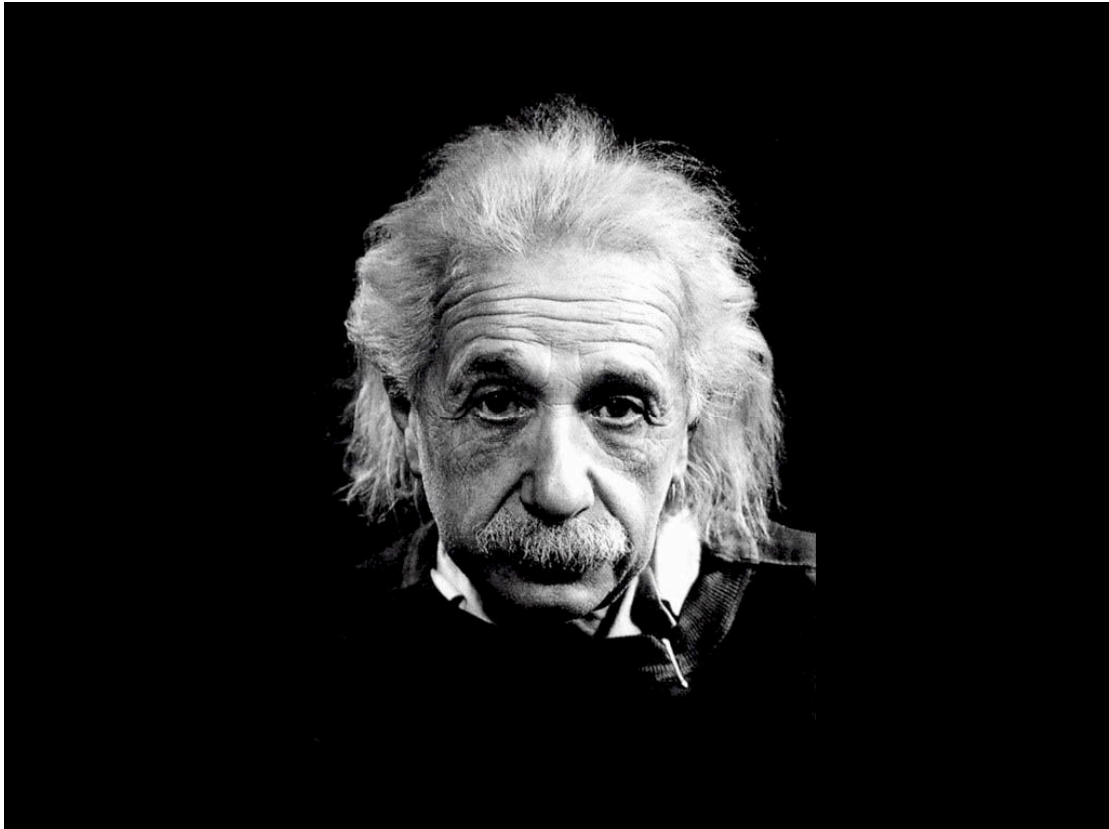


ANSIBLES I QBITS

ENRIC PLAZA

L'any 2005 celebrarem els 100 anys de la publicació el 1905 dels principals treballs d'Albert Einstein; i la UNESCO ha declarat el 2005 l'Any Mundial de la Física. A l'edat de 26 anys aquests articles varen sentar les bases de la teoria de la relativitat i de la mecànica quàntica. Aquest article és un petit homenatge a Albert Einstein i una reivindicació del seu pensament.



Si m'ho permeteu començaré l'article tot adreçant la primera pregunta que us podeu fer a partir del títol: *Què és un ansible?* La segona pregunta (*Què és un qbit?*) és més fàcil d'explicar (és un bit quàntic) però necessitaré haver explicat abans què és l'*embullamnet quàntic* i la seva relació amb la informàtica. Anem doncs per parts.

L'ansible

El terme *ansible* s'usa en ciència ficció per descriure un dispositiu de comunicació superluminal (és a dir, més ràpid que la llum) i més concretament per un dispositiu amb comunicació instantània. Aquest mot va ser inventat per l'escriptora de ciència ficció Ursula K. LeGuin a la seva novel·la de 1966 *Rockannon's World*. Altres escriptors com Orson

Scott Card o Vernor Vinge també han usat el terme, i així *ansible* ha esdevingut un mot comú. L'origen del mot, segons LeGuin, ve d'*answerable* (la capacitat de respondre), és a dir un dispositiu que permetria d'obtenir resposta en un temps raonable a missatges tramesos àdhuc a distàncies interestel·lars.

