

**PER ANAR AL MENÚ CORRESPONENT
ALS CAPÍTOLS I APÈNDIXS DEL LLIBRE,
PREMEU L'ADREÇA SEGÜENT:
www.xtec.net/~amussons/fisica/menu.htm**

ANOTACIONS

Aquest conjunt d'anotacions ha aparegut molt posteriorment a l'edició del llibre. És per aquesta raó que aquelles no estan ordenades per capítols i que figuren en l'ordre en què han anat apareixent al llarg del temps.

1 (capítol 2-p.25-). En el que segueix tindrem en compte el que hem exposat a l'apartat de "l'espai de *Minkowski*" i que completem a continuació:

a) Dos esdeveniments diferents separats per un interval espacial poden ser simultanis per a infinits observadors. En aquest sentit, si tenim dos observadors corresponents als esdeveniments A i B i, a més, l'esdeveniment C separat de A per un interval espacial pot ocórrer que B vegi simultàniament A i C: un esdeveniment passat o futur per a A serà considerat com a simultani amb A per a B. Pensem, però, que l'anterior no és aplicable a esdeveniments passats o futurs de A, que estiguin separats per un interval temporal de A!

b) Dos esdeveniments diferents separats per un interval temporal no poden ser simultanis per a cap observador. Si definim XS com la relació S que indica que l'observador X veu que l'esdeveniment Y és simultani amb ell, podem trobar un observador B que per als esdeveniments A i C separats temporalment compleixi ASB i BSC , malgrat no verificar-se BSA ni ASC , amb la qual cosa la relació S no seria ni simètrica ni transitiva.

c) Si assignem als esdeveniments simultanis amb un observador la qualitat de *reals* per a ell a través de la relació R , podríem concloure, a partir de l'apartat anterior, que es verifiquen ARB i BRC . Semblaria, doncs, que es verificaria ARC i la qualitat de realitat seria transitiva, malgrat no ser-ho la de simultaneïtat. O no? La qüestió està oberta.

En el supòsit que la relació de realitat fos transitiva podríem raonar com fem a continuació. Cada observador pot llescar el conjunt espaciotemporal a través de superfícies de simultaneïtat successives. Si d'alguna manera per a nosaltres té un significat real tot allò que ocorre simultàniament amb el nostre present (el nostre ara), haurem d'acceptar que el que esdevé en el mateix instant del present de qualsevol observador és igualment real, ja que en Relativitat no existeixen observadors privilegiats. Els presents successius de tots els observadors possibles reals per a nosaltres abracen els nostres presents, els nostres futurs i el nostres passats, que perden el seu caràcter irreal: TOT l'espai temps és real, encara que per a nosaltres els esdeveniments hagin desaparegut en el nostre passat o hagin d'aparèixer en el nostre futur. El pas del temps no deixaria, doncs, de ser una il·lusió, en paraules d'*Einstein*. Tot allò que per a nosaltres ja ha passat o encara no ha nascut tindria una existència tan real com el nostre present i les nostres tristors per la pèrdua dels éssers estimats i les

nostres angoixes per l'esdevenidor desconegut existirien a causa de la nostra incapacitat de viure aquells instants com a reals i *veure'ls*.

Què passaria, pensava *Einstein* quan era un nen, si viatgèssim amb la llum? En ésser els intervals lluminosos nuls també ho serien els temps propis i podríem viure tots els esdeveniments del nostre viatge dins d'un present etern, on tots els esdeveniments es viurien com a reals, d'acord amb el que dèiem abans.

2 (Capítol 11-p.280-). Recordem que, en general, els sistemes físics es fan més ordenats a baixes temperatures, la qual cosa dóna lloc a una simetria més petita. Tanmateix, hi ha substàncies, com les sals de *Rochelle*, que estan més ordenades a altes temperatures, contràriament al que és normal.

3 (Capítol 6-p.107-). L'expansió no afecta la grandària dels objectes, degut que les forces internes de la matèria contraresten plenament l'augment espacial.

En els models infinits la grandària de l'univers és sempre infinita, fins i tot en el Big Bang. La idea, doncs, que aquest ocorregué en un punt és falsa. En els models infinits el Big Bang va ocórrer en tots els seus punts al mateix instant inicial, si podem parlar amb aquesta imprecisió inevitable del nostre llenguatge.

4 (Capítols 6-p.108- i 12-p.318-). Una constant cosmològica negativa col·labora amb l'atracció gravitatòria, mentre que una de positiva s'hi oposa. La constant cosmològica representaria una mesura de l'energia del buit i hauria de ser molt més petita que la corresponent als càlculs realitzats sobre les fluctuacions quàntiques del buit (*problema de la constant cosmològica*).

L'efecte repulsiu creat per una constant cosmològica creix proporcionalment a les distàncies entre les masses, mentre que l'efecte atractiu de la gravitació convencional hi disminueix en relació inversament proporcional al quadrat d'aquelles (aquí es veu fàcilment que l'univers "estàtic" d'*Einstein* seria inestable). En un principi va dominar l'atracció gravitacional. Sembla que a partir d'uns 7000 milions d'anys començà a dominar la repulsió de la constant cosmològica.

El camp escalar de la cinquena essència té una relació funcional entre la pressió p i la densitat energètica ρ ($p=w\rho$), on $w<0$. Si $w=-1$, el camp no és dinàmic i els seus efectes coincideixen formalment amb els d'una constant cosmològica. Per a valors de w superiors a -1 l'acceleració de l'univers és inferior a l'originada per una constant cosmològica. Altrament, si $w<-1$ ocorre el contrari. En aquest darrer cas un univers finit assoliria una grandària infinita en un temps finit: tot l'univers aniria més enllà del nostre horitzó i hi hauria un esquinçament còsmic de tota la matèria (*Big Rip*). En el *Big Rip* tindríem una singularitat originada per l'efecte de l'energia fosca, que en aquest cas s'anomena *fantasma*: es tracta d'un nou model cosmològic que caldria afegir als que hem vist al capítol 6.

5 (Capítol 6-p.117- i Apèndix 5-p.401-). La inflació permet donar una explicació al baix contingut entròpic de l'univers primigeni. La matèria en aquests inicis tindria una estructura molt homogènia i propera a l'equilibri tèrmic. Tanmateix, la presència de la gravetat faria que l'augment entròpic fos molt menor del que correspondria a l'estat anterior, que en absència de la gravetat seria altament entròpic. Això ocorre perquè amb gravitació té una entropia més gran un univers heterogeni, amb estructures com les galàxies i estels, que un d'homogeni, a causa de l'augment energètic i calorífic sofert per la matèria amb l'atracció gravitacional i de l'aparició de fotons per els processos de fusió, que fan créixer el nombre de microestats compatibles amb el macroestat de l'univers.

6 (Capítol 6-p.121-). Si prescindim ara de la petita anisotropia real existent, la radiació de fons apareix com a isòtropa sempre que el nostre moviment sigui *comòbil*

amb el d'expansió de l'espai còsmic. Els moviments addicionals de la Terra, el Sol i la Galàxia donen lloc a una observació no isòtropa de la radiació còsmica de fons, a causa de l'efecte *Doppler*. Malgrat que en relativitat general no hi hagi observadors privilegiats, la radiació còsmica de fons ens permet obtenir-ne de més "fonamentals", si se'ns permet la llicència: es tractaria dels que visualitzen la isotropia còsmica ans esmentada i que podrien tenir els seus rellotges totalment sincronitzats.

Per a grandàries inferiors a l'horitzó en el moment de la recombinació la matèria havia estat sotmesa alternativament a la compressió i rarefacció degudes a la preponderància de les accions gravitacional i fotònica, respectivament. Per a grandàries superiors a aquell horitzó aquesta oscil·lació havia estat nul·la degut a la petita influència global de la repulsió fotònica i encara no s'havia arribat globalment al màxim de la primera compressió. Per a grandàries iguals a l'horitzó la matèria estava sotmesa al màxim de la seva primera compressió en el moment de la recombinació. Podem calcular la grandària de l'horitzó en el moment de la recombinació i la distància recorreguda pels fotons des d'aleshores. A partir d'una divisió elemental podem conèixer, aplicant la geometria euclidiana, l'angle corresponent als fotons que ens arriben procedents d'un conjunt de partícules amb la grandària de l'horitzó en el moment de la recombinació. Aquest angle és aproximadament d'1°.

Si observem el cel tot parcel·lant-lo en zones d'una obertura angular determinada, obtenim una anisotropia concreta a partir de la desviació estàndard de totes les mesures de la temperatura fotònica corresponents a cada zona. Per a una obertura d'1° la temperatura fotònica hauria de ser més gran en general (la temperatura d'un conjunt de partícules augmenta quan ho fa la seva densitat) i, per tant, també ho hauria de ser l'anisotropia observada. Això és el que es troba experimentalment, la qual cosa ens permet comprovar els càlculs realitzats i que, probablement, la geometria de l'univers és euclidiana.

