

## LA MECÀNICA QUÀNTICA, ÉS UNA TEORIA TANCADA I COMPLETA? \*

per

**G. Ludwig**

Grup de Treball sobre Fonaments de la Física  
Departament de Física de la Universitat Philipps, Marburg/Lahn  
(República Federal d'Alemanya)

És reconegut per tothom que Einstein contribuí amb aportacions molt importants i decisives al desenvolupament de la Mecànica Quàntica. Cal assenyalar només les hipòtesis sobre els quanta de llum. Malgrat aquestes valuoses aportacions seves, Einstein manifestà repetidament les seves reserves davant la Mecànica Quàntica un cop aquesta quedà enllestida. Sovint hom es desfà d'aquestes prevencions molt ràpidament, tot dient que Einstein simplement no tenia raó en el seu judici sobre la Mecànica Quàntica, que estava massa obcecat per concepcions antiquades de la Física. El meu parer és que aquest judici sobre les objeccions d'Einstein és precipitat. Einstein era prou intel·ligent per a comprendre bé els contraarguments d'altres persones, per exemple de Niels Bohr. Si aquests contraarguments no eren, malgrat tot, capaços de convèncer-lo plenament, això només es podria interpretar com que Einstein hi trobava problemes intuïtius, els quals fins i tot amb aquests contraarguments *no* quedaven pas resolts. Malgrat que durant el decurs de la seva vida ell no fou capaç de resoldre aquests problemes d'una manera clara i comprensible, hem de reconèixer, si mirem enrera, que Einstein demostrà reiteradament que tenia un olfacte molt bo per als problemes físics importants.

No és pas la nostra intenció de fer avui una anàlisi històrica, per exemple, de les discussions entre Bohr i Einstein. Allò que sobretot volem intentar és d'aclarir un xic més aquells problemes físics que tinguin una estreta relació amb les objeccions d'Einstein i fer-ho des d'un punt de vista actual. Crec també que una qüestió tant punyent es troba plenament dins el sentit d'actuació d'Einstein. Quins són ara aquests problemes?

\* Traducció de l'original alemany a càrrec de Josep M. Tura i Soterias, Secretari Redactor de la Secció de Física.

El primer conjunt de problemes s'encetà amb les discussions entre Einstein i Bohr. Es tracta del plantejament de la pregunta sobre si la Mecànica Quàntica *no* es troba en contradicció amb la seva pròpia interpretació, posada de manifest amb l'ajut de mesures macroscòpiques. El segon conjunt de problemes es troba en la zona fronterera entre la filosofia i la física, i hom la coneix amb l'expressió tòpica de "Paradoxa Einstein-Podolski-Rosen".

Comencem amb el primer conjunt de problemes.

Una de les propietats de la Mecànica Quàntica que causà més sensació fou que hi ha observables que no són mesurables plegats. Com a exemple d'això és especialment conegut el parell "observable de lloc" i "observable d'impuls". Hi ha una profunda relació (que ha estat aclarida plenament en aquests darrers anys) entre, d'una banda, els observables que no són mesurables plegats i, d'una altra, l'existència de diferents destriaments d'un únic i mateix conjunt estadístic, *els quals* no es poden realitzar ensems. Aquest darrer punt, l'existència de destriaments que no es poden realitzar plegats, serà important per a l'anomenada "Paradoxa Einstein-Podolski-Rosen". Per causa d'això ens hi referirem més endavant d'una manera més concreta.

Els observables lloc i impuls que no són mesurables junts foren anomenats observables complementaris per Bohr. Hom duu a terme la interpretació de la Mecànica Quàntica amb l'ajut de mesures, els resultats de les quals s'estableixen com a efectes d'existència objectiva en aparells macroscòpics. En els aparells macroscòpics, emperò, no sembla que es presentin aquests observables complementaris. Ara bé, aquests efectes d'existència objectiva poden ésser atribuïts a les propietats dels aparells macroscòpics, és a dir, que són independents d'un observador subjectiu, i fins i tot independents d'una comprovació d'aquestes propietats amb ajut d'aparells addicionals. Aquestes propietats objectives dels aparells són necessàries per a la interpretació de la Mecànica Quàntica. No ha de conduir això a una contradicció dins la Mecànica Quàntica? Einstein cregué que ho podria demostrar amb exemples. Bohr indicà que no s'arriba a cap contradicció *si* hom considera també les relacions mecànico-quàntiques d'incertesa dels observables complementaris en el domini macroscòpic.