La comunicació superluminal és problemàtica donat que la teoria de la relativitat especial ens diu que un dispositiu d'aquesta mena permetria la comunicació del futur envers el passat (i saber, per exemple, qui guanyarà les eleccions abans d'haver votat). De fet, Ursula K. LeGuin a la seva novel·la de 1974 *The Dispossessed* presenta l'inventor de l'ansible, un físic que desenvolupa una nova teoria unificada de la física.

Per bé que els models físics actuals no prohibeixen totalment el viatge temporal (*time travel*), trobem paradoxes si usem el nostre concepte intuitiu de *causalitat*. La teoria general de la relativitat descriu l'univers amb un conjunt d'equacions de camp i se sap que existeixen solucions anomenades *closed timelike-curves* que permeten el viatge al passat; Kurt Gödel va proposar-ne la més coneguda, però és incert si l'univers té les condicions que permetrien l'existència d'aquestes corbes.

Nogensmenys, el que és clar és l'equivalència entre el viatge temporal i el viatge superluminal. Per sort, la comunicació superluminal pot ser més assolible que el viatge superluminal (entès com transport material, la "teletransportació" d'estats quàntics es fa actualment als laboratoris de física). De fet, sempre m'he imaginat l'ansible com un dispositiu que usa l'embullament quàntic (*quantum entanglement*). Malauradament, l'embullament quàntic és un tema prou embolicat.

Einstein i la mecànica quàntica

La física quàntica es fa difícil d'entendre: les nostres intuïcions s'esmicolen en el món corpuscular i els models matemàtics s'interpreten en texts de divulgació que intenten apropar aquests dos nivells que formen els models matemàtics i l'enteniment comú. Desgraciadament, la cosa és pitjor, com veurem: els físics mateixos no es posen d'acord ni en la interpretació de les teories ni en la dels resultats dels experiments que haurien de discriminar la validesa de diferents teories (o interpretacions de teories). Els texts de divulgació científica, usualment, presenten una visió asèptica de la "opinió majoritària" i passen de puntetes sobre aquests problemes, o els presenten com a discussions històriques ja superades.

De tots és coneguda la posició d'Einstein davant la interpretació de la física quàntica recolzada per l'“escola de Copenhague”. La seva frase “Deu no juga als daus amb l'univers” s'oposava a una interpretació, que Einstein considerava no-realista, de la mecànica quàntica, i no pas a la mecànica quàntica com a tal. Aquesta interpretació de la mecànica quàntica (MQ) és bàsicament el “model consensuat” actualment majoritari i té una altre consqüència que Einstein rebutjava: la pèrdua del Principi de Localitat. Efectivament, la MQ ha hagut d'abandonar el Principi de Localitat i, com a conseqüència, ens trobem amb el que Einstein anomenava “una misteriosa acció a distància” (*spooky action at a distance*). Per tal de combatre l'escola de Copenhague, Einstein, Podolsky i Rosen varen proposar una un experiment mental¹ que mostrava com la MQ arribava a conseqüències contraintuïtives i indesitjables. Aquest experiment mental, anomenat avui “la paradoxa EPRB”, descriu el fenòmen de l'embullament quàntic (*quantum entanglement*) en el qual sistemes quàntics separats d'una distància arbitràriament gran poden *influir-se instantàniament* l'un l'altre. La conseqüència és que la MQ ha d'abandonar el *realisme local* (o Principi de Localitat), i així ho fa la interpretació de Copenhague. Einstein, Podolsky and Rosen es varen negar a abandonar el *realisme local* i suggeriren que la MQ era una teoria parcial, no completa; és a dir, que la MQ era una *aproximació* estadísticament satisfactòria d'una descripció *encara* desconeguda de la natura. Algunes descriptions de la MQ anomenades teories locals amb variables ocultes (*local hidden variable theories*) s'han proposat per la de mantenir el principi de localitat.

Fixem-nos que la no-localitat de la MQ també és problemàtica envers el principi de causalitat: segons hem vist, la relativitat la transmissió superluminal d'informació viola el principi de causalitat. Per aquesta raó, la MQ afirma que l'embullament quàntic no comporta cap transmissió d'informació: semblaria que no podrem mai construir un ansible! Si passem ara a la informàtica quàntica, el cas és que es basa totalment amb l'embullament quàntic, així doncs cal examinar el concepte amb més detall.

L'embullament quàntic

¹ Al 1935, Einstein, Podolsky and Rosen varen escriure un article de 4 pàgines intitulat “Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?”