7 (Capítol 8-p.218-). El canvi, mitjançant el principi de correspondència, dels parèntesis de *Poisson* dels camps per els commutadors o anticommutadors dels operadors en què ells s'han transformat ens aboca a relacions quàntiques d'incertesa dels valors dels observables dels nous operadors. No es podran definir alhora els valors dels camps i de les seves variacions temporals i el principi d'incertesa de l'energia tindrà plena validesa: el buit serà un ens viu on contínuament les partícules es crearan i es destruiran. En particular, les fluctuacions del camp gravitatori donarien lloc a l'escuma espaciotemporal de *Wheeler*.

El valor de l'energia del buit obtingut a partir del de la constant cosmològica compatible amb dades observacionals és considerablement inferior al calculat per procediments quàntics: es tracta del *problema de la constant cosmològica*.

8 (Capítol 10-p.268-). Amb el camp de *Higgs* corresponent a $\mu^2 < 0$ es verifica que $\langle 0|\Phi|0\rangle = \Phi_0 \neq 0$, on Φ_0 és el valor escollit entre els infinits Φ_k que defineixen el mínim de $V(\Phi)$. És aquest *valor esperat, no nul i constant, del camp quàntic Φ per al buit* el que permet la interacció del *Higgs* amb partícules accelerades, interacció responsable finalment que les partícules adquireixin massa.

9 (Capítols 11-p.301- i 12-p.319-). El nostre univers podria ser una 3-brana immersa en un espai de dimensió superior, dins del qual podrien haver-hi altres 3-branes i, per tant, altres universos. Tanmateix, les dualitats de les cordes (vegeu la p.301 del capítol 11) ens permeten fer estudis equivalents amb geometries molt diferents, la qual cosa ens faria veure que l'espaitemps no és una entitat fonamental, sinó derivada d'altres realitats més profundes. En la *teoria de cordes* tenim un espaitemps de deu dimensions i se substitueixen les partícules puntuals per petites cordes vibratòries d'una

dimensió, on les diferents freqüències de vibració es corresponen amb les distintes partícules. Així com en un piano cada corda vibra amb una freqüència representativa d'una nota musical, en la teoria de cordes cada freqüència de vibració serà representativa d'una partícula concreta. La *teoria M* és una generalització de la teoria de cordes. En la teoria M tenim un espai-temps d'onze dimensions i en el seu si apareixen unes estructures anomenades *p-branes* amb *p* dimensions espacials. En particular, tenim les *0-branes* (les partícules puntuals), les *1-branes* (les cordes) i les *2-branes* (les membranes). Segons algunes teories físiques, molt especulatives encara, el nostre univers espacial tridimensional podria ser una *3-brana* situada *dins* d'aquella realitat d'onze dimensions. *Paul Steinhardt* i *Neil Turok* han realitzat l'estudi de l'origen i desenvolupament dels possibles universos a partir de les 3-branes corresponents.

El conjunt de les dimensions extres seria necessari per permetre els modes de vibració que donarien compte de totes les partícules. Amb l'excepció del gravitó, les cordes de la resta de partícules serien obertes amb els extrems fixats a la 3-brana, la qual cosa no els permetria viatjar a les dimensions extres que no podríem visualitzar. No caldria, doncs, que aquestes dimensions addicionals fossin tan petites com en un principi es pensava. Les cordes podrien ser més grans del previst i, en conseqüència, les generacions superiors de partícules tindrien una massa més petita que permetria trobar-les en un futur més pròxim. Només els gravitons serien cordes tancades que podrien sortir del nostre univers i comunicar-se amb els altres. A més, els gravitons detectarien les dimensions extres i a curtes distàncies donarien lloc a una gravitació més elevada i a una probabilitat també superior per a la formació de forats negres.

10 (Capítol 6-p.103-). Si el nostre univers fos una representació frontera d'un univers de més dimensions la presència d'estructures separades i la seva unitat més profunda resultarien invertides en relació als hologrames convencionals, on l'ordre manifest dels fenòmens és tridimensional, mentre que el desordre aparent on tot està unit és a l'holograma bidimensional. El mateix podríem dir sobre la unitat de tots els temps que es faria palesa en aquesta dimensió superior.

Dins d'aquest univers de més dimensions els forats negres no tindrien la unicitat corresponent als valors de *M*, *L* i *Q*: amb les quantitats anteriors fixades podríem tenir més d'una estructura geomètrica possible per al forat negre, altrament al que ocorre en un context espaciotemporal tetradimensional.

11 (Capítol 6-p.81-). *Thorne* ha estudiat en profunditat el viatge en el temps a través dels forats de cuc. El que és essencial és que hi hagi una diferència temporal entre les boques a l'espai "normal". Podríem obtenir-la també fent que una de les boques viatgés a alta velocitat i tornés a la Terra (vegeu la paradoxa dels bessons). En qualsevol cas, únicament les boques del forat de cuc romandrien a l'espai normal, mentre que la resta restaria fora d'aquest.

12 (Capítol 7-p.184-). La teoria de *Bohm* és una extensió de la de l'ona pilot de *de Broglie*, les idees del qual foren derrotades al congrés de Solvay de 1927, d'on sortí guanyadora la concepció de Copenhaguen. Tot plegat va ocórrer per la influència del positivisme no realista imperant aleshores, que rebutjà els aspectes no empírics i no observacionals de la realitat.

Segons *Bohm*, sobre cada partícula actua, a més del potencial clàssic, el potencial quàntic que és funció de la funció d'ona total de totes les partícules. Aquesta funció d'ona, que satisfà l'equació de *Schrödinger*, ens permet *també* el càlcul de la probabilitat que cada partícula *estigui* en un lloc concret i no simplement la probabilitat que *sigui observada* en aquell lloc. La funció d'ona té, doncs, un doble significat ja que a partir d'ella es deriven tant el potencial quàntic com la probabilitat.

La funció d'ona total dependrà de les posicions de cadascuna de les partícules *en el mateix instant*, incloses les de l'aparell de mesura i del seu entorn. En conseqüència, la funció d'ona global, a través del potencial quàntic, actuarà sobre cada partícula des de l'ocultació i serà òbviament no local. De fet, el potencial quàntic no depèn de la intensitat de l'ona, sinó únicament de la seva forma, la qual cosa no minva la seva influència quan aquella s'afebleix en el seu decurs i reafirma el caràcter no local present en el formulisme a través de la informació (la transmissió informativa és no material, com en el formulisme MRPA de què parlàvem en el capítol 5, i, en conseqüència, no viola la Relativitat).

A través de la funció d'ona total, al potencial quàntic hi haurà la presència dels aparells de mesura, dels observadors i de tot allò que pugui tenir una influència en la dinàmica de cada partícula, inclòs el conjunt de possibilitats a priori de tot el que pot esdevenir, independentment del que esdevingui realment. En aquest sentit, tenim en compte totes les possibilitats dels molts móns d'*Everett* en un únic món. Fixades les posicions inicials de les partícules i de la funció d'ona total, el procés es desenvolupa d'acord amb el determinisme. La manca del coneixement anterior dona lloc a un procés estadístic on les probabilitats perden el seu sentit essencial original. El col·lapse quàntic i les reflexions entorn als observadors i el procés de mesura perden tot el seu sentit. No hi ha separació entre l'evolució quàntica i l'acte de la mesura: tot forma part d'un únic procés.

El potencial quàntic dona lloc a una interacció entre les partícules que és funció de l'estat global de tot el conjunt. Això representa una diferència essencial en relació amb la física clàssica, on la interacció entre les parts no depèn de la totalitat, sinó de cadascuna de les parts. Clàssicament la totalitat és subsidiària plenament de les parts. Altrament, en la teoria de *Bohm* la realitat primària és la totalitat, mentre que les activitats de les parts en són una conseqüència, com passa amb els processos que ocorren en els éssers vius. Malgrat l'anterior, quan les subtotalitats són essencialment independents la funció d'ona total s'expressa factorialment mitjançant les funcions d'ona de cada partícula (vegeu l'anotació 13) i l'equació evolutiva es redueix a la de *Hamilton-Jacobi* amb la recuperació del comportament clàssic corresponent.

A partir de les reflexions esmentades *Bohm* formulà la seva concepció sobre l'ordre del món tot traslladant el formulisme anterior a la teoria quàntica de camps (vegeu el capítol 8). Amb la introducció del potencial superquàntic les equacions originals es transformaren en unes altres on era present la no-localitat i la no-linealitat. El superpotencial quàntic definia l'ordre *superimplicat* i els camps quàntics l'ordre *implicat*, mentre que la realitat fenomenològica esdevenia l'ordre *explicat*. L'ordre implicat a través del desplegament (*creació*) es manifestava en l'ordre explicat, mentre que aquest amb el replegament (*destrucció*) retornava a l'ordre implicat i el modificava creativament, tot superant la manca de l'aparició de la novetat de la primera concepció de *Bohm*. El perpetu desplegament-replegament constituïa l'*holomoviment*, causa primària de la dinàmica del món on es comprovava, a través d'un llarg procés matemàtic, l'aparició i *conservació* d'estructures relativament estables gràcies a la no-localitat i la no-linealitat. Més enllà de l'ordre superimplicat podrien aparèixer altres ordres fins a l'infinit corresponents a nous aspectes de la realitat totalment desconeguts a hores d'ara.

