions apassionants de la teoria de cordes. Recordo —i crec que està lleugerament relacionat amb aquesta teoria— una discussió que vostè va tenir amb altra gent sobre quin és el nombre de constants fonamentals de la natura.

—Sí, he pensant en això durant un cert nombre d'anys, però cal dir que només hi he pensat durant una part molt petita del meu temps de treball, és una espècie d'afició. Aquest interès va venir perquè em vaig adonar, estudiant la teoria de cordes, que podia treballar amb només dues constants fonamentals amb dimensions. Evidentment poden haver-hi moltes constants sense dimensions, com ara la constant d'estructura fina o la relació massa de l'electró-massa del protó, però la majoria de la gent en el nostre camp et dirà que es necessiten com a mínim tres unitats bàsiques: una unitat de temps, una unitat d'espai i una unitat de massa. Tanmateix, em vaig adonar que, si tan sols es considera la teoria de cordes, hem de tenir en compte que aquesta només té una longitud fonamental, l'associada amb la longitud mínima de les cordes, i conté la velocitat de la llum. Per tant, amb la velocitat de la llum i la unitat de longitud, també trobem la unitat fonamental de temps, però no sembla haver-hi una unitat de massa. Fins i tot sembla que la famosa constant de Planck, $\hbar$, es reemplaça per

aquesta longitud fonamental. Per tant, vaig escriure un article el 1986 en què deia que la teoria de cordes només necessita dues unitats fonamentals, dues constants fonamentals, tota la resta són simples nombres. Vaig associar-ne una, la velocitat de la llum, a la relativitat, és clar, i l'altra constant fonamental, la longitud fonamental, a la mecànica quàntica, però sense $\hbar$. A posteriori he de dir que potser el que estava fent era una trivialitat, no ho sé, estava dient que les unitats de massa en la teoria de cordes no s'han de separar de les unitats de longitud. Mentre que en les teories normals s'acostuma a associar una unitat separada a la massa, en teoria de cordes la massa de la corda és proporcional a la seva longitud a través de l'anomenada *tensió de la corda*. Per tant, donar una massa a la corda és com donar-li una mida, la seva longitud total, i aquesta és la raó per la qual sembla natural no introduir una unitat separada de massa. De fet no es perd res si no s'introdueix una unitat separada de massa i d'aquesta manera es redueix el nombre de constants a dues. Aleshores ho vaig debatre amb dos dels meus col·legues. En vam parlar molt amb Lev Okun, de Moscou, que realment no volia abandonar la idea que n'hi ha tres, de constants. Després, vaig discutir-ho amb Mike Duff, que deia que el nombre podia ser fins i tot zero, que es pot viure sense cap constant. Però finalment crec que es va convertir en una qüestió massa filosòfica pel meu gust. M'agrada d'alguna manera la idea que tot es produeix per pura geometria i la geometria pura necessita només el temps i l'espai.

M'agrada encara distingir l'espai i el temps; és per això que hi ha aquesta velocitat fonamental, la de la llum, que d'alguna manera és allí per recordar-nos que l'espai i el temps no són la mateixa cosa. Òbviament es pot prendre també c igual a 1 i aleshores identificar l'espai i el temps; crec que aquesta és la direcció cap on volia anar Mike Duff. Des d'aquest punt de vista jo sóc conservador, encara distingiria entre l'espai i el temps.

Per cert, puc mencionar en aquest punt que formo part d'un petit comitè de l'Académie des Sciences de París que tracta de les unitats bàsiques i les constants fonamentals. Una de les coses que estem discutint amb més profunditat és si s'ha de modificar la definició del quilogram. La definició del metre es va canviar, fa uns anys, i es va donar un valor nominal a la velocitat de la llum. Ara la velocitat de la llum es coneix sense error perquè el metre està definit a partir del segon i d'aquest valor nominal per a la velocitat de la llum. D'alguna manera, però, hi ha una asimetria. Hem tractat molt bé la relativitat donant un paper privilegiat a c , amb aquest valor nominal, però no hem fet el mateix amb el quilogram. El quilogram és encara un objecte guardat en algun lloc, creia que era a París, algú em va dir que era a Londres, però no importa, vull dir que és simplement la massa d'un objecte determinat. I no és clar que

puguem estar segurs que aquesta massa sigui constant, està canviant en el temps perquè se li acumula gas, i a part és una unitat de massa que no pots comunicar, no és universal. Com li ho diries, no a un extraterrestre de l'espai, sinó simplement a un amic de Califòrnia, quin és el nostre quilogram: ha de venir a París. Per tant seria millor fer servir com a unitat de massa alguna massa fonamental en la física o potser, segons la mecànica quàntica, l'energia d'un fotó amb una freqüència determinada. Ja que tenim molt bones mesures de la freqüència i del temps, és per això que hem substituït el metre pel segon; de la mateixa manera, un cop tinguem bones mesures de freqüències, podrem definir una unitat d'energia donant un valor nominal a $\hbar$. La qüestió és saber quines són les unitats més apropiades que hauríem de recomanar. El sistema actual és obert, vull dir que es tenen certes unitats, incloent-hi la candela, el mol... Sembla que moltes d'aquestes unitats estan molt lluny de ser fonamentals.