A l'abast per Internet a < http://prola.aps.org/pdf/PR/v47/i10/p777_1 >

La MQ representa les partícules elementals amb un conjunt de variables, entre ells el spin (moment angular intrínsec) que pot tenir dos valors (*up* i *down*). John S. Bell va idear un experiment el 1964 (anomenat “la desigualtat d’en Bell) on es podria observar l’embullament quàntic: un parell de fotons amb spins oposats s’allunyen en direccions contràries una distància arbitràriament gran. En l’experiment, el decaïment un pió produeix un parell de fotons en un estat *singlet* (aquest mot és admés en català, vol dir que les partícules són aparellades, en aquat cas amb spins oposats de manera que llur suma dóna spin zero). Així, es produeixen dos fotons amb spins oposats però l’observador no sap en quin valor de spin és cadascun d’ells (no ho sap car no ha fet encara la mesura). Un cop hem separat els fotons podem mesurar un primer fotó i obtenir-ne el seu valor de spin (per exemple *up*), i sabem que quan mesurem l’altre trobarem que posseeix el valor oposat (per exemple *down*). Cap problema, oi? “Els fotons tenien un valor de spin que no coneixiem fins que hem mesurat” diu el nostre sentit comú i les teories de variables ocultes. Doncs no, diu la MQ de l’escola de Copenhague: els fotons *no tenien* valor de spin *abans* de la mesura, o dit en els seu termes, en lloc de tenir un estat tenien una “superposició d’estats” que només es resol en el moment de la mesura que fem nosaltres els observadors. Per tant, en fer la primera mesura a *un fotó* això fa que *els dos* fotons deixen de tenir estats superposats (immediatament) i una partícula pren spin *up* i l’altre (per mantenir la correlació entre els estats del parell de fotons) pren spin *down*. Aquesta és la “spooky action at a distance”: com sap l’altra partícula que la primera és *ara* l’estat *up* i per tant ella haurà de tenir valor *down*, si en l’experiment els fotons s’allunyen una distància arbitrària?

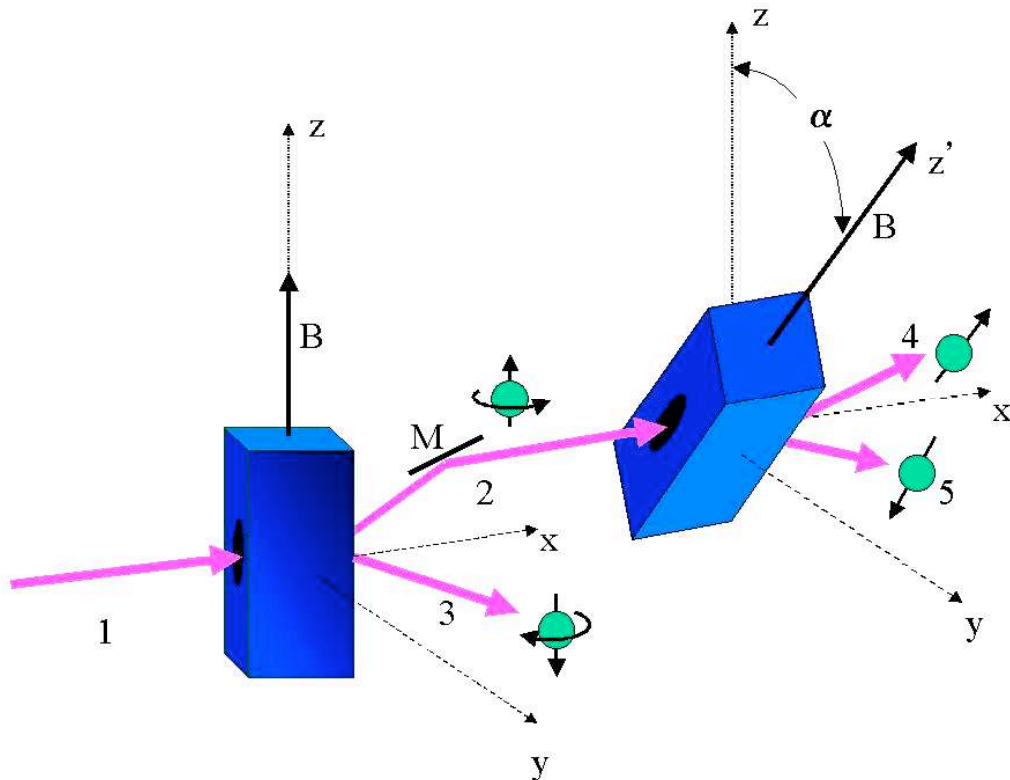


Figura 1. Dues mesures successives de spin.