El positivisme de l'època i l'opinió desafortunadament contrària d'*Einstein* sobre el caràcter no local de la teoria bohmiana van deixar bastant arraconada aquesta concepció de la mecànica quàntica. Segons *Bohm*, és molt probable que avui passés tot el contrari, si la conferència de Solvay no hagués rebutjat la concepció de *de Broglie* i

acceptat la concepció de *Bohr*, reafirmada fortament des d'aleshores, a voltes sense la crítica necessària; els hàbits adquirits al llarg del temps no haurien fet altra cosa que reforçar l'opinió majoritària gràcies al positivisme actual encara més persistent. Tanmateix, *Bell* va variar la teoria original de *Bohm* i li donà una forma més simple, tot valorant altament la nova visió física del món, com a un mitjà inestimable per a la reflexió sobre la mecànica quàntica, el seu significat, els seus fonaments i una possible reformulació posterior.

Bohm i *Krishnamurti* tingueren llargs i profund diàlegs sobre la física, la religió, la filosofia i la bellesa. Oferim a continuació sense un ordre precís un recull de reflexions fruit d'aquells diàlegs.

- *Allò que és manifest és només algun aspecte de l'ordre plegat, una ona en el si d'allò que no és manifest.
- *L'holomoviment no es realitza en l'espaitemps.
- *El plegament dóna lloc a les connexions físiques i a la unitat profunda.
- *En l'ordre plegat no hi ha el temps convencional.
- *L'existència és holomoviment manifestat de forma relativament estable.
- *L'holomoviment té la seva expressió matemàtica en la transformació unitària quàntica.
- *En la física quàntica de camps només apareixen magnituds observables i amb la renormalització *s'ignora* el fons infinit de l'energia del buit, de la qual la matèria és un rínxol amb una estabilitat relativa.
- *La limitació que la gravitació quàntica faria de la longitud mínima limitaria també l'energia del buit i impediria que aquesta es fes infinita.
- *En 1 cm^3 de l'espai buit tenim més energia que la corresponent a tota la matèria coneguda de l'univers.
- *Aquest oceà d'energia no està a l'espaitemps, sinó al contrari.
- *No vegem aquest buit perquè flotem en ell.
- *La connexió entre els instants no es dóna en el temps sinó en l'ordre implicat, que és atemporal.
- *Amb la intuïció, més enllà del pensament, trobem allò no manifest que pot actuar sobre la manifestació.
- *La intuïció només pot aparèixer quan abordem un problema des de diferents punts de vista, de tal manera que quedin al descobert les idees preconcebudes i la ment s'alliberi.
- *La corrupció d'allò no manifest és la causa fonamental dels nostres mals.
- *Podem purificar la consciència general del món des d'aquest petit racó nostre, mitjançant el contacte amb l'ordre implicat que farà extensius els seus efectes a la resta.
- *Si el món pot actuar sobre la consciència, també aquesta ho farà sobre el món.
- *Si totes les manifestacions són ones de l'espai buit, aquest no ens separa, sinó que ens uneix.
- *Més enllà d'aquest buit està el que és fora de tot discurs.
- *La realitat no es troba en els instants, sinó en la unitat entre tots ells dins de l'ordre implicat, més enllà de la mesura dels intervals temporals feta gràcies a l'existència de la matèria manifesta.
- *L'holisme parla d'una totalitat que no reflecteix les aportacions individuals. Allò que és manifest contribueix també retornant les seves aportacions a la totalitat.

- *La veritable individualitat no existeix si no està ancorada en la totalitat, altrament tenim egoisme. La individualitat és universal i allò universal és individual. El que és essencial és la unitat entre la unitat i la diversitat. Lluny de la fragmentació apareix la florida des de la profunditat no manifesta que ens uneix i que porta aparellada la bellesa.
- *L'eternitat es desplega en el temps. El temps és un enriquiment de l'eternitat. L'eternitat és afectada pel temps. Allò que hem assolit en el temps torna a l'ordre implicat i serà una llavor d'una nova època. En aquest sentit podem dir que des del present podem crear noves influències del passat. El karma pot ser canviat.
- *El que està més enllà del temps té el seu ordre propi, diferent del lineal del temps. El místic experimenta el temps com a espai.
- *L'ordre superimplicat *informa* l'ordre implicat i l'ordena en formes relativament estables de complexes estructures a través de la no-linealitat, gràcies a la unitat (de fet, els quantum poden considerar-se com a solitons apareguts en un règim no lineal). Aquella *informació* inclouria tot el passat i tot el present.
- *L'ordre superimplicat no pot ser Déu, perquè no és inefable i, per tant, és limitat.
- *La matèria és una condensació de la llum. La llum viu en un estat d'eternitat. En l'ordre implicat l'estat d'eternitat és la realitat primordial. La llum porta informació i quan conflueixen molts raigs hi ha la condensació de la matèria manifesta. L'oceà d'energia es pot concebre com un oceà de llum i la informació fa possible les ones concentrades de matèria manifesta.
- *El que és essencial és l'holomoviment, com en la Relativitat ho és la velocitat de la llum.
- *Segons *Piaget*, els nens petits veuen primerament el moviment, i el temps com el seu desplegament. Només més tard perceben la distància. Tendeixen a pensar que si quelcom arriba més lluny és que ha anat més de pressa. La seva percepció estaria més ancorada en la profunditat i no en la superfície dels fenòmens.
- *L'ona A manifestada no és linealment la causa de la manifestació B, sinó que la seva influència ocorre perquè ella és reabsorbida en la totalitat de l'oceà, el qual fa sorgir l'ona B.
- *El que és físic i el que és mental són dos aspectes conjunts de la natura que només el pensament separa.
- *La matèria té una classe de protointel·ligència que actua d'acord amb una informació de naturalesa subtil.
- *El pensament és temporal i quan anem més enllà del pensament entrem en quelcom més profund. En aquest sentit, paradoxalment podem canviar el efectes del passat quan ens deslliguem d'ell i deixem de pensar-hi. Això és la meditació.
- *De l'activitat del buit surt tot, la matèria, les interaccions, l'espai i la unitat connectiva. Tanmateix, aquesta unitat és una unitat nova i molt diferent de la unitat de les partícules i de les interaccions que hom busca actualment. Com ocorre sovint, el nou paradigma sobre la unitat del món, no és acceptat amb totes les seves conseqüències.
- *A través de la funció d'ona total, individualment es contribueix a l'estat col·lectiu, que retrospectivament actua en els individus.

*El cervell pot rebre informació del nivell sensorial manifest i del no manifest. La comunicació amb aquest darrer a través de les intuïcions està normalment molt reprimida.

*Entre la matèria i la ment no hi ha dualitat, sinó *complementarietat*, mitjançant les experiències externes i internes, respectivament.

*La llibertat d'un sistema deriva de la recepció de la resta de l'univers i de la resposta i el seu grau de llibertat depèn del seu grau d'evolució. El mateix cal dir del comportament moral.

13 (Capítol 6-p.136-). Només és possible parlar amb propietat de subsistemes d'un sistema quan aquells són relativament independents amb una interacció negligible. Anem ara a exposar les conclusions del càlcul de la funció d'ona Φ d'un sistema de dues partícules, A i B , que ocupen separadament cadascuna d'elles un dels estats ortonormals corresponents a les funcions d'ona f_1 i f_2 ; el resultat és fàcilment generalitzable per a n partícules i N estats a partir de càlculs senzills de combinatòria. Tenim aquestes tres alternatives (vegeu el capítol 8):

a) Les dues partícules són distingibles:

$$\Phi = f_1(x_A) \cdot f_2(x_B)$$

b) Tenim dos bosons idèntics (no distingibles):

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (f_1(x_A) \cdot f_2(x_B) + f_1(x_B) \cdot f_2(x_A))$$

c) Tenim dos fermions idèntics (no distingibles):

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (f_1(x_A) f_2(x_B) - f_1(x_B) f_2(x_A))$$

14 (Apèndix 7-p.451-). La Unió Astronòmica Internacional (IAU) ha adoptat l'any 2006 les tres definicions següents:

Un *planeta* és un cos celeste que està en òrbita al voltant del Sol, que té massa suficient per tenir gravetat pròpia per superar les forces rígides d'un cos de manera que assumeixi una forma equilibrada hidrostàtica, és a dir pràcticament esfèrica, i que ha netejat les immediacions de la seva òrbita. L'anterior afirmació es refereix al fet que la massa dels objectes situats en la zona orbital d'un planeta és un percentatge molt petit de la d'aquest..

Un *planeta nan* verifica la definició anterior, excepte que no ha netejat les immediacions de la seva òrbita i, a més, no és un satèl·lit.

Els altres cossos que orbiten al voltant del Sol s'anomenen *cossos petits del Sistema Solar*.

