

Presentació de la columna

Albert Gras Martí

Físic · Membre de l'IEC

Comentarem breument ací algunes qüestions fonamentals o actuals de física, que poden ajudar o incitar a aprofundir en cada tema. Ens adreçarem a persones interessades en la visió científica de l'Univers, en particular, a alumnes i professors de qualsevol nivell educatiu.

Discutirem aspectes puntuals sobre com entenem el món físic, però tot i la bellesa estètica de l'expressió matemàtica de les lleis físiques (vegeu la imatge) evitarem l'ús d'equacions.

Física escolar: avorrida i difícil

Pocs alumnes aprenen de manera significativa en les classes de física. Alguns docents proposen fer-les més entretingudes i participatives mitjançant activitats de caire experimental, o més interessants amb la introducció de temes de "física moderna". Les dues opcions tenen els seus pros i contres.

Així, els experiments amb rampes per on rodren discos, corrioles per a alçar objectes, molles que oscil·len, etc., tot i que poden ajudar a fixar conceptes i a resoldre problemes amb matemàtiques senzilles (àlgebra), semblen molt antiquats als alumnes de l'era dels telèfons intel·ligents.

Pel que fa a continguts, diu **Arons** en *Teaching Introductory Physics* que la introducció prematura de conceptes de física moderna corre el risc de pretendre un aprenentatge accelerat d'alguns resultats de la Física Moderna durant el primer any d'Universitat o fins i tot a l'Institut. Com que aquests alumnes no tenen el desenvolupament cognitiu necessari, només s'aconsegueix un aprenentatge superficial que es posa a prova en "problemes" artificials. De la memorització de paraules, com ara, *quark*, *gluó*, *neutrino*, *encant*, *funció d'ona*, etc., no resulta cap coneixement sobre la descripció física del món. I ho remata Arons advertint que «no hem de caure en la pressió pels continguts (com molts químics han fet, per exemple) i forçar en els nostres estudiants una memorització mancada de comprensió».

A tot això cal afegir que, en paraules de **D. Tong**, a la física de l'Institut o dels primers cursos universitaris ens ensenyen "mentides pietoses", i més tard ens adonem que tot és bastant més complicat. Per exemple, aprenem que hi ha tres quarks dins de cada protó i cada neutró. I no és cert. El que hi ha dins d'un protó són gluons i centenars de partícules virtuals (parelles quark-antiquark), i resulta que el nombre de quarks supera en tres el d'antiquarks.

Fet i fet, doncs, ens trobem que la ciència i la tecnologia d'avantguarda estan molt lluny dels coneixements i del llenguatge que podem fer servir amb un mínim de confiança la majoria de nosaltres. Per això intentem ací donar una mica de llum a alguns conceptes físics. Els *retalls* d'aquesta primera columna estan basats en converses de D. Tong i de **S. Carroll** en *The Joy of Wh(y)*.

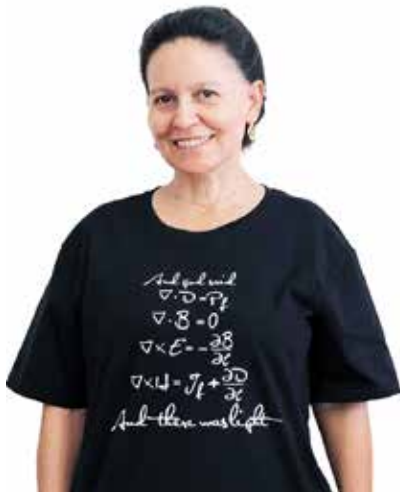
Entrellaçament Quàntic

Alguns fenòmens físics es poden analitzar amb conceptes com posició, velocitat, massa, força, etc., però la descripció més fonamental del món la dona la física (o mecànica) quàntica. Quan fem experiments amb partícules elementals, l'única descripció correcta és la quàntica. Comentem un aspecte del món quàntic que s'esmenta sovint, el de l'entrellaçament quàntic.

Tots hem sentit parlar d'electrons, protons, neutrinos, etc. Fins i tot, potser, sabem que el bosó de **Higgs**, una partícula fonamental l'existència de la qual va ser anticipada el 1965, es va detectar experimentalment el 2012. Imaginem que un bosó de Higgs, que té una vida mitjana molt curta, d'uns 10^{-21} s, decau (es desintegra) en un electró i un positró (és a dir, un electró i un anti-electró). La física quàntica no ens permet predir la direcció en què es mouran les dues partícules creades, però la conservació del moment lineal del sistema exigeix que es moguen en sentit oposat una de l'altra. Per aquesta raó, hi ha només una funció d'ona per al sistema compost de l'electró i el positró, és a dir, no es pot predir de manera separada i independent què s'obtindrà com a resultat de fer un experiment que mesure com es mou cadascuna de les dues partícules. Aquest fet és l'entrellaçament quàntic.

