

Física escolar

Magnituds físiques

Albert Gras Martí

Físic · Membre de l'IEC

La Física treballa amb unes magnituds que anomenem, una mica redundàntment, magnituds físiques. També hom diu que la Física és la ciència de la mesura. La “por”, per exemple, no és una magnitud física, perquè no sabem com mesurar-la.

Tanmateix, com explica **Arons**, quan introduïm un nou concepte als alumnes, no solem insistir prou que, per cada magnitud corresponent a un concepte ‘inventat’, s’han d’abastar sis aspectes:

1) Definició (fórmula matemàtica). 2) Nom. 3) Símbol. 4) Unitats. 5) Definició operativa (el procediment pel qual es pot assignar un valor numèric a la magnitud física). 6) Significat (expressable verbalment i sense fórmules).

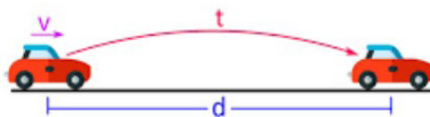
Per exemple, quan introduïm la velocitat mitjana:

1) $\Delta x/\Delta t$ (desplaçament per unitat de temps). 2) Velocitat mitjana. 3) $\langle v \rangle$. 4) m/s. 5) Cal fer lectures de posició i de temps per a dues situacions, obtenir-ne els canvis i calcular-ne el quocient. 6) És la velocitat, constant, a la qual caldria anar, per fer el mateix desplaçament total en el mateix temps.

del sistema perfum-aire. Per tant, seria perfectament possible que, en algun moment, totes les molècules de perfum tornaren a ajuntar-se en el mateix racó on eren inicialment. Tanmateix, diem que això és ‘altament improbable’.

La qualificació d’altament improbable s’utilitza, simplement, perquè l’idioma no conté prou superlatius per a subratllar com de ridículament improbable seria una violació de la Segona Llei com la descrita adés, en la qual un sistema desordenat tornés, fins i tot momentàniament, a un estat ordenat. El nombre tan absurdament enorme d’estats que són possibles en un sistema macroscòpic (i l’estat d’ordre inicial és, només, un dels moltíssims possibles) significa que les violacions de la Segona Llei només es produïrien en escales temporals inimaginables: una vegada d’entre el nombre immens que resulta de calcular exponencials d’exponencials del temps.

Per tant, la irreversibilitat impera en el nostre món i mai no observem que l’estat del sistema s’acoste a l’estat inicial. Aquesta és una bona definició operativa de la paraula “mai”.



$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Exemples de valors mitjans i fórmula per obtenir-los. Quantitat de pizza (1/8 per persona). Nombre de fills (1,3 per família). Velocitat d’un vehicle (15 m/s). Resulta interessant demanar que els nostres alumnes (siguen de batxillerat o universitaris) expressen verbalment el significat dels valors numèrics mitjans. Allò que solen fer és repetir el ‘procediment’ (dividir el total de pizza pel total de persones, per exemple) però no el significat d’allò que n’ha resultat. Aquesta explicació hauria de ser semblant a l’expressada en el punt 6) anterior.

Operativització del concepte ‘altament improbable’

David Tong ens dona una definició operativa de l’adverbi “mai” en les seues lliçons sobre la Segona Llei de la Termodinàmica, quan descriu la irreversibilitat que veiem en el món que ens envolta: per exemple, quan aboquem una gota de perfum en un cantó d’una cambra i s’hi escampa, l’entropia del sistema augmenta. Estadísticament, diem que quan les molècules de perfum i les de l’aire es mesclen, el nombre d’estats possibles del sistema perfum-aire és molt major que quan estaven separades.

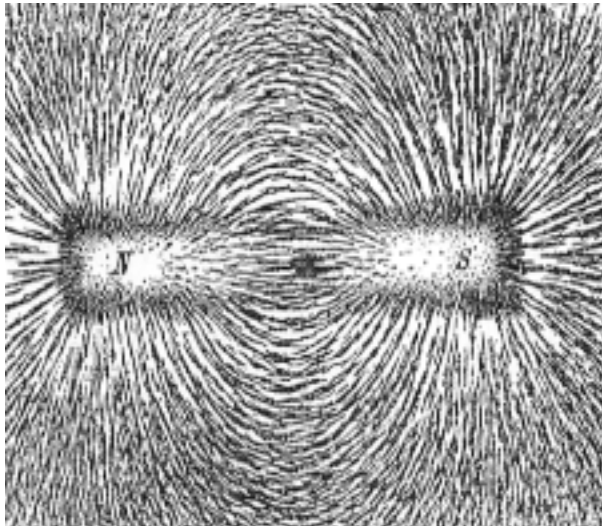
La Segona Llei té caràcter probabilístic. D’altra banda, les lleis de la Física permeten que l’evolució temporal del sistema pugui recuperar la configuració inicial, que seria un dels possibles estats

Els camps en Física

Personalment, quan comence a parlar dels camps a estudiants primerencs de Física, els compare (per deformació personal) amb els camps d’arròs del nostre país: en un camp d’arròs, hi ha arròs pertot arreu. De la mateixa manera es parla en Càlcul de camps de pendents o de derivades, o s’introdueixen els camps electromagnètics en Física Clàssica, o aprenem sobre camps materials en Mecànica Quàntica (MQ).