Segons les definicions anteriors, Plutó perd la categoria de planeta, ja que la seva òrbita conté en les seves proximitats els objectes del cinturó de *Kuiper*. Plutó és a partir d'ara un planeta nan. Igualment ho són Ceres, que transcorre per les proximitats des asteroides, i els objectes transneptunians 2003UB313 (ara és anomenat *Eris*, deessa de la discòrdia, en honor als problemes que plantejà entre la comunitat científica), Quaoar, Sedna,... Caront també passa a la categoria de planeta nan, ja que ell no és pròpiament un satèl·lit de Plutó (altrament al que ocorre amb els *P1* i *P2* descoberts l'any 2005), degut que el centre de gravetat del sistema Plutó-Caront està fora d'ambdós.

Les definicions anteriors substituïren unes altres prèvies, a partir de les quals Plutó, Ceres i 2003UB313 tenien l'estatus de planeta, foren fetes amb presses i les seves ambigüitats quant a la "neteja" de l'òrbita planetària són considerables.

15(Capítol 2-p.18-). Voigt estudià les transformacions de simetria de les equacions de *Maxwell* molt abans que *Lorentz*, *Poincaré* i *Einstein*.

16 (Capítol 7-p.139-). L'energia del transmissor d'una interacció equival a la incertesa energètica entre la seva creació i la seva destrucció. Això ens permet el càlcul aproximat del seu temps de vida τ i de l'abast màxim a de la interacció, corresponent a una velocitat igual a la de la llum:

$$\tau \cong \hbar / m.c^2 \quad a \cong \hbar / m.c$$

Anàlogament, una interacció amb partícules molt energètiques admetrà una més gran incertesa de l'energia i , en conseqüència, una vida del transmissor més petita, la qual cosa implicarà una distància menor entre les partícules que interaccionin.

El principi d'incertesa de l'energia permet també donar una explicació senzilla del fenomen de dispersió de la llum. Quan un fotó incideix sobre un àtom pot elevar un electró a un nivell energètic superior. Si l'electró no té l'energia suficient per anar-hi pot prendre prestada l'energia necessària durant un temps que serà tant més gran com més petit sigui el préstec energètic. Si el temps de vida de l'estat electrònic excitat és gran, l'electró tindrà prou temps per variar la seva posició de tal manera que quan el fotó sigui emès de nou ho farà en una direcció distinta de la incident: es tracta del fenomen de dispersió de la llum. Quan la llum del Sol arriba a l'atmosfera els fotons molt energètics eleven el nivell d'energia dels electrons dels àtoms de l'atmosfera amb un préstec més petit i , en conseqüència, pateixen una dispersió més gran. Això explica la coloració blava del cel durant el dia. Altrament, a la posta de Sol els fotons blaus s'hauran anat dispersant en realitzar un llarg camí per l'atmosfera i ens arribaran fonamentalment els fotons vermells que no hauran patit tant la dispersió atmosfèrica.

L'emissió de partícules α per efecte túnel té la seva explicació de nou a partir del principi d'incertesa. En efecte: elles reben l'alt préstec energètic necessari per vèncer les intenses forces nuclears atractives durant un temps molt petit, però suficient per superar la superfície del nucli. Un cop fora del nucli, les forces nuclears de curt abast no poden impedir que les partícules α pateixin la repulsió elèctrica del nucli i surtin dispersades a una gran velocitat.

17 (Capítols 6-p.78-, 8-p.216- i 10-p.278-). Es demostra que els resultats de l'EDQ per a partícules amb velocitats petites coincideixen amb els que s'obtenen a partir del potencial de *Coulomb*, amb les correccions relativistes degudes al retard del potencial degut a la velocitat finita de propagació del fotó. Tanmateix, com ocorre en la relativitat general, l'intercanvi de fotons no és una acció a distància sinó un fenomen local.

En la CDQ trobem també una descripció equivalent a la que obtenim a partir de potencials. El potencial d'interacció en funció de la separació d entre quarks té la forma $a.d + b/d$, amb la qual cosa la força entre quarks a partir de determinada distància és aproximadament constant.

Altrament, la descripció de la interacció feble en termes de potencials és gairebé sempre exempta de sentit.

18 (Capítol 10-p.270-). 't Hooft (1971) i Veltmann i 't Hooft conjuntament (1972) portaren a terme la renormalització *dimensional* de la teoria electrofeble, posteriorment a la seva formulació per *Weinberg*, *Glashow*, *Salam* i *Ward* a la dècada dels 60.

19 (Capítol 6-p.117-). Per analogia amb el que ocorre sobre la Terra, on una zona aproximadament plana és una part molt petita de la seva superfície total, l'univers pla visible no seria sinó una part insignificant de tot l'univers.

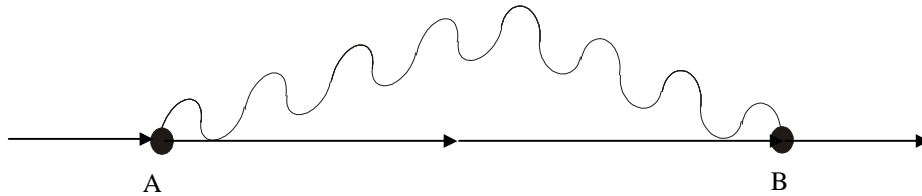
20 (Capítol 11-p.303-). En la teoria de supercordes no apareix, doncs, la renormalització i ens evitem tots els problemes conceptuals que aquella origina.

21 (Capítol 11-p.294-). La teoria de *Kaluza-Klein* anava en la direcció de la recerca de la teoria del camp unificat d'*Einstein*. Aquesta recerca era infructuosa, perquè en aquella època no es tenia un coneixement de les interaccions feble i forta.

22 (Capítol 10-p.259-). *Yang* i *Mills* formularen l'any 1954 les teories gauge no abelianes. A les teories de *Yang-Mills* apareixen a cada vèrtex partícules que interaccionen amb més d'un valor de càrrega. Si el nombre d'aquests valors de càrrega és n , aleshores el nombre de transmissors de les interaccions és n^2-1 . Així amb el grup $SU(2)$ apareixen dos tipus de càrrega d'isospín, $+1/2$ i $-1/2$, i tres transmissors, els $W_i^\alpha(x)$, i amb el grup $SU(3)$ tenim tres càrregues de color i vuit transmissors, els G_i^α .

23 (Capítol 10-p.265-). La interacció esmentada és coneguda com a *interacció V-A* degut que J^μ s'ha obtinguda com a diferència entre un vector i un vector axial. A causa d'això, la densitat lagrangiana no és invariant per paritat, propietat característica de les interaccions febles.

24 (Capítol 8-p.223-).



A la figura anterior veiem que un electró emet un fotó en A i l'absorbeix posteriorment en B. L'autoenergia de l'electró adquirida a causa de la interacció d'ell amb el seu propi camp resulta ser infinita i només pot ser calculada adequadament per renormalització.

25 (Capítol 6-p.119-). A l'espai-temps E , podem establir-hi les definicions i conclusions següents:

El punt x precedeix cronològicament el punt y i escriurem xPy , si x està en un passat temporal de y i existeix una corba temporal que uneixi x i y .

El futur cronològic de x , $I^+(x)$, es defineix com $I^+(x) = \{y \in E \mid xPy\}$.

El passat cronològic de x , $I(x)$, es defineix com $I(x) = \{y \in E \mid yPx\}$.

Si $V \subseteq E$, definim el seu conjunt futur $I^+(V)$ com $I^+(V) = \cup I^+(x)$, $\forall x \in V$.

Si $V \subseteq E$, definim el seu conjunt passat $I(V)$ com $I(V) = \cup I(x)$, $\forall x \in V$.

Un conjunt passat és *irreductible*, IP , si no és unió de dos conjunts passats, excepte que un d'ells estigui contingut dins de l'altre.

Un conjunt futur és *irreductible*, IF , si no és unió de dos conjunts futurs, excepte que un d'ells estigui contingut dins de l'altre.

Els conjunts passats i futurs són irreductibles, si i només si són conjunts passats i futurs, respectivament, d'una corba temporal.

Els conjunts $I^+(x)$ i $I(x)$, $x \in E$, són irreductibles. Els IF i IP que no tinguin la forma anterior s'anomenen *terminals*, TIF i TIP , respectivament.

El conjunt TIF i TIP es poden trobar a partir de $I^+(\alpha)$ o $I(\beta)$, on α i β són corbes temporals sense final en el passat o en el futur, respectivament.

Les corbes α i β anteriors es completen amb punts frontera, p_α i f_β , que no pertanyen a E i que estan en el passat o en el futur *ideal* de α i β , respectivament. Podem “considerar” que cadascun dels TIF i TIP es pot obtenir a partir de $I^+(p_\alpha)$ i $I(f_\beta)$, respectivament. Degut a aquesta relació causal els punts anteriors s’anomenen punts *c-frontera*, amb la c de causalitat.

Les corbes sense final en el futur (en el passat) amb el mateix conjunt passat I (conjunt futur I^+) seran completades amb el mateix punt *c-frontera* del futur (del passat).

Els punts *c-frontera* poden abraçar dues realitats diferents: l’infinit i les singularitats. L’estudi de les singularitats es facilita amb el coneixement de punts frontera definits a partir dels TIF i TIP de corbes finites i sense final en el passat i en el futur, respectivament.