És tanmateix aquesta la solució total del problema?

Aquesta només és la solució *total* quan hom contempla la Mecànica Quàntica no només com la teoria escaient, sinó també com la teoria *tancada* per als sistemes macroscòpics, perquè Bohr fa servir d'una forma expressa la descripció mecànico-quàntica també per als sistemes macroscòpics. L'actitud corrent del físic experimental, d'anomenar els successos que es desenvolupen en aparells macroscòpics com a fets objectius, sembla trobar-se en contradicció amb l'ús de la Mecànica Quàntica en macrosistemes. D'altra banda, la utilització de la Mecànica Quàntica en processos macroscòpics en el marc de l'anomenada Mecànica Estadística ha conduït

a grans èxits, perquè en molts camps ha fet per primera vegada entenedores les notables propietats objectives existents en sistemes macroscòpics. Fem referència només a la superconductivitat i al ferromagnetisme.

Aquests èxits han comportat, de fet, que molts físics contemplessin també la Mecànica Quàntica com una teoria tancada per a sistemes macroscòpics, pagant el preu de prescindir de l'existència de fets objectius i de declarar inseparable de la Física la consciència de l'anomenat observador. Aquest fou per a Einstein un punt de vista inacceptable.

Ès emperò la Mecànica Quàntica de sistemes macroscòpics realment una teoria tancada? Què és, però, en resum, una teoria tancada? Nosaltres podem només intentar d'il·lustrar-ho ací amb un exemple. Qui hi estigui interessat d'una manera més precisa haurà de recórrer a la bibliografia (per exemple [1]).

Com un exemple d'allò que nosaltres entenem com una teoria tancada, escollim la Mecànica newtoniana de punts materials que exerceixen els uns damunt els altres només forces gravitatòries. Aquesta teoria coincideix magníficament amb l'experiència, com ho demostra avui en dia, juntament amb el moviment dels planetes, també el moviment dels múltiples vehicles espacials. No és suficient per al tancament d'una teoria que les experiències dutes a terme no estiguin en contradicció amb la teoria. Si nosaltres, per exemple, reduíssim les lleis fonamentals de la Mecànica de Newton de tal manera que en lloc dels axiomes de Newton momés postuléssim la tesi de l'energia com a axioma, tindríem tanmateix una teoria que no estaria en contradicció amb l'experiència, però no tindríem pas cap teoria tancada per al domini d'utilització que considerem. Designem només una teoria com a tancada per al domini d'utilització considerat quan aquesta ens dóna informació de tot allò que en la natura és *possible*. Tanmateix en el nostre exemple no seran possibles totes les òrbites que compleixin el principi de l'energia, sinó que realment només seran possibles aquelles òrbites que compleixin els axiomes de la Mecànica de Newton i de la Teoria de la Gravitació. Són possibles totes les òrbites permeses segons Newton, perquè fins i tot els valors inicials de lloc i de velocitat dels punts materials es poden escollir lliurement.

Així doncs, una teoria és tancada si en el seu domini d'utilització només permet d'una manera teòrica allò que realment és possible en la natura.

La Mecànica Quàntica, extrapolada a un sistema de nombroses partícules, és una teoria tancada? Avui hem de respondre que no. Això és realment així perquè, si bé d'una banda la Mecànica Quàntica dels sistemes de moltes partícules no es troba en contradicció amb l'experiència, no és d'altra banda cap teoria tancada de sistemes macroscòpics, sinó que més aviat ha d'ésser complementada amb una descripció objectivada d'aquests sistemes macroscòpics, la qual permetrà en primer lloc d'aclarir el comportament típic de sistemes macroscòpics, com, per exemple, la irreversibilitat i l'anome-

