



TEMPS I (AS)SIMETRIA

He de confessar-ho: la física sempre m'ha generat respecte. Mentiria si no admetera que pensar en alguns dels seus misteris m'ha turmentat en més d'una ocasió. Ja ens ho advertia a l'institut un dels bons professors que hi vaig tindre: «si quan em gite pense en l'univers, no puc dormir», deia. Hi ha, però, un concepte que m'inquieta tant com la immensitat del tot que ens envolta i del qual formem part. El temps. És gratificant descobrir que a casa nostra, a l'Institut de Física Corpuscular de la Universitat de València, un grup de científics ha liderat una important investigació internacional per descobrir directament la ruptura de la simetria del temps en les lleis físiques.¹ Per saber què vol dir, tot això, conversem amb ells. Conversem, de nou, amb la ciència.

Què els sembla si comencem per definir el concepte de simetria en física? No sé si es deu assemblar gaire a la noció geomètrica que ara mateix tinc al cap.

JOSÉ BERNABEU: És molt important aclarir això que dius. El gran públic té la visió de la simetria en objectes, però no és d'això que parlem en física. Nosaltres ens referim a la simetria de les lleis que governen el comportament dels fenòmens de la natura. Amb les lleis físiques relacionem les quantitats que som capaços de mesurar. Aquestes quantitats que les lleis relacionen, que ara ens permeten avançar en el coneixement de la natura, poden transformar-se amb una operació matemàtica. Si després de transformar les quantitats la llei continua sent la mateixa, direm que és simètrica.

I quina importància tenen, aquestes simetries?

J. BERNABEU: En certs casos, que la llei siga simètrica automàticament ens dona una conseqüència observable, independentment de la forma concreta de la llei. La presència de la simetria pot implicar lleis de conservació, per exemple. Per això aquest concepte, des de l'adveniment de la mecànica quàntica ara fa cent anys fins als nostres dies, ha anat adquirint més i més importància.

FERNANDO MARTÍNEZ VIDAL: I no solament en la mecànica quàntica. En la mateixa mecànica clàssica la importància

de les simetries és fonamental, ja que ens permet definir magnituds i mesurar-les. La simetria no solament ens diu quines propietats té la llei física en qüestió, sinó que a més ens permet entendre i conèixer magnituds associades que es conserven i que gràcies a això es poden mesurar.

Estava llegint, just abans que arribaren, el pòster dedicat a les simetries que hi ha al passadís. Parla, entre altres coses, de la assimetria entre matèria i antimatèria, que permet que tot existezca.

PABLO VILLANUEVA: Es tracta d'un fet realment important que es coneix des de ja fa molts anys. En les lleis de la física, tan important és la simetria com la assimetria.

J. BERNABEU: De fet la assimetria pot ser fins i tot més important. L'origen de la matèria ve de la ruptura de la simetria. Trencar una simetria quan té una manera definida, no atzaro-sa, dona moltíssima informació. Més informació que el fet que es mantinga regular.

En canvi, no ha estat fins ara, amb la seua investigació, que s'han trobat evidències directes de la ruptura de simetria del temps en les lleis físiques. Per què?

J. BERNABEU: Hi ha una raó que s'entén immediatament. Aquelles

partícules elementals amb què es va descobrir, i després confirmar, la assimetria de matèria/antimatèria, i que són precisament en les que esperem la ruptura de simetria temporal, són partícules inestables que es desintegren en el temps. Si una partícula es desintegra és impossible poder utilitzar-la per poder fer el sentit oposat del moviment. Aquesta raó, que sembla tan clara, és efectivament l'impediment bàsic pel qual un test de la simetria per inversió temporal en partícules que es desintegren no havia pogut fer-se.

I per què no es feia amb partícules estables?

J. BERNABEU: Perquè mai s'ha observat trencament de matèria/antimatèria, hi ha simetria. Precisament el trencament s'havia observat en partícules inestables. I el que volíem saber és si en aquestes partícules inestables podríem fer inversió temporal. En un moment determinat, ens vam adonar que hi ha certs sistemes en què en lloc de tenir una partícula en tenim dues, entrelaçades, embullades. Es tracta d'un fenomen quàntic importantíssim, fonament de tota la informació quàntica de què es parla en els últims temps.

«LES SIMETRIES ESTAN EN LES LLEIS FÍSQUES, PERÒ AIXÒ NO VOL DIR QUE ALLÒ QUE JO VEIG AL LABORATORI REFLECTESCA AQUESTES SIMETRIES»

FERNANDO MARTÍNEZ VIDAL

¹ BERNABEU, J.; MARTÍNEZ-VIDAL, F. i P. VILLANUEVA-PÉREZ, 2012. «Time Reversal Violation from the Entangled $B^0 \bar{B}^0$ System». *Journal of High Energy Physics*, 8. DOI: <10.1007/JHEP08(2012)064>.