Sota certes condicions pot aparèixer un únic punt *c-frontera* en el futur: es tracta del punt *c-frontera* Ω que tindrà com a conjunt passat tot l’univers E i que serà el futur final ideal de totes les corbes sense final en el futur.

D’acord amb l’anterior, *Tipler* estudia un univers tancat amb un *Big Crunch* entorn d’un punt Ω que rebria la història de tot l’univers. Segons ell, un creixement infinit de l’entropia i de la informació podria permetre una transmutació de la història de l’univers amb un temps viscut també infinit: es tractaria de la resurrecció final i la vida eterna en Déu (Ω).

26 (Apèndix 5-p.397-). L’anomenada *mort tèrmica de l’univers* i *els teoremes de recurrència* ens donen visions de l’univers divergents. Segons el 2^{on} principi de la termodinàmica, tot sistema tancat evoluciona de manera que la seva entropia S o no varia o és creixent. Aleshores, l’univers podria arribar a un estat d’entropia màxima on la temperatura seria constant al llarg de tot ell i els gradients tèrmics serien nuls, amb la impossibilitat total de qualsevol intercanvi calorífic i la cancel·lació de l’energia útil disponible. Per altra banda, els teoremes de recurrència afirmen, sota certes condicions, l’etern retorn d’un sistema a la vora de les seves condicions inicials. En el cas de l’univers, aquest retorn seria incompatible amb la seva mort tèrmica. Anem ara a concretar un xic tot l’anterior.

a) *CONCLUSIONS SOBRE LA RECURRÈNCIA*. Ens limitarem a donar-ne, sense cap raonament addicional, les conclusions en els casos següents:

**Teorema de recurrència de Poincaré*. Si tenim un sistema clàssic no relativista on l’energia es conservi i el seu volum de l’espai de les fases sigui finit i fitat, la seva evolució ens porta infinites vegades tant a prop com vulguem de les seves condicions inicials.

**Sistema quàntic no relativista*. Un sistema quàntic no relativista amb una energia mesurable discontinua i fitat espacialment i energètica és quasiperiòdic. Això vol dir que podem trobar un conjunt infinit de nombres $\{t_1, t_2, \dots\}$ a partir dels quals la mitjana de la diferència entre les funcions d’ona $\Psi(x,t)$ i $\Psi(x,t+t_i)$ sigui tan petita com vulguem. Els nombres t_i no han de ser múltiples del primer d’ells, necessàriament. Aquí les successives històries són totalment semblants, cosa que no ocorre en el retorn de Poincaré, a causà del caràcter caòtic de la dinàmica clàssica.

**El no retorn dins de la relativitat general*. Es demostra que, sota certes condicions, l’espai de fases equivalent no està fitat. Això porta com a conseqüència el no retorn.

b) *MORT TÈRMICA DE L’UNIVERS*. El 2^{on} principi de la termodinàmica no implica necessàriament que l’entropia d’un sistema tancat assoleixi un valor màxim. No

explicitem el raonament que ens pot portar a aquesta conclusió ni les restriccions necessàries que caldria afegir al 2^{on} principi termodinàmic perquè allò fos possible.

Només cal fer-ne dos petits comentaris. El primer d'ells consisteix a veure que sense condicions addicionals una funció temporal creixent no ha d'evolucionar obligatòriament cap a un valor màxim. Quant al segon d'ells, en l'estudi evolutiu de l'univers a través de la relativitat general, es demostra que l'espai de fases no pot ser finit, com ja hem vist abans. Aleshores, el nombre dels seus microestats seria potencialment infinit i l'entropia no podria assolir aquell valor màxim.

c) COM RESOLDRE AQUEST CONFLICTE? Si el temps de recurrència fos infinitament llarg, el retorn no ocorreria pas, a efectes pràctics. Això, potser, podria esdevenir, si el sistema no pogués aïllar-se físicament de l'entorn: aleshores, a través de petites interferències exteriors el caos intrínsec dels sistemes macroscòpics no faria possible la recurrència. Podem, però, considerar l'univers com a un sistema no aïllat?

27 (Capítol 6 -p.105,p.120-). Un univers amb constant cosmològica i sense matèria és un univers de *de Sitter*. La solució corresponent a aquest model ens mostra un univers que des d'un temps $-\infty$ es va contraient fins que en el temps zero assoleix la seva grandària mínima. A partir d'aquest moment l'univers es sotmès a una expansió exponencial inflacionària.

Vilenkin compara aquest fenomen amb el que ocorre quan un objecte rebota clàssicament amb una paret. El fet que quànticament es pugui ultrapassar una barrera de potencial per efecte túnel el porta a afirmar que el naixement de l'univers podria ocórrer a través d'un procés semblant. Quan es canvia la variable t per $x.i$, amb $i^2 = -1$, les quatre coordenades són tractades en un pla d'igualtat amb característiques espacials dins d'un espai euclidià. *Vilenkin* ha comprovat que en el cas anterior quan s'estudien determinats fenòmens clàssics apareix una solució tipus instantó (vegeu "La Gran Unificació" al capítol 11) per a temps x negatius, a partir de la qual es pot trobar una justificació a la creació quàntica. Això és el que ocorre quan s'estudia el moviment clàssic d'un electró en el si d'un camp elèctric: a partir de l'aparició d'aquell instantó per a temps x negatius es troba una explicació a la creació d'una parella electró-positró des del buit en presència d'un camp elèctric (vegeu "La gravitació semiquàntica" del capítol 11). Seguint un camí semblant, *Vilenkin* parteix de la solució de l'univers de *de Sitter* i amb el canvi de t per $x.i$ troba també un instantó per a valors negatius del temps x que li permet postular la creació, per efecte túnel, d'un univers inflacionari des del no-res. Aquest model no té cap singularitat de Big Bang, ni necessita cap condició inicial o de frontera.

Vilenkin i *Hartle-Hawking* han realitzat l'estudi de l'univers a través de l'aplicació conjunta de la relativitat general i de la física quàntica. Vegem a continuació ambdues teories a grans trets.

Vilenkin segueix les passes de *Wheeler-de Witt* en l'estudi de la funció d'ona de l'univers. Aquesta funció d'ona està definida en el superespai, on cada punt representa una estructura geomètrica i material d'un possible univers i cada trajectòria la seva evolució. La funció d'ona és, doncs, una funció de funcions i permetrà calcular les probabilitats dels diferents universos i de les seves evolucions. El superespai pot estar dividit en dues regions de tal forma que en una d'elles (C) la funció d'ona estigui sotmesa a fortes oscil·lacions sobre determinades trajectòries i això no ocorre en l'altra (Q). La *condició de frontera* que *Vilenkin* fixa és que l'esmentada frontera separi clarament el superespai en aquells dos dominis de forma que en C obtinguem el comportament clàssic, de forma equivalent a com ocorre amb la suma d'històries de *Feynman* (vegeu "Suma d'històries de *Feynman* del capítol 7), i en Q el comportament

quàntic conegut. L'espai-temps que apareix a C és el corresponent a la relativitat general, mentre que a Q és l'equivalent a tenir un temps amb un tractament espacial en peu d'igualtat amb les altres tres coordenades, com hem vist abans. D'aquesta manera obtindríem un univers clàssic que començaria en la frontera amb un radi finit diferent de zero i s'aniria expandint. Aquest univers "emergiria" d'una fase "prèvia", amb quatre coordenades de caràcter espacial indistingibles, a partir de la qual sorgiria l'espai i el temps.

A l'estudi que fan *Hartle-Hawking* s'utilitza una condició de frontera diferent a la de *Vilenkin*. Tanmateix els dos plantejaments s'assemblen en el sentit que l'univers amb l'espai i el temps emergeix d'una realitat "prèvia" amb característiques similars a les que acabem de veure. Amb el canvi de la variable t per $x.i$ fem correspondre de forma biunívoca cada configuració espaciotemporal amb una quadridimensional euclidiana. Per qüestions tècniques de facilitat de càlcul es realitza la suma d'històries de *Feynman* sobre el superespai d'espais euclidians quadridimensionals. La funció d'ona de l'univers s'obté realitzant la suma d'històries amb la condició que els espais euclidians siguin topològicament equivalents a una quadriesfera *sense frontera*. A més, totes les històries han de contenir com a *única condició de frontera* la configuració *present* de l'univers. A partir d'aquí apareix un univers finit en el passat, sense singularitat inicial i on el temps neix a partir d'una realitat pretemporal.

Els germans *Igor* i *Grihka Bogdanov* han presentat la seva alternativa pròpia a l'origen de l'univers, que seria *matemàtic o d'informació*. La presència d'una cinquena dimensió temporal imaginària faria possible la transició entre una mètrica euclidiana i una lorentziana a través d'un domini en què ambdues mètriques conviurien parcialment.

28 (Capítol 6 -pàg.96-). L'any 1981 *Schoen-Yau* i *Witten* demostraren que l'energia total d'un sistema aïllat, obtinguda sumant l'energia positiva de les partícules i la gravitacional negativa, és positiva o zero. El cas zero correspon a l'espai pla de *Minkowski* buit.