La interpretació de Copenhague afirma que la descripció de l'estat per la MQ és completa (no hi ha variables ocultes que duguin la informació amagada que més tard decanta un fotó a tenir estat *up* en lloc de *down*). En altres paraules, la incertesa sobre l'estat no es deu a la nostra ignorància: per tal com la descripció quàntum-mecànica és completa aleshores *la realitat mateixa és en un estat no-determinat*. Les teories de les variables ocultes, en canvi, consideraven aquest un fenomen epistemològic: que la realitat posseix un estat concret i determinat però nosaltres (els observadors) no sabem quin és, car tenim un model parcial (ens manca conèixer certa informació, la que s'emmagatzema a les *variables ocultes*). La distinció entre les dues interpretacions, per tant és més ontològica que física: allò que afirmem de la realitat i no del nostre model de la realitat.

La distinció ontològica és clara en un experiment mental proposat per E. Schrödinger a *Naturwissenschaften* **23**, 807 (1935) on hom tanca un gat (objecte macroscòpic) dins una caixa amb un flascó de cianur connectat a un àtom radiactiu inicialment preparat en un estat metastable (objecte microscòpic). L'àtom radiactiu té una probabilitat 0.5 de decaure en una hora, cas en el qual el cianur s'allibera i el gat mor; si no decau (amb 0.5

de probabilitat) el gat sortirà viu de la caixa al cap d'una hora. L'experiment il·lustra l'anomenat *problem de la mesura* en MQ en correlacionar un process microscòpic (el decaïment atòmic) amb un procés macroscòpic (la vida del gat). Segons la visió canònica de la MQ, el procés microscòpic és una superposició dels dos estats (decaïment i no-decaïment); però si volem descriure el sistema complet que inclou el gat tenim problemes car la superposició dels estats és la vida o mort del gat. Aquesta és la paradoxa del “gat d'en Schrödinger”. A vegades l'he vista “explicada” en el sentit següent: la MQ només fa assercions sobre les mesures i no diu res dels moments entre mesures, per tant la MQ *no pot dir res de si el gat és viu o mort* abans d'obrir la porta al cap d'una hora (obrir la porta és la *mesura*). Per mi, això és fugir d'estudi, car la MQ sí que diu quelcom *entre mesures* dels processos microscòpics: precisament diu que posseïxen estats superposats! Precisament és el sentit comú i les teories de variables ocultes qui postul·larien que l'univers té un estat concret per bé que sigui inconegut o incognoscible per nosaltres, els observadors.

Malauradament, la paradoxa del gat de Schrödinger és encara viva i cueja: les teories de variables ocultes clàssiques varen ésser (majoritàriament) abandonades després de la demostració del Teorema d'en Bell. El 1964, John Stewart Bell va demostra que una classe de teories de variables ocultes eren o bé 1) no-locales, o bé 2) havien de satisfer la *desigualtat d'en Bell*. Per tal com els experiments mostren que la desigualtat no es satisfà en l'univers conegut, això fa que les teories de variable ocultes també hagin de ser no-locales. Així, l'abandó del Principi de Localitat s'erigieix en posició guanyadora del debat¹. Així s'arriba a la informàtica quàntica i als qbits.

Els Qbits

La informàtica quàntica (IQ) estudia dispositius de càlcul basats en els fenòmens més peculiars de la mecànica quàntica, especialment la *superposició d'estats* i l'*embullament quàntic* per tal de realitzar operacions sobre dades. En altres paraules, la IQ té sentit si abandonem el realisme local (on tots els objectes tenen un estat ben definit i la informació sobre l'estat no es pot transmetre instantàniament). Concretament, la IQ es basa en la noció que el *qbit* (bit quàntic) és la unitat d'informació quàntica. La informació es descriu per l'estat d'un sistema quàntum-mecànic de 2 nivells, on aquests dos estats s'anomenen

$|0\rangle$ i $|1\rangle$ (pronunciats *ket 0* i *ket 1*). Un estat es representa per un vector en un espai de Hilbert, i aquest vector s'anomena *ket* (de “angular bracket”). Un estat no-zero de qbit es considera una superposició lineal d'aquests dos estats; aquesta és la diferència fonamental respecte el bit que pot prendre només un valor 0 o 1.