La realitat de l'entrellaçament no és un fet rar i aïllat, sinó que es comú en mecànica quàntica, i el van traure a la llum **Einstein, Podolsky i Rosen** en un article del 1935 conegut com "La paradoxa EPR". Allò que molestava Einstein és que si esperem un temps molt i molt llarg, de manera que el positró i l'electró de l'exemple anterior estiguin ben allunyats entre ells, el fet de mesurar el moment lineal de l'electró, per exemple, determinarà de manera immediata el moment lineal de l'altra partícula. I no hi ha cap limitació imposada per la velocitat de la llum.

Einstein pensava que la teoria quàntica no podia ser l'última paraula, però a dia de hui argumentem que amb l'entrellaçament no es viola la teoria especial de la relativitat (que diu que res no es mou a velocitat major que la llum). En efecte,



Les equacions de Maxwell "expliquen què és la llum"

si les partícules anteriors, producte de la desintegració, estan per exemple a un any-llum de distància relativa, només podem saber els resultats de les dues mesures quan a un experimentador li arribe la informació sobre l'altre experiment. I aquesta informació no pot viatjar a velocitat major que la de la llum. Per tant, com a conseqüència de l'entrellaçament, la manera que funciona l'univers involucra correlacions (com les correlacions entre els moments lineals de l'electró i el positró de l'exemple anterior) que viatgen més ràpidament que la llum. Això no implica, però, que cap partícula o cap ona pugui viatjar a una velocitat major que la de la llum.

Les Escales en la Ciència

En les seues lliçons sobre Teoria de Estadística de Camps diu D. Tong que la Natura està organitzada en escales de mesura diferents. Així, les coses petites afecten les coses grans, però no a l'inrevés. Per exemple, la física de partícules està per sota de la física atòmica, i aquesta per sota de la matèria condensada i de la química, però la química subjau a la biologia. Per contra, les coses grans no afecten a les coses petites: el comportament dels éssers vius, per exemple, no afecten els àtoms, ni els nuclis dels àtoms. Per aquesta raó, diu Tong, no hi ha departaments d'astrologia en les universitats, perquè objectes grans, com ara els planetes, o els estels, no poden afectar éssers molt més menuts, com els humans.

Tanmateix, hi ha un aspecte que es comenta menys, i és que si bé és cert que les coses petites afecten a les grans, les coses petites rarament afecten a les molt grans. Les coses petites afecten només coses una mica més grans que elles, i aquestes al seu torn afecten d'altres també una mica majors. I, com més pugem en la cadena, més s'hi va perdent informació sobre què hi havia molt a sota. Aquest fet ens ha permès fer ciència: ni **Newton** ni Einstein necessitaren comprendre com funciona la gravetat quàntica a distàncies microscòpiques, per tal d'escriure les equacions que funcionen de meravella a escales de distàncies molt més grans.

Premi de la Real Sociedad Española de Física i la Fundació BBVA a PACO SAVALL ALEMANY



Paco Savall, membre del consell de redacció de DAUALDEU, revista on ha publicat diversos treballs, ha sigut guardonat amb el Premi de Física Real Sociedad Española de Física-Fundación BBVA en l'apartat d'Ensenyament i Divulgació de la Física (modalitat d'ensenyaments mitjans).

Actualment, Paco és professor de Física i Química a l'IES Veles e Vents de Gandia, però ha sigut professor en diferents instituts de la comarca (Ondara, Xàbia i Gata de Gorgos). Ha impartit docència també en la Facultat d'Educació de la Universitat d'Alacant, en el Departament de Didàctica General i Didàctiques específiques.

Paco és Doctor per la Universitat d'Alacant per la tesi titulada *L'ensenyament problematitzat de la física quàntica en batxillerat com a instrument de millora de l'aprenentatge*. Ha publicat articles sobre Didàctica de les ciències en revistes d'impacte, nacionals i internacionals. També ha participat, i premiat, en diverses ocasions en el Concurs Experimenta organitzat per la Universitat de València.

El jurat del premi de la RSEF i la Fundació BBVA ha volgut guardonar la trajectòria professional i les contribucions a la millora de la docència i la divulgació de la física. En concret, el jurat valora especialment l'elaboració d'unitats didàctiques basades en un ensenyament com a investigació. També ressalta la seua implicació en la formació del professorat, la contribució activa en associacions dedicades a l'ensenyament de la física i la participació en certàmens de ciència amb els alumnes.