29 (Apèndix 4 -pàg.376-). Les conclusions de *Turing* es basaven només en la computació clàssica. *Deutsch*, gràcies a la computació quàntica, formula el *principi de Turing* en la seva versió més amplia: és físicament possible construir un ordinador quàntic universal que podria simular qualsevol ordinador o, el que és equivalent, reproduir en realitat virtual qualsevol entorn físicament possible. Seguint la seva concepció, les nostres teories físiques no serien altra cosa que una realitat virtual de la realitat física generada pel nostre cervell i els organismes vius esdevindrien una realitat virtual, creada per un programa genètic, de l'entorn exterior i dels hàbits de vida. Els paral·lelismes entre la formulació de noves teories i l'aparició de nous organismes vius a través de l'evolució són evidents. Aleshores, seria molt probable que la generació de la realitat virtual i de coneixement de qualsevol entorn físic fos una qualitat essencial de la vida i una llei bàsica del món, amb la qual cosa la generació de realitat virtual esdevindria real, a més de possible. En aquest sentit, finalment, a les rodalies del *punt Ω* de *Tipler* seria construït el generador universal de la realitat virtual de tot l'univers. Aquesta realitat futura seria una condició de frontera que implicaria l'existència de la vida que la fes possible. Aleshores, la vida, lluny d'ésser marginal, seria un element essencial de l'existència.

El coneixement, o el seu equivalent que és la informació, seria consubstancial al món i estaria al fons de tota la nostra realitat. A través de la realitat de la informació la paradoxa de les dues esclertes desapareixeria i la informació que l'organisme viu rebés de l'exterior condicionaria els col·lapses del sistema quàntic de l'ADN, a través d'un atzar dirigit.

30 (Capítol 9 -pàg.240-). En realitat, el descobriment de la supersimetria fou portat a terme pels russos *Likhtman* i *Golfand* l'any 1971 i pels també russos *Akulov* i *Volkov* l'any 1972. Aquest descobriment, però, romangué desconegut a l'Occident.

31 (Capítol 11 -pàg.307-). Degut a la contracció de la longitud que ocorre en la teoria de la relativitat especial, la distància de *Planck* no tindria un valor constant per a tots els observadors. En la *DSR* (“deformed o doubly special relativity”) la longitud és igual o superior a la distància de *Planck* i existeix també la contracció longitudinal, però la distància de *Planck* roman invariable per a qualsevol observació (això és quelcom semblant al que ocorre en la relativitat restringida amb les velocitats, que són relatives als observadors, però que amb la llum tots ells obtenen el mateix valor de la seva velocitat).

32 (Capítol 11 -pàg.308). Cada vegada sembla més probable que en una futura teoria de la gravitació quàntica la causalitat en un sentit ampli sigui un element essencial, fins i tot en les zones de característiques no espaciotemporals.

33 (Capítol 11 -pàg.290). El mateix ocorre quan un camp gravitatori varia molt ràpidament. Aquest fenomen es podria aplicar a l'univers primitiu, quan aquest tingué la forta expansió inicial.

34 (Capítol 2 -pàg. 27- i capítol 7 -pàg. 170 i 178-). Els intervals temporals poden correspondre a moviments de partícules reals realitzats a velocitats inferiors a la de la llum i en ells sempre apareix la mateixa ordenació temporal per als diferents observadors. Altrament, en els intervals espacials ocorre el contrari. Tanmateix, els intervals espacials corresponents a la unitat quàntica entre estats entrelaçats responen a una nova realitat correlacionada amb la “transmissió” informativa no energètica: entre els estats entrelaçats no hi ha separació espacial ni ordre temporal (els possibles observadors no han de guardar relació amb les persones que realitzen les mesures). Per a dos observadors diferents les mesures realitzades sobre els estats entrelaçats poden aparèixer com a simultànies o amb un ordre temporal diferent per a tots dos!

35 (Apèndix 4 -pàg. 379-). A continuació realitzarem un conjunt de reflexions, tot seguint les petjades de *Penrose*.

El fet que la nostra consciència i la nostra ment ens hagin permès arribar a les conclusions dels teoremes de *Gödel* i *Turing* i a la seva *comprensió* ens fa intuir que en la nostra consciència hi ha quelcom essencial no computable.

Altrament al que ocorre amb la física clàssica, la física quàntica és no caòtica, però l'aleatorietat substitueix aquest fet. En qualsevol cas, cap de les dues físiques deixen lloc a la no-computabilitat que sembla que és present en la consciència. La computació quàntica, tal com s'entén actualment, tampoc portaria aparellada la no-computabilitat.

La presència de la nostra consciència ens permetria, en conseqüència, adonar-nos de la insuficiència de les nostres lleis físiques computables i anar més enllà del reduccionisme fàcil i ingenu de trobar-la a partir del nostre coneixement actual del món. L'existència de la nostra ment ens conduiria a cercar una concepció radicalment diferent del que és la realitat i en ella podrien tenir millor cabuda, potser, la comprensió intel·lectual, la captació de la bellesa, la llibertat i l'ètica. També podríem fer compatibles el pas del temps, que capta només la nostra consciència, amb l'absència d'ordre temporal que ocorre en la no-localitat quàntica entre sistemes entrelaçats i separats per un interval espacial. En qualsevol cas, si la Intel·ligència Artificial fos possible, ho seria únicament a través de sistemes físiques no exclusivament computacionals.

La no-computabilitat s'hauria de buscar més enllà de les lleis actuals de la física i és molt versemblant que una comprensió més aprofundida del fenomen del col·lapse (nou fenomen del col·lapse o NFC) ens conduís a bon port.

La no-computabilitat la podríem trobar dins de la gravitació quàntica gràcies a la necessitat de tenir present la superposició quàntica de totes les 4-geometries i al teorema de *No Classificació de les Varietats Tetradiimensionals*. Aquest teorema afirma que la enumeració i classificació d'un conjunt molt ampli de varietats tetradiimensionals no són computables. Geometries possibles i no realitzades tindrien un efecte real contrafàctic i no computable.

Un col·lapse induït gravitacionalment, gràcies a la no-linealitat gravitatòria, podria estar, doncs, en la fonamentació que busquem i donar una explicació del NFC. En aquest sentit, una massa crítica podria permetre el col·lapse NFC d'un sistema quàntic i faria possible que la no-computabilitat potencial estigués sempre present, però que només es manifestés en un sistema quàntic macroscòpic complex com un cervell. El fet que organismes unicel·lulars sense un sistema de xarxes neurològiques puguin tenir respostes adients al seu "coneixement" del medi ambient ens fa pensar que en el fenomen de la consciència hauria d'intervenir, a més d'aquelles xarxes, quelcom inherent a la pròpia anatomia de la cèl·lula que permetés una realitat quàntica dins d'ella, que s'associés coherentment i macroscòpica amb la de totes les altres cèl·lules.

Què podem dir sobre el determinisme? En les equacions deterministes de *Maxwell* trobem unes condicions inicials computables *molt especials* a partir de les quals no és computable el valor determinat del camp en un temps posterior computable. En conseqüència, determinisme no és equivalent a computabilitat. Si no tenim en compte aquestes condicions *molt especials*, es demostra, però, que les equacions deterministes de *Maxwell* són totalment computables.

És evident que les implicacions (*no determinisme*) \Rightarrow (*no computabilitat*) i (*computabilitat*) \Rightarrow (*determinisme*) són sempre certes i que, pel que hem acabat de dir, les implicacions (*determinisme*) \Rightarrow (*computabilitat*) i (*no computabilitat*) \Rightarrow (*no determinisme*) no són *universalment* certes. Tanmateix, si no tenim en compte condicions especials, com aquelles a les quals fem referència més amunt, podrien ser certes les implicacions lògiques (*determinisme*) \Rightarrow (*computabilitat*) i (*no computabilitat*) \Rightarrow (*no determinisme*). En conseqüència, si es donessin condicions "normals", hauríem de concloure, amb tota la prudència possible, que la gravitació quàntica és essencialment indeterminista.

En paraules de *Tipler*, l'indeterminisme de la gravitació quàntica és d'una naturalesa completament diferent a la de l'indeterminisme que tenim en la física quàntica no relativista. L'equació de *Schrödinger* és determinista i l'indeterminisme, que apareix per la nostra manera limitada de veure el món, seria un indeterminisme epistemològic. Altrament, l'indeterminisme que trobem a la gravitació quàntica seria un indeterminisme ontològic, que derivaria, en últim terme, del teorema d'incompletesa de *Gödel*.

En la *Teoria de Jocs* es demostra que quan en la presa de decisions introduïm l'atzar, a més del determinisme, n'augmenta la seva eficàcia. Molt sovint, l'atzar aïllat condueix al caos i el determinisme exclusiu no porta enlloc a causa de la seva lentitud. Tanmateix, la unió d'ambdós permet obrir directament possibilitats, gràcies a l'atzar, que altrament restarien tancades per sempre. Aquest atzar no té connotacions negatives, sinó que és l'element que ajuda el determinisme a esdevenir creatiu.

Sovint confonem la llibertat amb la presa de decisions i la possibilitat d'elecció. Tanmateix, això no és cert: sistemes animats o no continuament elegeixen. El que és

important per a nosaltres no és l'elecció, que hi és sovint, sinó si aquesta elecció és lliure o no.