En la física clàssica, la raó principal per a introduir el concepte de camp és la de construir lleis de la Naturalesa que siguin locals. En efecte, la llei de **Coulomb** per a les forces elèctriques i la llei de **Newton** per a les forces gravitatòries impliquen ‘accions a distància’. Això vol dir que la força que sent un electró davant d’un protó, o la

força que experimenta un planeta davant d'un estel, canvien immediatament si l'electró o el planeta es mouen en relació al protó o a l'estel amb els quals interaccionen. Aquesta situació és filosòficament insatisfactòria, especialment si els dos objectes estan ben allunyats. I encara pitjor, aquesta predicció de les lleis de Coulomb i de Newton és experimentalment incorrecta.

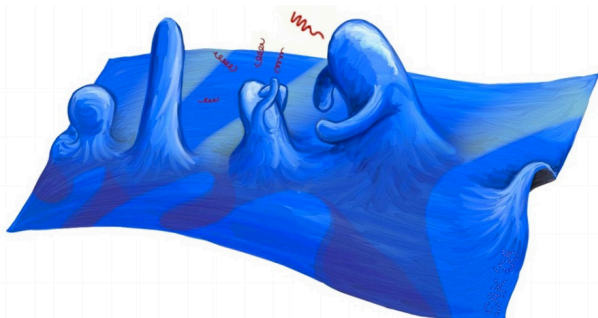


Visualització del camp magnètic creat per un imant

Les teories de camp de **Maxwell** i d'**Einstein** resolen el problema de l'acció a distància fent que les interaccions actuen de manera local, mitjançant el valor local del camp elèctric o del camp gravitatori corresponent. El concepte de camp va tindre l'entrada en física amb **Faraday**.

És curiosa la història de l'evolució dels conceptes de partícula (com ara l'electró) i de camp (com ara l'elèctric). Newton pensava en la llum com una partícula, i **Young** la imaginava com una ona. Modernament, la MQ descriu la llum en termes de dualitat ona-partícula: es manifesta d'una manera o d'una altra segons quin tipus d'experiment fem, és a dir, segons quin tipus de pregunta fem a la Naturalesa.

La física actual pren els camps com les entitats fonamentals, i les partícules com a 'excitacions' d'aquests camps. De la mateixa manera que el camp electromagnètic (la llum visible, per exemple) pot omplir un espai, i els fotons són partícules quàntiques o 'excitacions' que 'componen' la llum, a hores d'ara imaginem totes les partícules elementals com a 'excitacions' dels camps materials corresponents.



Les partícules són excitacions dels camps

Les teories de camp de Maxwell i d'Einstein resolen el problema de l'acció a distància fent que les interaccions tinguin lloc localment.

Les ones propaguen els camps

En física parlem de diversos tipus d'ones:

Les ones mecàniques, governades per les lleis de Newton, i que només poden existir dins d'un medi, com ara dins l'aigua, l'aire o les roques. Per exemple, les ones en aigua, les ones sonores i les ones sísmiques.

Les ones electromagnètiques (llum, ràdio, microones, raigs X, etc.), que no necessiten un medi material per existir. Totes elles viatgen pel buit interestel·lar a la mateixa velocitat uns 300000 km/s.

Les ones materials, associades als electrons, als protons i a totes les partícules fonamentals, fins i tot a àtoms i a molècules. És a dir, als constituents de la matèria.

Caldria afegir-hi les ones gravitacionals, detectades l'any 2015, que són ondulacions en el teixit de l'espai-temps, causades per l'acceleració d'objectes massius, com ara la fusió de forats negres o d'estrelles de neutrons.

La Teoria Quàntica de Camps (TQC)

La dualitat ona-corpúscle ens diu que les propietats dels electrons i dels fotons són molt semblants, a nivell fonamental, tot i que hi ha diferències: els electrons tenen massa i càrrega, però no els fotons. Tant fotons com electrons poden 'patir' difracció, com les ones, i fotons i electrons poden participar en col·lisions, com les partícules.