Per bé que el qbit pot prendre valors continus entre 0 i 1, com els circuits analògics, la propietat fonamental per a la IQ és el fet que múltiples qbits siguin en *embullament quàntic*. Les propietats no-locales de l'embullament permet a una col·lecció de qbits expressar la superposició de diverses cadenes binàries (per exemple, 1010 i 1111) *simultàniament*. D'aquesta manera s'assoleix un “paral·lelisme quàntic” que promet revolucionar la capacitat de computació i la definició mateixa de complexitat algorítmica. És a dir, els qbits poden tenir *tots* els estats (superposats) possibles que ens interessi representar per un problema computacional, i per tant (diu la teoria) podem calcular amb tots ells alhora.

En essència, doncs, tenim que una col·lecció de qbits forma *registre de qbits*, i un *ordinador quàntic* és un sistema de càlcul sobre qbits. Conceptualment, Benjamin Schumacher va iniciar el camp del processament quàntic de la informació en inventar (o descobrir?) una manera d'interpretar els *estats quàntics* com a *informació*. La “compressió de Schumacher” permet comprimir la informació dins un estat, i així emmagatzemar la informació en un nombre menor d'estats; aquest mètode és un anàleg quàntic del teorema de codificació sense soroll de Shannon.

La recerca en IQ és doncs activa i ofereix un camp on noves idees i nous experiments podran obtenir resultats interessants. Tanmateix, la qüestió que cal destacar és la seva dependència total del concepte de *superposició quàntica d'estats*. En efecte, és el fenòmen de la superposició el que permet una mena de “paral·lelisme” en el càlcul que augmenta la potència teòrica de càlcul de gran manera i fa tractables problemes que fins ara eren intractables. Però cal preguntar-se si l'embullament quàntic i la superposició d'estats realment multipliquen la potència de càlcul; això és possible només si la interpretació de Copenhague de la MQ és correcta i ja em vist que la qüestió fonamental continua en discussió des de fa molts anys, i no sembla que es pugui tancar aviat. Cal preguntar-se si no hi ha interpretacions alternatives que mantinguin el realisme d'Einstein. La resposta és, com veurem a continuació, *gairebé* si.

Realisme local, causalitat i relativitat especial

El realisme d'Einstein feia que interpretés les limitacions sobre les mesures com una qüestió epistemològica (variables ocultes) i no ontològica (interpretació de Copenhage). Einstein creia que les característiques peculiars de la MQ que Bohr i altres explicaven com l'embullament entre observador i realitat provenia del fet que la teoria donava només una *descripció parcial* de la realitat. De fet, Einstein, Podolsky i Rosen en l'article varen suposar que si s'escollia mesurar la partícula 2 això no tindria cap efecte en la partícula 1. Així, mesurar el spin partícula 2 no "causa" el spin oposat en la partícula 1 i per tant la interpretació de Copenhagen era errònia. Com veiem, el seu argument que la mecànica quàntica és incompleta es basa en la hipòtesi que els efectes són sempre *locals* i de fet tenien raó: la visió de Copenhagen avui dia és no-local.

El Teorema de Bell, per altra banda, fa un altre tipus de suposicions: en concret la Hipòtesi d'Independència que essencialment assumeix que "les variables ocultes són independents de la configuració de una mesura *posterior en el temps*". Malgrat que Bell volia en principi mantenir el realisme local einstenià, encara s'estimava més mantenir aquesta hipòtesi; per tant, a l'hora d'escollir en Bell va preferir abandonar el Principi de Localitat que la Hipòtesi d'Independència. Per quin motiu? Doncs per mantenir la idea que els homes són lliures d'escollir.

"s'assumeix el lliure arbitri és genuí, i per tant que la intervenció de l'experimentador en un punt ha de tenir conseqüències en un altre punt remot, d'una manera que les influències restringides per la velocitat finita de la llum no permetria. Si l'experimentador no és lliure de fer aquesta intervenció, si això ja és determinat d'antuvi, aleshores la dificultat desapareix" P. C. W. Davies and J. R. Brown (1986) (Eds), ***The Ghost in the Atom***, Cambridge University Press.

Altremet dit, si l'experimentador no té lliure arbitri i d'alguna manera la configuració de una mesura *posterior en el temps* ve determinada per les accions fetes en una mesura anterior, el teorema deixa de ser aplicable. És sorprenent que la natura li presenti a en Bell una elecció metafísica entre mantenir el lliure arbitri i mantenir el realisme, el principi de localitat i la consistència amb la relativitat especial; més sorprenent (per mi) és que esculli mantenir el lliure arbitri, amb el resultat que avui dia la "gran unificació" entre les dues grans teories de la física (teoria de la relativitat i MQ) encara s'ha de fer. El més sorprenent de tot, tanmateix, és que la

ciència necessiti aquestes hipòtesis metafísiques amagades, aquestes eleccions personals soterrades, com els proverbiais cadàvers, a l'armari.