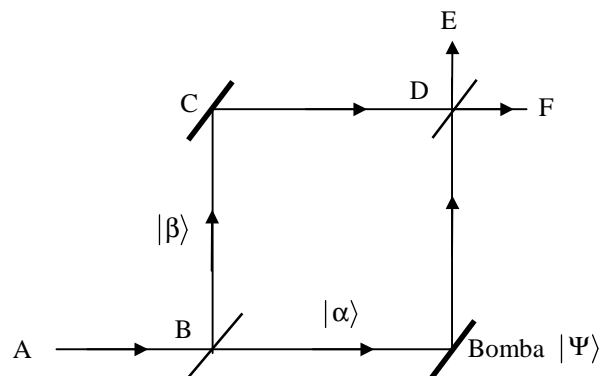
Si tot el que hem afirmat abans sobre la computabilitat i l'indeterminisme de la gravitació quàntica fos cert, hi hauria en la presa de decisions d'un sistema físic complex un element autònom que no estaria condicionat per la resta de l'univers. Això permetria, per una banda, l'emergència de la novetat creativa dins de l'evolució biològica, la qual cosa no és explicada pel darwinisme ortodox, i, per una altra, es podrien donar les condicions perquè les nostres decisions fossin el màxim d'eficaces i la llibertat fos possible.

36 (Capítol 6 -pàg.89-). Els càlculs realitzats sobre el púlsar PSR 1913+16 de la constel·lació d'Aquila converteixen la teoria de la relativitat general en la teoria física confirmada amb més precisió, conjuntament amb l'electrodinàmica quàntica.

37 (Capítol 7 -pàg.151, 183-). La física quàntica permet un efecte físic real davant de la possibilitat que quelcom pugui ocórrer, encara que realment no ho faci (mesura nul·la). Aquests efectes contrafàctics no apareixen en la física clàssica.

Penrose fa explícit l'anterior amb l'exemple que indiquem a continuació.

Tenim un conjunt de bombes amb un detonador ultrasensible unit a un mirall. Si el detonador no està encallat, un simple fotó reflectit en el mirall farà que el retrocés d'aquest accioni la bomba, que esclatarà. Altrament, si el detonador està encallat, la bomba no esclatarà per efecte de la incidència del fotó. Podem seleccionar un subconjunt de bombes amb la seguretat que estiguin en bones condicions? Clàssicament això és impossible, ja que amb la prova esclatarien i desapareixerien. Tanmateix, quànticament podem resoldre aquest problema, segons podem raonar a partir de la figura següent.



Des de A emetem un fotó. B i D són miralls semiplaquetats que reflecteixen els fotons que hi incideixen en un 50% dels casos. C és un mirall que reflecteix tots els fotons. El detector de la bomba conté un mirall que reflecteix tots els fotons que hi incideixen i actua com a aparell de mesura real quan ell no està encallat. E i F són detectors de fotons. Si el detector està encallat, els fotons només incideixen en el detector F, ja que l'estat del fotó A no ha variat en no realitzar-se abans de D cap mesura i no haver-hi cap col·lapse (aquest raonament no és rigorós, però és completat al final de l'anotació 40). Si el detector no està encallat, el 50% de les bombes bones esclatarà (mesura real). El 25% de les bombes bones donarà lloc a la detecció dels fotons en E i l'altre 25% serà detectat en F, a causa de la mesura nul·la en la bomba. Els fotons detectats en F correspondran en part a bombes bones que no hagin esclatat i en part a bombes dolentes. Si amb totes les bombes detectades en F repetim el procés successivament, tornarem a trobar bombes que esclatin, bombes dolentes detectades en

F i bombes bones detectades en E o en F. En conseqüència, podrem seleccionar $1/4+1/16+1/64+\dots=1/3$ de les bombes bones, sense que hagin esclatat.

A continuació farem l'estudi quàntic de tot l'anterior en el cas de la bomba correcta, gràcies al producte de *Grassmann* $|\gamma\rangle|\delta\rangle$, que té en compte el caràcter fermiònic o bosònic dels components de què està format i que és una generalització del producte tensorial $|\gamma\rangle\otimes|\delta\rangle$ (vegeu el capítol 9 i els apèndixs 1 i 3). Interpretarem $|\gamma\rangle|\delta\rangle$ com l'estat quàntic constituït pels sistemes independents $|\gamma\rangle$ i $|\delta\rangle$.

Inicialment l'estat del fotó serà $|\alpha\rangle+|\beta\rangle$ i el del detector-bomba $|\Psi\rangle$. L'estat conjunt estarà representat pel producte de *Grassmann* $|\Psi\rangle(|\alpha\rangle+|\beta\rangle)=|\Psi\rangle|\alpha\rangle+|\Psi\rangle|\beta\rangle$. A través de l'operator unitari d'evolució obtindrem que l'estat $|\Psi\rangle|\alpha\rangle$ evolucionarà cap a un estat conjunt $|esclat\rangle$ i el $|\Psi\rangle|\beta\rangle$ cap al $|\Psi'\rangle|\beta'\rangle$, on $|\Psi\rangle$ i $|\beta\rangle$ han evolucionat independentment cap als $|\Psi'\rangle$ i $|\beta'\rangle$, respectivament. L'estat total final serà, doncs, $|esclat\rangle+|\Psi'\rangle|\beta'\rangle$.

Segons la concepció quàntica dels *molts mons* no apareix cap col·lapse sinó que els dos mons $|esclat\rangle$ i $|\Psi'\rangle|\beta'\rangle$ coexisteixen en el multivers. L'observador tindrà abans d'observar el detector l'estat $|O\rangle$ i el conjunt observador-detector-fotó l'estat $|O\rangle(|esclat\rangle+|\Psi'\rangle|\beta'\rangle)=|O\rangle|esclat\rangle+|O\rangle|\Psi'\rangle|\beta'\rangle$. L'estat de l'observador després de l'observació del detector serà $|O_{SI}\rangle$, en cas d'esclat, i $|O_{NO}\rangle$, en cas de no esclat. Si l'observador no interacciona amb el detector després d'observar-lo, tindrem un estat final conjunt $|O_{SI}\rangle|esclat'\rangle+|O_{NO}\rangle|\Psi''\rangle|\beta''\rangle$. Aleshores hi haurà dos estats d'observador diferents: en un d'ells contemplarà l'esclat i en l'altre contemplarà la bomba intacta i el fotó continuant lliurement.

38 (Capítol 7 –pàg.127-). Trobem també els fenòmens d'interferència, a causa de les propietats ondulatòries dels fotons, quan fem observacions on el temps i l'espai semblen afectar-hi ben poc. La llum procedent d'un quàsar llunyà pot trobar en el seu camí una galàxia que actui com a lent gravitacional. Nosaltres podem detectar fotons que ens arribin directament des del quàsar o després de estar sotmesos a la difracció de la lent gravitacional galàctica, tot realitzant en aquest darrer cas un viatge molt més llarg en el temps i en l'espai. S'ha observat que els fotons llunyans emesos fa milers de milions d'anys des del quàsar 0957+516A,B produeixen, quan són detectats, fenòmens d'interferència, malgrat les discrepàncies considerables entre les distàncies recorregudes i els temps transcorreguts (una diferència d'uns cinquanta mil anys) corresponents a les dues alternatives quàntiques definitòries de l'estat de cadascun dels fotons.

39 (Apèndix 7 –pàg. 417 i 420-). Per rebre a la Terra la radiació fotònica actual procedent del Sol, cal que en aquest hi hagi un consum aproximat de 4×10^{38} protons/s amb la qual cosa obtindrem 10^{38} nuclis d'heli per segon, una radiació de fotons de 2×10^{38} γ /s considerablement retardada, a causa de la seva interacció amb la massa solar, i una radiació de neutrins amb un petit retard de 2s d'uns 2×10^{38} ν_e /s. D'acord amb la massa del Sol i la seva vida prevista, podem comprovar que molt aproximadament es consumirà a la fi només un 10% de la seva massa. A partir de la consideració únicament de la conversió de quatre àtoms d'hidrogen amb una massa atòmica de 1.00794u en un d'heli amb una massa atòmica de 4.002602u (la unitat de massa atòmica correspon a 1/12 de la massa del C₁₂ en el seu estat fonamental) obtindrem una pèrdua del 0.72% de

massa en cada reacció nuclear global que origini un nucli d'heli, la qual cosa representa un dèficit de massa d'uns 4.8×10^9 Kg/s.

40 (Capítol 5 –pàg. 66-). L'estudi rigorós de la reflexió i refracció de la llum, quan aquesta incideix sobre una superfície que separa dos medis amb característiques dielèctriques i magnètiques diferents, es realitza a partir de les condicions de contorn que els camps elèctric i magnètic verificaran, com a conseqüència de les equacions de *Maxwell* i dels teoremes integrals que se'n deriven. Aquestes són només algunes de les conclusions que trobem al final d'aquest procés:

1-Les propietats dielèctriques i magnètiques d'un medi permeten definir l'índex de refracció, n , i la relació $n=c/V$, on V és la velocitat de la llum en el medi i c la velocitat de la llum en el buit.