Tanmateix, els dos objectes semblen ben diferents: els electrons són partícules constituents de la matèria, mentre que els fotons apareixen com un concepte derivat, com a ondulació (com a excitació) del camp electromagnètic.

En la Teoria Quàntica de Camps, els dos objectes apareixen de la mateixa manera, com a conceptes derivats: el concepte fonamental és el de camp, no el de partícula. Els electrons (partícules) apareixen en fer la quantització dels camps, com a ondulacions d'un camp de matèria, anàlogament a com apareixen els fotons, com a ondulacions del camp electromagnètic.

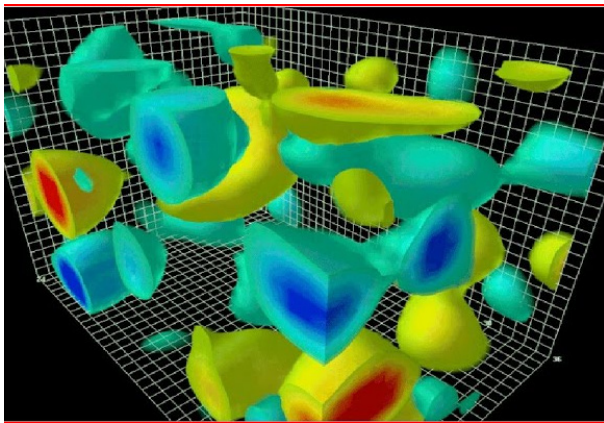
Així, per tal de descriure les lleis fonamentals de la Naturalesa, hem d'introduir un camp per a cada tipus de partícula fonamental: camps de quarks, camps de neutrinos, camps de **Higgs**, etc. D'ací el terme camps en el nom, TQC. També s'anomena Teoria Relativista de Camps, perquè és la teoria que eixampla el rang d'aplicacions de la MQ de **Schrödinger** a situacions on les velocitats involucrades són comparables a la de la llum.

Per què, la TQC?

A banda del requeriment de localitat que ja es va fer servir en Física Clàssica per introduir el concepte de camp, i que hem esmentat abans, hi ha dues raons bàsiques per tractar els camps quàntics com el concepte fonamental en la descripció de la Naturalesa.

La primera és que la combinació de la MQ amb la teoria especial de la relativitat porta a la conclusió que en un sistema tancat el nombre de partícules no es conserva. Les partícules no són objectes indestructibles que es van crear en el *Big Bang* i que continuen existint. Les partícules poden crear-se (acompanyades d'antipartícules) i destruir-se. Aquest fet es comprova a diari en els acceleradors de partícules. Ens cal, doncs, una teoria que no fixe d'entrada el nombre de partícules del sistema.

La segona raó per la qual és necessària la TQC és perquè totes les partícules del mateix tipus són idèntiques. Sembla una afirmació trivial, però no ho és. Dos electrons o dos protons, per exemple, són totalment idèntics siga quin siga el seu origen: vinguen d'un raig còsmic d'una supernova formada a milers de milions d'any llum de nosaltres, o siguen produïts en un accelerador al laboratori. El model de camp de protons, per exemple, explica que tots els protons siguen idèntics, perquè provenen del mateix 'camp', un camp que s'estén a tot l'Univers.



El buit és un bull continu de partícules i antipartícules, que es pot descriure amb les eines de la TQC

La dualitat ona-corpúscle ens diu que les propietats dels electrons i dels fotons són molt semblants, a nivell fonamental, tot i que hi ha diferències.

La TQC ha tingut un impacte important en la física de la matèria condensada, en la d'altres energies, en cosmologia, en gravetat quàntica... és el llenguatge en què s'escriuen les lleis de la Naturalesa.

En la TQC es quantitzen els camps clàssics, anàlogament a com es quantitza el camp electromagnètic en MQ, i resulta que les possibles interaccions entre aquests camps estan governades per uns principis molt bàsics i generals: localitat, simetria i renormalització (el fet que els fenòmens que ocorren a distàncies petites estan desacoblats dels que esdevenen a escales més grans). En parlarem en futurs Retalls.

Per a què la TQC?

La resposta és: per a gairebé tot. Cal fer-la servir per a qualsevol sistema relativista, però també és una eina molt útil en sistemes no relativistes que tinguen moltes partícules. La TQC ha tingut un impacte important en la física de la matèria condensada, en la d'altres energies, en cosmologia, en gravetat quàntica, etc. Fins i tot en matemàtiques pures. És, literalment, el llenguatge en què s'escriuen les lleis de la Naturalesa.



MERIDIÀ ZERO

ASSOCIACIÓ
PER LA DIVULGACIÓ
DE LA CIÈNCIA
I LA TECNOLOGIA

<https://associacionmeridiazero.com>