Hi ha altres interpretacions alternatives que mantinguin el realisme i el lliure arbitri? Doncs hi ha una bona notícia i una de dolenta. La bona és que hi ha una interpretació presentada per Huw Price al seu article *A Neglected Route to Realism About Quantum Mechanics*, **Mind** 103(1994) p. 303-336 (també a <http://xxx.lanl.gov/abs/gr-qc/9406028>). La dolenta és que posa en qüestió altres nocions que la nostra intuïció voldria conservar: la causalitat i l'asimetria del temps.

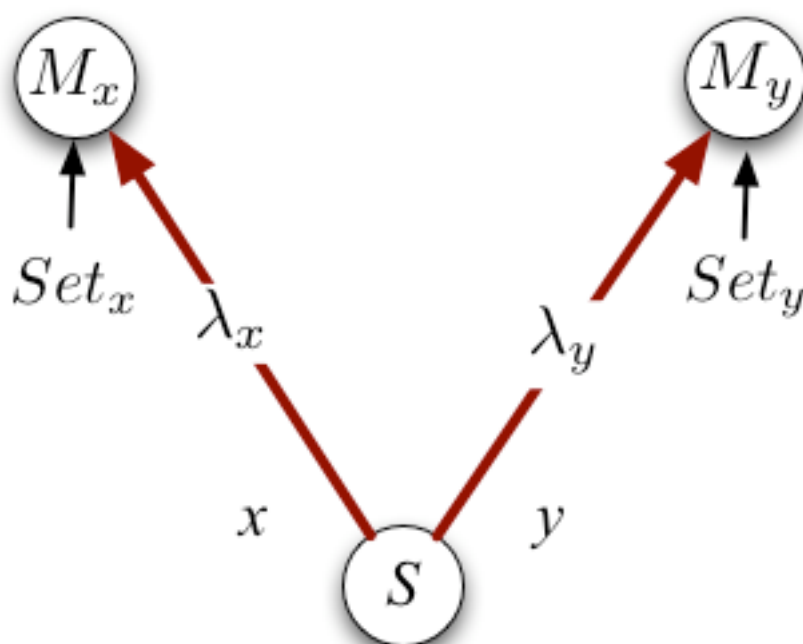


Fig. 2. L'experiment d'en Bell.

La Figura 2 mostra un diagrama de l'experiment d'en Bell, on un parell de partícules (x , y) posseeixen les variables ocultes λ_x i λ_y ; s'efectuen dues mesures M_x i M_y amb configuracions (*settings*) Set_x i Set_y . La Hipòtesi d'Independència d'en Bell diu que “Els valors de les variables ocultes λ_x i λ_y són independents del la configuració de les mesures M_x i M_y .”

La interpretació que fa Huw Price es basa en qüestionar aquesta hipòtesi. En efecte, la hipòtesi d'indpendència fa una suposició sobre la asimetria del tems, per la qual accepta que hi ha correlació en el passat immediat (*Set*) però assumeix que no hi ha correlació en els esdeveniments del futur proper (M_x i M_y). Tanmateix, els models de la física quàntica són simètrics respecte el temps; és el nostre “sentit comú” qui dicta que el passat afecta el futur però el futur *no pot* afectar el passat. Aquest és el

nostre Principi de Causalitat intuïtiu, que prohibeix cap mena de *causalitat retrògrada en el temps*. En termes de l'experiment d'en Bell, acceptem que les partícules s'han correlacionat en el passat (cadascuna té un spin oposat a l'altra) però no acceptem que hi hagi correlació en el futur —que la mesura que es fa a la partícula x tingui correlació amb (que *causi*) la mesura que es fa a la partícula y . Acceptar-ho seria acceptar alguna mena de causalitat retrògrada: el fet que la mesura (futura) M_x (donant per exemple spin *up*) causi (es correlacioni amb) el fet que la mesura (futura) M_y dongui el spin oposat (per exemple spin *down*).