P. VILLANUEVA: Les partícules entrelaçades comparteixen la mateixa informació. Això ens va suggerir la solució. Si una d'aquestes es desintegra però l'altra continua encara vivint, fem l'experiment d'inversió temporal amb l'altra, que conté la informació complementària i per tant ens permet saber quina és l'original. Així ha estat com, després de molts anys d'estudi, hem arribat a detectar la ruptura de la simetria en la inversió temporal.

F. MARTÍNEZ VIDAL: En molts casos identificar les simetries no és fàcil. Com molt bé ha dit José, les simetries estan en les lleis físiques, però això no vol dir que allò que jo veig al laboratori reflectesca aquestes simetries. Moltes vegades estan completament amagades, és quasi impossible identificar-les. Un exemple macroscòpic que mostra perfectament com pots tindre una llei física simètrica però allò que observes és completament antisimètric: agafe aquest guix i el tire a terra [ho fa] i es trenca... [observa el resultat] en tres trossos. El procés invers, invertit temporalment, en què consistiria?

Que els tres trossos es tornaren a unir, s'enlairaren i tornaren a la taula.

F. MARTÍNEZ VIDAL: Exacte. I això clarament és irreversible. Ara, quines són les interaccions, els processos fonamentals, que controlen o determinen aquest procés? Són la gravitació i l'electromagnetisme. Les equacions d'aquestes lleis físiques, les de Newton i les de Maxwell, són completament reversibles. Si tu canvies de t a $-t$, inverteixes el moviment, són exactament les mateixes. Ací tenim una paradoxa. Per què essent les lleis físiques simètriques, el guix no vola i es reconstrueix? La raó fonamental és que el que nosaltres veiem, ací o al laboratori,

no solament és controlat per les lleis físiques sinó que també hi intervenen condicions de contorn i l'aleatorietat, que no arbitrietat, de les lleis físiques.

J. BERNABEU: En sistemes complexos no solament valen les lleis fonamentals de la física. Hi ha una segona llei de la termodinàmica que diu que, efectivament, no solament hi ha aquestes lleis de conservació de les simetries que tenim abans, sinó que hi ha una quantitat que no es conserva. Això és l'entropia, que ens diu com d'ordenat està un sistema. De manera espontània, quan un sistema és complex, l'evolució sempre tendeix automàticament al desordre, a augmentar l'entropia. El fet que això només tinga un sentit no té res a veure amb la simetria de les lleis. De vegades observem situacions que són irreversibles, però el fet que siguin irreversibles no vol dir que hi haja ruptura de la simetria en la inversió temporal en les lleis de la física.

F. MARTÍNEZ VIDAL: La paradoxa està aquí. Si tu mires amb lupa el procés observant els constituents que formen part d'aquest sistema complex, les lleis dinàmiques poden ser, de fet ho són, completament simètriques en el temps. Però el procés global no ho és, per l'increment d'entropia.

P. VILLANUEVA: Corregiu-me si m'equivoque, però no és el temps l'increment d'entropia? Si no hi haguera una transformació de l'entropia, és a dir, un camí cap al desordre, no podríem mesurar el temps. De fet per això el temps sempre va cap avant, no es pot tornar arrere en el temps. Perquè la magnitud física que és el temps és l'entropia.

J. BERNABEU: Aquesta és l'explicació de per què el temps avança. Els sistemes complexos es desordenen. Dir que el temps sempre transcorre en un sentit hi té molt a veure. De fet quan parlem d'inversió temporal ens referim a invertir el sentit del moviment, no del temps. Si jo faig un moviment al revés no estic fent el temps enrere. Estic canviant el sentit del moviment. El temps sempre transcorre en el mateix sentit. L'altre sentit no té significat.

I què han observat, canviant el sentit del moviment?

F. MARTÍNEZ VIDAL: En el mateix sistema de partícules B's en què s'havia observat assimetria entre matèria i antimatèria, hem fet un nou experiment en què es mesura una transició en el temps des d'un estat inicial a un altre de final, i després hem mesurat des de l'estat final a l'inicial. La comparació entre ambdós processos ens ha donat una assimetria en aquestes evolucions temporals amb una significança de 14 desviacions estàndard en termes estadístics. Molt més de l'exigit en el nostre camp per declarar aquest resultat un descobriment.



D'esquerra a dreta, Fernando Martínez Vidal, Pablo Villanueva i José Bernabeu, de l'Institut de Física Corpuscular de la Universitat de València.

ALEXANDRE MARTÍNEZ ORTS
Llicenciat en Periodisme (València)