2. Els raigs incident (I), reflectit (r) i refractat (R) estan en un mateix pla, anomenat pla d'incidència i que és perpendicular a la superfície de separació dels dos medis.

Els angles d'incidència, reflexió i refracció són els angles que els raigs respectius formen amb la direcció normal a la superfície de separació dels dos medis.

L'angle d'incidència és igual al de reflexió.

Es verifica la relació $n_1 \cdot \sin \alpha_I = n_2 \cdot \sin \alpha_R$ (lleï de *Snell*), on α_I i α_R són, respectivament, els angles d'incidència i de refracció.

3-Si n_1 i n_2 són, respectivament, els índexs de refracció dels medis inicial i final podem tenir aquestes situacions a l'entorn del punt d'incidència:

a) $n_1 < n_2$:

- Si el camp magnètic de l'ona incident és perpendicular al pla d'incidència (o el que és el mateix, el camp elèctric és paral·lel ($E_{I||}$) al pla d'incidència), els camps magnètics dels raigs incident, reflectit i refractat tenen el mateix sentit. Els sentits dels camps elèctrics en els diferents raigs seran els corresponents a la regla del tirabuixó.

- Si el camp elèctric de l'ona incident és perpendicular ($E_{I\perp}$) al pla incident, els camps elèctrics dels raigs incident i refractat tenen el mateix sentit i el camp elèctric del raig reflectit té sentit contrari al dels altres dos. Els sentits dels camps magnètics en els distints raigs es trobaran també mitjançant la regla del tirabuixó.

a) $n_1 > n_2$: Els sentits dels camps elèctrics i magnètics del raig reflectit són oposats als anteriors, mentre que els corresponents al raigs refractats són els mateixos d'abans.

4-Com a conseqüència de tot l'anterior, si el raig incident és perpendicular a la superfície de separació dels dos medis tindrem aquestes situacions a l'entorn del punt d'incidència:

a) $n_1 < n_2$: El camps elèctrics i magnètics dels raigs reflectit i incident estan, respectivament, en oposició de fase i en fase.

b) $n_1 > n_2$: El camps elèctrics i magnètics dels raigs reflectit i incident estan, respectivament, en fase i en oposició de fase.

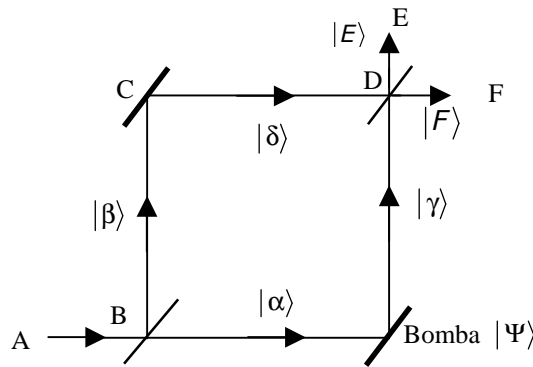
5-Les fórmules de *Fresnel* ens donen els valors dels camps en els raigs reflectit i refractat en funció dels camps en el raig incident i dels angles α_I i α_R . Per al raig reflectit obtenim, en particular, aquestes expressions:

$$E_r = \frac{TAN(\alpha_I - \alpha_R)}{TAN(\alpha_I + \alpha_R)} \cdot E_{I||} \quad E_r = \frac{SIN(\alpha_I - \alpha_R)}{SIN(\alpha_I + \alpha_R)} \cdot E_{I\perp}$$

Quan $\alpha_t, \alpha_r = 90^\circ$ els raigs reflectit i refractat són perpendiculars i $\alpha_t = n_2/n_1$ (Llei de *Brewster*) i, si el camp elèctric incident és paral·lel al pla d'incidència (E_{\parallel}), no apareix l'ona reflectida. En conseqüència, per a aquell valor de l'angle d'incidència només tindrem en el raig reflectit els components $E_{r\perp}$ i la llum estarà polaritzada linealment. Per a altres valors de l'angle d'incidència la polarització de la llum reflectida serà només parcial i tant més gran com més ens apropem a l'angle d'incidència de *Brewster*.

6-Un mirall semiplaquetat, com els de l'anotació 37, es pot obtenir a base d'un seguit d'elements que van reflectint successivament la llum que passa fins que les intensitats de la llum reflectida total i de la llum refractada total siguin iguals. Es demostra que entre ambdues hi ha un canvi de fase de 90° .

Degut a això, podem estudiar l'evolució unitària corresponent a la figura de l'anotació 37 quan la bomba està encallada d'acord amb l'esquema següent:



$$A \rightarrow |\alpha\rangle + i|\beta\rangle \rightarrow k|\gamma\rangle + ki|\delta\rangle \rightarrow k|E\rangle + ik|F\rangle + ki|F\rangle + iki|E\rangle = 2ki|F\rangle$$

El factor i té en compte el canvi de fase de 90° i el k el canvi de fase corresponent a la reflexió en els dos miralls idèntics i completament platejats.

Veiem, doncs, que només F detectarà l'arribada de fotons.

41 (Capítol 5 –pàg.55-). En el sistema d'unitats MKS racionalitzat apareixen la constant dielèctrica del buit, ϵ_0 , i la permeabilitat magnètica del buit, μ_0 . Si el medi que tenim no és el buit, aquestes constants s'expressen com a ϵ i μ i en elles queden incorporades les influències de les càrregues polaritzades i dels corrents induïts, respectivament.

Els camps elèctric i magnètic es representen per \vec{E} i \vec{B} . Per tal que a les equacions de *Maxwell* hi figurin únicament les càrregues i corrents lliures es defineixen dos nous camps: el desplaçament elèctric i l'excitació magnètica, amb els símbols respectius, \vec{D} i \vec{H} . Les relacions que tenim entre els quatre camps són aquestes:.

$$\vec{E} = \epsilon \vec{D} \quad \vec{B} = \mu \vec{H}$$

Quan el medi és el buit, no hi apareixen ni càrregues polaritzades ni corrents induïts i els camps \vec{D} i \vec{H} no són especialment útils.

Vegem ara com resulten modificades algunes de les expressions que hem trobat al llarg del capítol 5:

*Camps elèctric i magnètic:

$$\vec{E} = -\nabla\Phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad \vec{B} = \text{rot } \vec{A}$$

*Força de Lorentz exercida per un camp elèctric i un camp magnètic sobre una càrrega elèctrica:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

*Camp elèctric creat per una càrrega estacionària:

$$E = \frac{q \cdot \vec{r}}{4\pi\epsilon \cdot r^3}$$

*Camp magnètic creat per una càrrega amb velocitat \vec{v} no relativista:

$$\vec{B} = \frac{\mu \cdot q \cdot \vec{v} \times \vec{r}}{4\pi \cdot r^3}$$

*Equacions de Maxwell, on figurin només les càrregues i corrents lliures:

$$\text{Div} \vec{D} = \mu \quad \text{Rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \text{Rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{Div} \vec{B} = 0$$

*Densitat d'energia i vector de Poynting:

$$W = \frac{\epsilon \cdot E^2}{2} + \frac{\mu \cdot H^2}{2} \quad \vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

*Ones electromagnètiques planes de velocitat V :

$$\sqrt{\mu} \cdot H = \sqrt{\epsilon} \cdot E \quad V^2 \cdot \epsilon \cdot \mu = 1 \quad n = \sqrt{\frac{\epsilon \cdot \mu}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

42 (Capítol 9 –pàg. 236-). Maria Sklodowska-Curie fou la primera persona en rebre dos premis Nobel: el de Física (1903, conjuntament amb Pierre Curie i Henry Becquerel) i el de Química (1911). Més tard, Linus Pauling rebé també els de Química (1954) i de la Pau (1962).

43 (Capítol 7 –pàg. 172-). La física quàntica demostrà que per a determinades configuracions de les tres direccions (a, b i c) es violaven les desigualtats de Bell, la qual cosa fou corroborada per l'experiment d'Aspect. En conseqüència, en la confrontació entre el *realisme local* (localitat+objectivitat) i la *física quàntica* la veritat estava al costat de la física quàntica.

Hi ha moltes altres desigualtats deduïdes sota hipòtesis lleugerament diferents, com les de Wigner-D'Espagnat, que reben el nom genèric de *desigualtats de Bell*. En particular, hi ha les *desigualtats de Bell temporals* que tenen en compte dues mesures successives realitzades sobre el mateix sistema, microscòpic o *macroscòpic*. En aquest cas, el sistema podria estar sotmès a tres tipus d'estímuls diferents davant dels quals tindria una resposta dicotòmica. La física quàntica demostra la violació de les noves

desigualtats de *Bell* per a configuracions concretes d'aquells tres estímuls. Una futura experiència que violés les desigualtats de *Bell* en ser aplicada sobre sistemes que pertanyessin a organismes vius demostraria, d'acord amb *Ramon Lapiedra*, la resposta quàntica d'aquells sistemes. En particular, l'anterior deixaria una porta oberta a l'existència de la nostra llibertat, que interiorment sentim de forma profunda.