nat equilibri termodinàmic (vegeu, per exemple, [2] XV). La Mecànica Quàntica de sistemes de nombroses partícules no es troba així en contradicció amb una descripció objectiva de sistemes macroscòpics si hom la desenvolupa ulteriorment vers una teoria extensa i tancada. En què recolza aquest desenvolupament ulterior? Avui en dia és possible construir la Mecànica Quàntica a partir de les possibilitats de preparació i de registre dels sistemes en qüestió, per exemple de les possibilitats de preparació i de registre d'àtoms. Efectivament, les estructures fonamentals de la Mecànica Quàntica, com per exemple la no-mesura conjunta d'observables, no són altra cosa sinó afirmacions sobre les possibilitats de preparació i de registre per a microsisemes. De fet aquesta Mecànica Quàntica sembla una teoria tancada per a microsisemes no massa complexos, perquè no tenim fins ara cap fonament per a dubtar que els procediments de preparació i de registre permesos teòricament en aquesta Mecànica Quàntica per a microsisemes no siguin també veritablement possibles en la natura, és a dir, no siguin també aconseguibles. Per contra, la Mecànica Quàntica extrapolada de sistemes de partícules nombroses conté excessius procediments de preparació i de mesura permesos teòricament, els quals no són en absolut aconseguibles per als macrosistemes; per exemple, tots els mètodes de realització pensables en la Mecànica Quàntica extrapolada per a macrosistemes no són realment portables a la pràctica. És precisament a causa d'això, del fet que hom limita la quantitat de possibilitats de preparació i de registre d'una Mecànica Quàntica extrapolada de macrosistemes, que hom pot desenvolupar una nova teoria tancada, la qual permet de descriure els macrosistemes d'una manera objectivada. Aquesta nova teoria permet també de reconèixer compatibles la Mecànica Quàntica amb la interpretació de la Mecànica Quàntica realitzada amb aparells de mesurament de descripció objectiva. Aquesta nova teoria, però, excedeix els límits dels arguments esgrimits per Bohr contra Einstein. I en quin sentit els excedeix? Cal pensar que en la Mecànica Quàntica de nombroses partícules que s'estén cap a una nova teoria tancada de macrosistemes ja no apareixen els observables complementaris.

Però com és possible això si, evidentment, la Mecànica Quàntica de nombroses partícules conté aquests observables complementaris? Naturalment hom només pot donar una resposta precisa a aquesta pregunta d'una forma matemàtica. Esmentem només breument que aquestes possibilitats depenen de dues causes. La primera de les causes és la limitació de les possibilitats de preparació, i la segona és la limitació de les possibilitats de registre, és a dir, de mesurament. Segons la Mecànica Quàntica extrapolada, els observables complementaris pensables no són en realitat exactament mesurables; ara bé, els realment mesurables són uns altres observables, els quals són mesures aproximades dels conjunts estadístics preparables realment, que corresponen només d'una forma fictícia als observables complementaris. Tanmateix les propietats objectives imputables als macrosistemes són,

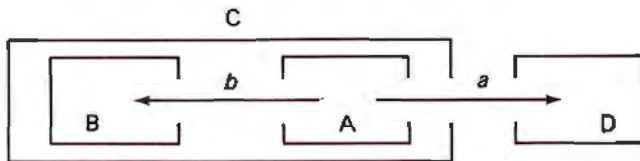
evidentment, d'una tal natura que no vulneren les relacions d'incertitud utilitzades per Bohr en els seus arguments. La descripció mecànico-quàntica dels micro sistemes és per tant compatible amb la interpretació corresponent a partir de processos objectius en aparells de mesurament: això és així per causa només que fins i tot la Mecànica Quàntica de nombroses partícules extrapolada no representa cap teoria tancada per a macrosistemes.

Resumim:

No hi ha *cap necessitat* de discutir sobre la consciència dels anomenats observadors per a fer afirmacions físiques. La Física es basa, tant ara com abans, en fets objectius; i respecte a això tenia raó Einstein. Aquests fets objectius permeten precisament de desenvolupar la Mecànica Quàntica com una teoria de micro sistemes l'evolució dels quals es tradueix en efectes recíprocs entre macrosistemes. No hi ha cap contradicció "per se" si hom estén la Mecànica Quàntica extrapolada de moltes partícules, de la manera apropiada, vers una teoria tancada de macrosistemes. D'aquesta manera hom podria eludir les objeccions d'Einstein.

Molt més profund fou l'enuig d'Einstein davant la Mecànica Quàntica, expressat en l'anomenada Paradoxa Einstein-Podolski-Rosen. Voldríem accentuar que *no* es tracta d'una paradoxa en el sentit estricte de la paraula, és a dir, que no es tracta d'una contradicció dins la mateixa Mecànica Quàntica. Més aviat la qüestió gira al voltant d'una pregunta que Einstein formulà així: Descriu la Mecànica Quàntica la realitat d'una manera completa? El caràcter estadístic, no eliminable de la Mecànica Quàntica, era per a Einstein un indicatiu que aquesta teoria no podia descriure d'una manera completa la realitat, car "Déu no juga a daus", com expressà en una ocasió. Amb l'ajut de la mateixa Mecànica Quàntica, Einstein, Podolski i Rosen cregueren que podien demostrar que aquesta teoria no podia, de fet, descriure la realitat d'una manera completa.

