



Nobody understands quantum theory

Física quàntica i teoria de cordes comparades amb el cinema de ciència ficció



"I don't wanna talk about time travel shit. Cause if we start talking about it, then we are gonna be here all day talking about it making diagrams with straws. It doesn't matter"

Bruce Willis (Joe), Looper

Índex:

1. Introducció	4
2. Teoria	6
2.1. Relativitat especial d'Einstein	6
2.2. Relativitat General	10
2.2.1. Forats negres i expansió de l'espai-temps	13
2.3. Mecànica quàntica	15
2.4. La necessitat d'una nova teoria unificada	26
2.5. Teoria de supercordes	29
2.5.1. Forats negres des de la teoria de cordes i la teoria M	38
2.6. Els mons brana i la possibilitat d'altres universos en dimensions superiors	45
2.7. El multivers	56
2.8. Impossible?	59
2.8.1. Viatjar més ràpid que la velocitat de la llum	59
2.8.2. Viatges en el temps	61
3. Introducció a l'anàlisi de pel·lícules	65
3.1. El planeta dels simis (1968, Franklin J. Schaffner)	67
3.2. Donnie Darko (2001, Richard Kelly)	71
3.3. Interstellar (2014, Christopher Nolan)	78
3.4. Star Trek (2009, J.J. Abrams)	85
3.5. Mr. Nobody (2009, Jaco van Dormael)	89
3.6. Edge of tomorrow (2014, Doug Liman)	96
3.7. Source Code (2011, Duncan Jones)	99
3.8. Primer (2004, Shane Carruth)	102
3.9. Predestination (2014, Michael Spierig i Peter Spierig)	107
3.10. Looper (2012, Ryan Johnson)	111

4.Llistat de pel·lícules vistes durant el treball	115
4.1. Llista de pel·lícules fent referència a viatges en el temps	115
4.1.1. Seguint la teoria del Multivers	115
4.1.2. Principi d'autoconsistència	121
4.2. Llista de pel·lícules en què no apareix un viatge en el temps	126
4.2.1. Seguint la teoria del Multivers	126
4.2.2. Sobre l'espai exterior	127
4.3. Pel·lícules vistes de ciència ficció en què no es tractava el tema	129
4.3.1. Interès pel que fa a la biologia	129
4.3.2. Interès pel que fa al coneixement de la realitat (Filosofia i física quàntica)	129
5. Conclusions	130
6. Bibliografia	134
7. Agraïments	135

1. Introducció:

“Que bé, una altra pel·lícula avorrida per passar la tarda”. O potser: “Perfecte, ara tindrà tota la tarda per pensar sobre aquesta pel·lícula”. Que potser hi ha alguna diferència? Et fa millor persona voler o no voler entendre la ciència ficció? Perquè, realment serveix d'alguna cosa entendre-la? S'equivoca? Segueix les teories científiques actuals? Són preguntes complicades. Algunes tenen resposta, d'altres no. Però no és millor entendre el que veiem? Saber el que creiem que entenem? Tampoc cal dir que tothom hagi d'entendre i estudiar a la perfecció aspectes com la física quàntica o la teoria de cordes. Però no és millor tenir certs coneixements bàsics per tal de poder entendre el que surt a la ficció? Al cap i a la fi es tracta de poder ser crítics i no simplement acceptar tot el que se'ns diu.

En aquests treballs abordarem aquestes qüestions i algunes d'altres com ara: “És possible viatjar en el temps?”, “Puc canviar el passat? I el futur?”, “Què és això tant complicat anomenat física quàntica que totes les pel·lícules posen per excusa de les seves explicacions?”, “Existeixen universos paral·lels?”... Totes aquestes i moltes d'altres seran tractades des d'un punt de vista científic analitzant els fets que passen a les pel·lícules i el que s'haurà afirmat que passa a les diferents teories. De la mateixa manera, també es podrà veure el punt de vista de la ficció de les teories científiques contemporànies.

A través de fonts bibliogràfiques extenses com ara documentals o llibres, farem un resum del que ha estat la física durant aquest últim segle, de com ha canviat respecte la física clàssica i la Newtoniana. D'aquestes fonts bibliogràfiques, les més rellevants i les que més informació han aportat són; el llibre de divulgació científica de Brian B. Greene, *“El universo elegante”* (2001); el llibre de la física Lisa Randall, *“Universos ocultos”* (2005); el llibre de Michio Kaku, *“La física de lo imposible”* (2010); i els documentals de Brian B. Green també de *“El universo elegante”*.

Començarem explicant, a part de la física clàssica, la relativitat especial i general d'Einstein, ens aproparem al fantàstic món microscòpic governat per la mecànica quàntica, veurem la perillosa explosió que es produeix quan intentem unir les dues teories, ens obrirem camí cap al món de les cordes (que podria ser el paradís desitjat per la física) i entrarem al món de les branes i els possibles universos paral·lels. A part d'explicar aquestes teories més generals també aprofundirem en certs aspectes com ara forats negres, viatges en el temps, forats de cuc... Finalment, posarem un exemple de cada una de les teories exemplificat en una pel·lícula de ficció i també analitzarem errors de certs aspectes recurrents en pel·lícules. A aquest apartat hi adjuntarem una llista d'un

gran nombre de pel·lícules en què hi és present el viatge en el temps, ja que és el fet de ciència ficció que apareix a més filmacions.