Aquesta ruptura de la causalitat és precisament el que espantava en Bell, car hi veia una mena de fatalisme o determinisme que anorreava el lliure arbitri. La interpretació d'en Huw Price, que resumeixo molt breument, proposa acceptar una forma limitada de causalitat retrògrada on les variables ocultes mantenen la informació necessària per mantenir les correlacions en un sistema quàntic on el temps és simètric. Aquesta proposta pot semblar contra-intuïtiva, però l'alternativa també ho és: abandonar el principi del realisme local. Quina avantatge té aquesta nova proposta? En primer lloc, és compatible amb la teoria de la relativitat (i amb els principis que Einstein defensava en l'article sobre la paradoxa EPRB), car és una *teoria local amb variables ocultes*. El teorema d'en Bell, recordem-ho, obligava a les teories amb variables ocultes a ser no-locales, però ara la seva hipòtesi d'independència s'ha abandonat i per tant el seu resultat no s'aplica. Aquest punt és important, car cent anys més tard la compatibilització (i la unificació!) de la teoria de la relativitat i la MQ encara està per fer. Clarament, això ens assenyala que hi ha problemes irresolts en els models físics contemporanis. La desavantatge de la proposta d'en Price és que cal acceptar una causalitat retrògrada (per bé que d'una manera restringida, de manera que sigui compatible amb la nostra experiència i intuïció). En aquesta interpretació, la causalitat retrògrada es circumscriu a les variables “ocultes” que mantenen la informació que permet a tot el sistema quàntic en conjunt mantenir les correlacions entre els seus components.

Per tal com ara tenim “variables ocultes”, tornem a tenir un dèficit només epistemològic i ja no ontològic: ara *no sabem* en quin estat és una partícula però la partícula *posseix* un estat; en canvi, la interpretació de Copenhague proposa que és la realitat mateixa que *no posseix* un estat definit (o en altres paraules, els té *tots*, això és la superposició). Ara bé, l'estat *concret* de la partícula ve determinat per una acció que nosaltres considerem *en el futur* (la mesura del primer observador). Per tant, existeix també un “embullament” de tots els components del sistema quàntic en observació, però aquest “embullament” és simplement la

estructura de les correlacions existents entre els components en el marc d'un model simètric en el temps.

Conclusió

Doncs bé, les conclusions han de ser força modestes, em temo. En essència la conclusió principal és que el nostre coneixement de la realitat física deixa molt que desitjar: no només els nostres models tenen problemes que s'arrossegueu des de fa dècades, sinó que s'hi amaguen decisions metafísiques i ontològiques difícilment indiscutibles. Certament, en aquest article he simplificat força aspectes de la MQ, encara que he provat de mantenir l'essencial. Per exemple, la interpretació de móns múltiple de la MQ no és igual que la interpretació de Copenhague, mentre que en aquest article l'he ficat al mateix calaix. La raó per fer-ho és que ambdues interpretacions accepten el no determinisme de la realitat física, és a dir la superposició d'estats i l'embullament quàntic, el tema que m'interessava discutir aquí. També he obviat la part de la descripció on s'usa la funció d'ona per descriure la superposició i l'embullament quàntic.

Cal concloure que la informàtica quàntica és un error? I què en fem l'hipotètic ansible? Les conclusions aquí i ara hauran de ser provisionals a més de modestes. En primer lloc, sembla que cal escollir entre abandonar el Principi de Localitat o modificar la nostra definició de Causalitat. Amb quins criteris es pot escollir? Personalment, abandonar el Principi de Localitat té unes implicacions massa fortes, que de fet a ningú no li agraden i s'han acceptat sempre a contracor, més per la manca d'alternatives (eliminades per l'experiment d'en Bell) que per convicció. La consqüència més forta és haver d'abandonar una noció de realisme compartida per Einstein i molts altres científics, mentre que no s'ha desenvolupat una nova noció de realisme basada en aquests principis en les dècades passades. (Hi ha hagut, això sí, intents de relacionar la "realitat quàntica" amb diverses "corrents místiques").

La segona opció, acceptar certs tipus de Causalitat Retrògrada, és més feble en conseqüències desagradables. En concret, no cal abandonar el Principi de Causalitat *in toto*, mentre que la no localitat sí que sembla destruir totalment el realisme local. Aquesta opció requereix abandonar la *prohibició* de que existeixi Causalitat Retrògrada, i *només* cal *modificar* la nostra idea intuïtiva de causalitat per tal de permetre uns casos restringits de causalitat envers el passat. Hi ha però una altra cosa que cal acceptar: el fet que les teories físiques són simètriques respecte el temps.

Acceptar aquest fet (les teories actuals *són* simètriques) pot semblar difícil (car contradiu la nostra intuïció i la nostra experiència), però no hi ha cap problema de principi.