Voldríem comentar amb un exemple la paradoxa Einstein-Podolski-Rosen. La figura següent pot il·lustrar aquest exemple.



En un aparell A són produïts parells de micro sistemes ( $a, b$ ), i ho són de tal manera que el spin total de cada parell és igual a zero. Els sistemes  $a$  i  $b$  per separat podrien, cadascun, tenir el spin  $1/2$ . El sistema de la classe  $a$  abandona l'aparell per la dreta, i el de la classe  $b$  per l'esquerra. Els sistemes de la classe  $b$  penetren en un aparell B, el qual pot mesurar el spin del sistema  $b$ . Ambdós aparells A i B presos conjuntament constitueixen

un aparell de preparació C per als sistemes de la classe  $a$ . Amb aquests sistemes preparats mitjançant C hom pot fer experiments amb l'ajut d'un altre aparell D.

Hom pot construir diferents aparells C, és a dir, establir diferents procediments de preparació en els quals A roman constant i només varia B. Per exemple, B pot mesurar el spin del sistema B en una direcció determinada, posem per cas en la direcció 1. D'aquesta manera, en l'aparell B només es poden produir dos resultats de mesurament, és a dir, que el spin en la direcció 1 o bé és positiu, o bé és negatiu. En relació amb aquests resultats de mesurament que es produeixen a B, hom pot destriar els sistemes que surten de C, ço és, d'una banda tots aquells sistemes  $a$  els associats  $b$  dels quals donen en l'aparell B un spin positiu en la direcció 1, i d'una altra, aquells sistemes  $a$  els associats  $b$  dels quals donen un spin negatiu en la direcció 1. Així, l'aparell  $C_1$  prepara un conjunt estadístic de sistemes  $a$  i permet una descomposició d'aquest conjunt en dos subconjunts de tal manera que el primer subconjunt és compost pels sistemes  $a$  el spin dels quals és negatiu en la direcció 1 (és a dir, on B indicà un spin positiu en la direcció 1), i un segon subconjunt, el spin del qual és positiu en la direcció 1. El fet que el spin dels sistemes del primer subconjunt en la direcció 1 sigui negatiu és només una formulació abreujada del fet que, per a una mesura del spin en la direcció 1 amb l'ajut de l'aparell D, realment sempre serà mesurat un spin negatiu.

Hom pot descriure amb precisió la situació exposada en poques paraules: l'aparell  $C_1$  permet de destriar del conjunt estadístic de sistemes  $a$  preparats per ell els de spin en la direcció 1.

Hom pot ara construir un aparell  $C_2$  en el qual B mesura el spin en una direcció 2; la direcció 2 pot, per exemple, ésser perpendicular a la direcció 1. L'aparell  $C_2$  permet així de destriar, del conjunt estadístic de sistemes  $a$  preparats per ell, els de spin en la direcció 2.

Ara bé, segons la Mecànica Quàntica, això que segueix és vàlid: ambdós aparells  $C_1$  i  $C_2$  produeixen el *mateix* conjunt estadístic, és a dir, el que hom pot mesurar dels sistemes  $a$  eixits de  $C_1$  o bé de  $C_2$  amb l'ajut d'aparells D — l'estadística dels resultats del mesurament — és, en el cas dels sistemes eixits de  $C_1$ , la mateixa que en el cas de sistemes eixits de  $C_2$ . Ambdós aparells  $C_1$  i  $C_2$  permeten, però, un *destriament diferent del mateix conjunt*, és a dir, una vegada segons la direcció 1 del spin i una altra vegada segons la direcció 2.

La Mecànica Quàntica assevera, però, encara més: per exemple, que aquests dos destriaments no són realitzables d'una manera conjunta, és a dir, que no es pot donar cap aparell  $C_3$  que origini el mateix conjunt que  $C_1$  i  $C_2$ , i que permeti un destriament tant en la direcció 1 del spin com en la direcció 2. Per dir-ho breument: els dos destriaments del conjunt que són possibles amb l'ajut de  $C_1$  i de  $C_2$  no són coexistents. I fins a la data no ha

estat refutada experimentalment la Mecànica Quàntica mitjançant la construcció d'un tal aparell  $C_3$ .