—*Per acabar l'entrevista, parlem de tancar el cercle entre la teoria de cordes i la motivació per introduir-la en el passat: les interaccions fortes, és a dir, la cromodinàmica quàntica (QCD).*

—Aquest és un cercle molt interessant perquè, bé crec que ho he explicat abans, és cert que la teoria de cordes es va començar al final dels anys seixanta per intentar entendre les interaccions fortes, la força nuclear. Però aleshores va resultar que aquesta teoria no va funcionar gaire bé per l'ús que se li volia donar, i en comptes d'això va aparèixer la QCD, que és una teoria de camps, una teoria més convencional si es prefereix, que parla sobre quarks, gluons... Però ara, en els últims anys, sembla que les coses s'estan movent en la direcció contrària; és a dir, podem intentar entendre per exemple el confinament o altres propietats dels quarks i els gluons des del punt de vista de les cordes.

Crec que hi ha dos desenvolupaments que puc mencionar, un és el que acabo de dir, que hi ha relacions entre teories de gravetat quàntica, com la teoria de cordes, i teories sense gravetat com la teoria de les interaccions fortes. Hi ha una famosa conjectura de Maldacena que connecta una teoria gravitatòria, en un nombre molt alt de dimensions, amb una teoria de camps en menys dimensions, quatre. I després l'altre gran problema no resolt és, en certa manera, entendre com la natura ens va tractar, ens va enganyar, durant els anys seixanta, perquè el fet que la teoria de cordes fos descoberta mentre s'estudiaven les interaccions nuclears no és una cosa estranya. Té les seves raons, i les raons són que la teoria de les interaccions fortes que ens creiem ara, la cromodinàmica quàntica, conté objectes tipus cordes. Creiem que, a través del fenomen del confinament, els quarks estan lligats entre ells en una cosa que sembla una corda. Així no és tan estrany que, observant la fenomenologia d'aquestes partícules, s'hagin descobert les cordes, ex-

cepte que vam descobrir la teoria de cordes equivocada per a aquesta qüestió en concret.

Hi ha hagut des de fa molt de temps, des de la proposta de la QCD i la seva expansió en N gran de Gerardus 't Hooft, molts intents per entendre quina és la teoria de cordes correcta que, com a límit, dona la QCD. No és la teoria de cordes de finals dels seixanta, perquè aquesta és bàsicament una teoria de la gravetat, però hi ha d'haver una modificació, potser una complicació, d'aquesta teoria de cordes que realment representi, en algun límit, la teoria de les interaccions fortes. Per tant, el problema ha passat a ser aquest, avui. Alhora també hi ha aquesta bonica connexió, en general, entre teories de galga i teories de cordes; això ha portat a molts resultats interessants, es poden estudiar les teories quàntiques de camps en certs règims on no poden ser estudiades de cap altra manera que no sigui fent servir la correspondència. De fet sembla que el cercle està intentant tancar-se tot sol. Però no és fàcil, de moment han fallat tots els intents de tancar realment aquest cercle. Es poden fer progressos, però quasi sempre en teories que no estan directament relacionades amb el món físic, teories supersimètriques i coses com aquestes. Però estic esperançant que això es pugui solucionar algun dia.

—*Molt bé, acabem aquí, doncs, i moltes gràcies per aquesta agradable conversa.*

Breu currículum de Gabriele Veneziano

Va néixer a Firenze (Itàlia) el 1942. Es va llicenciar a la Università degli Studi di Firenze el 1965. Va obtenir el títol de doctor en Física al Weizmann Institute of Science (Israel), el 1967, on va exercir de professor del 1971 al 1977. Va fer una estada postdoctoral al Massachusetts Institute of Technology (EUA), on va ser professor del 1969 al 1972. Des del 1977 fins ara forma part del personal del CERN, del qual va ser cap de la divisió teòrica del 1994 al 1997. A partir del 2004 també és professor al Collège de France.

Cal assenyalar que ha obtingut els premis següents: el 1999, Premi I. Ya. Pomeranchuk de l'Institut de Física Teòrica i Experimental de Moscou; el 2000, la Medalla d'Or de la República Italiana i el 2004, el Premi D. Heineman de l'American Physical Society.

Un treball seu del 1968 representa el naixement del model dual (model de Veneziano), origen de la teoria de cordes, que és una de les fronteres actuals de la recerca d'una teoria unificada de les interaccions fonamentals.