Per tant, i provisionalment, trobo que la interpretació de la paradoxa EPRB amb Causalitat Retrògrada és més versemblant que la interpretació no-local. Això té com a conseqüència que em sembla més factible l'ansible que la informàtica quàntica! Com pot ser? La IQ basa la seva potència tòrica de càlcul en el paral·lelisme inherent a la superposició d'estats, és a dir en la hipòtesi ontològica que *tots aquest estats són, en algun sentit, reals*. Amb la interpretació de Causalitat Retrògrada només *un estat* és real, i la indeterminació és epistemològica (no sabem quin estat és) i no pas ontològica (estats reals superposats); no hi ha "paral·lelisme quàntic".

D'altra banda, l'ansible em sembla consistent amb la interpretació de Causalitat Retrògrada. El meu argument, seguint la tradició, és un experiment mental que descriuré a continuació.

L'any 2105, per celebrar el 2on centenari de la teoria de la relativitat d'Einstein, s'envien dues expedicions interestel·lars a Alfa Centauri i Epsilon Eridani, els sistemes estel·lars més propers. Cada expedició s'endú un "ansible" consistent en fotó d'un parell de fotons "embullats quànticament", és a dir un parell de fotons amb spins oposats però inconeguts. La primera expedició arriba a Epsilon Eridani l'any $2105+t_1$ i comprova si hi ha un planeta amb vida o no, en el primer cas vol transmetre per l'ansible el bit 1 i en el segon el bit 0. Per tal de fer-ho, cal que l'expedició pugui realitzar dues operacions sobre el fotó que canviïn el seu estat quàntic (el seu spin) de manera diferent. Si suposem que això se sap fer en el futur, realitzar una operació o l'altre equival a transmetre una informació que va enrera en el temps fins a la Terra del 2105 quan el parell de fotons es va crear, i fa que el fotó prengui l'estat *up* o *down*. Quan la segona expedició, posteriorment, arriba a Alfa Centauri l'any $2105+t_2$, pot "preguntar" al seu ansible si hi ha vida Epsilon Eridani i obtenir la resposta 1 o 0 amb el dual del spin del seu fotó, car aquest des de la partida de la Terra "ja tenia" el spin oposat.

Bé, alguns detalls de l'experiment mental 2105 encara s'han de refinar (com "codificar" la informació en la interacció que té lloc a $2105+t_1$) però crec que s'enten la idea. La causalitat retrògrada explica els fenòmens quàntics coneguts, ara interpretats com no-localitat, canviant la interpretació no pas els models matemàtics. D'altra banda, la causalitat retrògrada pot neguitejar algú que vegi incompatibilitat entre un univers

determinista i el lliure arbitri, però aquest és un problema metafísic que no s'hauria de tenir en compte (en principi, a la pràctica hem vist que neguitajava en Bell). A més, pagant el "preu" d'una física simètrica en el temps, tenim una interpretació de la mecànica quàntica més reconciliable amb la teoria de la relativitat. Per últim, tenim una millor comprensió del pensament d'Albert Einstein, de qui tantes vegades s'ha dit que no havia entés la mecànica quàntica. A Einstein, un dels fundadors de la MQ, el preocupava les interpretacions de la teoria dels quanta i els problemes ontològics i metafísics que aquestes interpretacions generaven alegrement. La història ha demostrat que les qüestions que preocupaven Einstein no s'han tancat, continuen obertes al debat, ara i en el futur proper.

.....

Barcelona, 9 Gener 2005
enric@iia.csic.es

ⁱ Hi ha alternatives:

Neglected Route to Realism About Quantum Mechanics
Huw Price

(forthcoming in MIND, July 1994; written for a philosophical audience, but perhaps of some interest here)

Bell's Theorem assumes that hidden variables are not influenced by future measurement settings. The assumption has sometimes been questioned, but the suggestion has been thought outlandish, even by the taxed standards of the discipline. (Bell thought that it led to fatalism.) The case for this reaction turns out to be surprisingly weak, however. We show that QM easily evades the standard objections to advanced action. And the approach has striking advantages, especially in avoiding the apparent conflict between Bell's Theorem and special relativity.

The second part of the paper considers the broader question as to why advanced action seems so counterintuitive. We investigate the origins of our ordinary intuitions about causal asymmetry. It is argued that the view that the past does not depend on the future is largely anthropocentric, a kind of projection of our own temporal asymmetry. Many physicists have also reached this conclusion, but have thought that if causation has no objective direction, there is no objective content to an advanced action interpretation of QM. This turns out to be a mistake. From the ordinary subjective perspective, we can distinguish two sorts of objective world: one "looks as if" it contains only forward causation, the other "looks as if" it involves a mix of backward and forward causation. This clarifies the objective core of an advanced action interpretation of QM, and shows that there is an independent symmetry argument in favour of the approach.

<http://xxx.lanl.gov/abs/gr-qc/9406028>