El fet que no hi ha destriaments coexistents d'un i un mateix conjunt estadístic és, d'acord amb l'experiència, una estructura essencial de la Mecànica Quàntica. No podem emperò negar que aquesta estructura de la Mecànica Quàntica usualment no és tan estudiada i per tant tan coneguda com la característica estructural segons la qual hi ha observables que no són mesurables plegats. La Mecànica Quàntica esdevé una teoria tancada per a micro sistemes sobretot en afegir-hi la descripció de la possibilitat de destriaments de conjunts amb l'ajut del concepte de preparador anàleg al concepte d'observables. I hom ha de tenir en compte, per a fer un judici sobre la manera de pensar d'Einstein, que aquest concepte de preparador encara no havia estat elaborat d'una manera explícita. Els aparells  $C_1$  i  $C_2$  representen, per tant, realitzacions de dos preparadors diferents, no coexistents, de la mateixa manera que dos aparells de mesurament per a lloc i impuls representen realitzacions per a ambdós observables, lloc i impuls, no mesurables conjuntament.

Fins ací la descripció dels experiments d'Einstein-Podolski-Rosen segons la Mecànica Quàntica; una descripció que no presenta cap contradicció ni amb la mateixa teoria ni amb l'experiència. Què és, doncs, paradoxal en aquests experiments? Naturalment, ni l'experiment ni la seva descripció a través de la Mecànica Quàntica. Els experiments poden presentar-se com a paradoxals si hom els aborda amb determinades representacions *ontològiques*. I ara vull intentar d'explicar aquestes representacions.

Quan els parells  $(a, b)$  han abandonat l'aparell A, cadascun d'aquests parells és fixat ontològicament respecte a què i com és cadascun dels parells. Com que l'aparell parcial B de l'aparell total C només actua damunt el sistema  $b$  de cada parell  $(a, b)$ , B no pot actuar sobre l'estructura ontològica de l'associat  $a$ , és a dir la distribució de les estructures ontològiques en un gran conjunt estadístic de sistemes  $a$  originats en l'aparell  $C_1$  ha d'ésser la mateixa que la corresponent al conjunt original en l'aparell  $C_2$ . Evidentment, però, hom pot, amb l'ajut de l'aparell parcial B, destriar d'una manera diferent el conjunt  $a$  de sistemes originats. Com que la Mecànica Quàntica sempre permet només de descriure *un* d'aquests destriaments, per exemple, o bé un destriament segons la direcció 1 del spin amb l'ajut de l'aparell  $C_1$  o bé segons la direcció 2 del spin amb l'ajut de l'aparell  $C_2$ , la Mecànica Quàntica no representa cap descripció ontològica completa dels sistemes separats, és a dir, cap descripció ontològica completa dels sistemes  $a$  que han estat originats en els aparells  $C_1, C_2$ , etcètera.

Aquesta argumentació acabada d'exposar sembla molt plausible. Per part nostra volem *seguir-la* molt de prop per tal d'apreciar com pot ésser de perillosa una tal argumentació, és a dir, amb quanta facilitat hom pot arribar a una contradicció prenent com a base una tal argumentació.

En efecte, és concordant amb l'experiència que destriaments no coexistents d'un conjunt estadístic no són realitzables conjuntament amb l'ajut d'aparells reals. Però si la multitud de sistemes  $a$  poden ésser destriats sense tenir accions recíproques amb ells, és a dir, sense canviar-los ontològicament, una vegada segons aquesta propietat ontològica i una altra vegada segons aquella altra, així hom hauria de poder seleccionar, almenys *en el pensament*, aquella multitud de microsistemes segons les propietats ontològiques dels sistemes individuals, és a dir, segons com reaccionarien davant els sistemes individuals aparells de mesurament d'observables eventualment instal·lats. Aquesta representació en el pensament (o sigui no necessàriament real) de la destriabilitat condueix, però, a una contradicció amb la Mecànica Quàntica, la qual cosa pot ésser demostrada matemàticament amb l'ajut de la desigualtat de *Bell*. Es tracta doncs d'una paradoxa? No pas en la mateixa Mecànica Quàntica, sinó només quan hom intenta ampliar la Mecànica Quàntica de la manera i forma planera que hem descrit devers una descripció ontològica completa de microsistemes.

La posició dels individus davant aquesta situació és molt diversa. Alguns intenten de variar la Mecànica Quàntica amb l'esperança d'arribar a una teoria que coincideixi amb l'experiència i endemés permeti una descripció ontològica total en el sentit indicat més amunt. Aquesta posició ha fracassat, perquè els experiments han aportat evidència en contra d'aquestes variacions. D'altres persones cerquen l'origen de la contradicció en l'argumentació ontològica més amunt exposada. Entre aquestes darreres persones hom troba una altra volta dues opinions essencialment diferents. Una opinió és la de refusar en rodó tot punt de vista filosòfic o ontològic considerant-los subtilses. L'altra opinió és la de saber fins a quin extrem el punt de vista ontològic exposat més amunt era massa prematur; i com a acabament de la meua conferència voldria demostrar que el punt de vista més amunt considerat era de fet massa precipitat, perquè hom ha transferit massa de pressa als microsistemes uns determinats punts de vista que no són evidents, sinó només que hi estem acostumats en el domini macroscòpic.

El punt de vista ontològic dels experiments d'Einstein-Podolski-Rosen més amunt exposat emergeix del fet que la condició ontològica dels sistemes  $a$  és la mateixa, completament igual, tant si han estat originats en l'aparell  $C_1$  com en l'aparell  $C_2$ . De fet, però, la Mecànica Quàntica suggereix una altra representació. La Mecànica Quàntica descriu l'acció recíproca dels aparells  $C$  sobre altres aparells  $D$ . Els sistemes  $a$  apareixen així com a portadors d'acció que transfereixen aquesta acció recíproca de  $C$  vers  $D$ . Els aparells  $C_1$  i  $C_2$  són, segons la Mecànica Quàntica, aparells *diferents*, precisament tan diferents que representen preparadors no coexistents. Els aparells diferents  $C_1$  i  $C_2$  es poden diferenciar també per llurs efectes, en el nostre exemple precisament en la manera que hom pot seleccionar els efectes segons les reaccions dels aparells parcials  $B$  de  $C$ , tal com ho hem descrit més



amunt. No és per tant evident que la forma d'acció dels aparells  $C_1$  i  $C_2$  no es pugui diferenciar ontològicament. Que l'aparell parcial B de C pugui ésser responsable de l'acció de C sobre un aparell D ens sembla anòmal només perquè aquesta acció de l'aparell parcial B hauria de recular d'alguna manera tot recorrent l'aparell parcial A cap a l'aparell D, és a dir, perquè no ens podem representar, de moment, com es pot transferir l'acció de B a D segons l'espai i el temps. Aquest "no ens podem representar" té, emperò, com a origen un punt de vista usual en el macrocosmos, és a dir, que les accions es transmeten en l'espai i en el temps com a camps o com a partícules. Aquesta darrera representació és lligada molt estretament amb les anomenades teories clàssiques, segons les quals l'estructura dels esdeveniments és determinada a través de l'estructura en un temps, perquè el desenvolupament ulterior espàcio-temporal es realitza precisament a partir d'ella mitjançant transmissions d'acció que s'expandeixen en el "futur". Al cap i a la fi, el fet que un punt de vista ontològic tan restrictiu sobre el procés de desenvolupament del món no estigui en concordança amb la Mecànica Quàntica no ens ha de sorprendre.

Si aquest punt de vista restrictiu sobre el procés de desenvolupament del món no fos correcte, no se'n podria desprendre, ni molt menys, que l'atzar ontològic regeix el món. La referència al concepte que *l'atzar existeix en si mateix* fou l'objecte de la formulació d'Einstein: "Déu no juga a daus". La descripció de la probabilitat en la física pot ésser, però, també contemplada com a expressió per a estructures de freqüència reals en el món. Per això cal que la circumstància individual no sigui determinada mitjançant l'estructura del món en un temps únic, perquè llavors totes les estructures de freqüència no foren, al cap i a la fi, sinó estructures de freqüència en *un* temps únic. Per contra, la Mecànica Quàntica suposa que la circumstància individual és constituïda a partir d'una estructura del món molt més complicada, la qual presenta relacions molt més complexes que no pas la simple representació d'un desenvolupament mecanicista del món. La descripció d'estructures de freqüència mitjançant lleis de probabilitat que no són compatibles amb un decurs mecanicista del món perdura, per tant, *només* per a la descripció física de sectors d'un món tal que no discorri d'una manera mecanicista.

Si això és així, llavors roman ple de sentit, i també com a meta digna d'esforç de la investigació física, allò que anomenàvem en la primera part d'aquesta conferència una teoria tancada. El requeriment d'una descripció del món ontològicament completa eixida d'una tal teoria tancada no significaria, però, una petició inassolible, la de conèixer el món tal com el coneix Déu?