En resum, un treball que apropa els nostres coneixements de ficció a la física actual, obre noves possibilitats i dóna punts d'anàlisi de certes pel·lícules que no ens hauríem pogut pensar. Cal afegir que l'anàlisi de les pel·lícules també pot facilitar la comprensió de les teories més complicades que actualment estudien els físics teòrics.

2. Teoria

2.1. Relativitat especial d'Einstein

En la física clàssica, es veia el temps com un element impertorbable, que no depenia de l'observador. Segons la física clàssica el temps passava per igual per a tots els observadors. Aquest fet havia estat sempre present en la física fins que Albert Einstein, mentre pensava en el comportament de la llum i en observadors viatjant a velocitats properes a la llum, va fer un canvi radical en aquest plantejament. Estava apunt de formular la teoria que canviaria radicalment el pensament i la física del segle XX: la relativitat especial.

Per tal d'explicar la relativitat especial es necessari mencionar que aquesta teoria es basà en estudis realitzats per Maxwell i uns altres que, posteriorment, Einstein va fer. Aquests estudis defensaven que cap cos podia moure's a una velocitat superior a la de la llum, i que aquesta velocitat sempre era constant, no s'accelerava ni es frenava. Si s'aplicaven aquests principis als pensaments d'Einstein, en què observadors es movien a velocitats iguals a les de la llum, s'arribava a una extraordinària conclusió. Com que la llum sempre es mou a la velocitat de la llum, si algú es mogués a aquesta velocitat, seguiria veient el raig allunyar-se a la velocitat de la llum, fet que contradiu la física clàssica (on l'hipotètic observador hauria d'haver vist el raig de llum quiet).

La teoria d'Einstein afirmà que el temps i l'espai eren percebuts de forma diferent segons observadors que es moguessin a diferents velocitats. Aquesta afirmació es pot demostrar amb un exemple simple:

Suposem que una persona a dins d'un tren parat disparés un raig de llum cap al sostre. Per fer-ho més visible suposarem també que aquest tren és un tren gegant que mesura tres vegades els kilòmetres que recorre la llum en un segon, és a dir, aproximadament 900000 Km. Segons la física clàssica, el raig trigarà 3 segons en pujar. Afegim a l'exemple un mirall situat al sostre. El raig de llum, després d'haver viatjat 3 segons fins al sostre, es reflectirà i tornarà a baixar la mateixa distància, amb un total de 6 segons per pujar i baixar. Aquest fet també es dona en la física d'Einstein, però el canvi radical es percep quan el tren es mou a una velocitat elevada. En moure's el tren, per un espectador que es trobés situat a dins del tren, l'experiment succeiria tal i com s'ha explicat anteriorment. Però què és el que percebria un observador que veïés el raig des de l'andana? Ja que el tren s'està movent, no veuria el raig seguint una línia completament vertical al pujar i una altra completament vertical al baixar, sinó que percebria que el raig de llum ha traçat una espècie de triangle. Aquí és on entra en joc la teoria de la relativitat especial.

Per a l'observador de dins del tren, el raig de llum hauria recorregut dos cops l'alçada del tren, és a dir, 1800000 Km. Però, sorprenentment, per l'espectador de l'andana l'espai recorregut pel raig és diferent a causa de la forma del triangle. La distància de l'altura d'aquest triangle és inferior a la dels dos costats; com a conseqüència, si el raig ha recorregut aquesta distància, això significa que ha recorregut un major espai per a l'observador de l'andana que per al del tren. Aquest resultat ens indica que el mateix raig ha recorregut més Km per a un espectador que és a l'andana que per a un que és dins del tren. La física clàssica considera que el temps passat pels dos observadors és el mateix, aquesta diferència en l'espai recorregut suposarà, doncs, un canvi en la velocitat de la llum (d'aquesta manera si la llum viatja més ràpid, recorrerà una distància més gran amb el mateix transcurs de temps). Però com s'ha explicat, la velocitat de la llum és fixa i no augmenta ni disminueix, per tant, com pot ser que es produeixi aquest fet? Einstein l'explicà defensant que el temps passat per a l'observador del tren en marxa no és el mateix que el temps passat per a l'observador de l'andana. És a dir, el temps es percep més lentament per a l'observador del tren en moviment que per al de l'andana.

D'aquesta manera, amb aquest ajustament, la velocitat de la llum no varia i és perfectament possible aquesta discrepància de punts de vista entre els observadors.

Però, a què és deguda aquesta diferència en la percepció del temps? Per entendre-ho haurem de suposar una altra situació:

Un pilot de cotxes s'està preparant per fer una cursa pel desert. Té un recorregut recte a fer. Decideix cronometrar el temps que triga a realitzar un trajecte recte de 200 m. El pilot fa la prova i obté un resultat de 6 segons. No acaba d'estar content amb aquest resultat i torna a realitzar la prova. Aquest cop obté un resultat frustrant, ha trigat 7,5 segons. Enfadat amb ell mateix torna a realitzar la prova i acaba amb un resultat de 8 segons. Confús li demana ajuda a un amic seu perquè l'ajudi a trobar la causa del problema. L'amic, després de pensar-hi i comprovar que no hi ha cap avaria al cotxe, dedueix que, sense adonar-se'n, s'ha desviat de la seva trajectòria formant una línia recta amb cert angle respecte la trajectòria original, de manera que ha hagut de recórrer més espai i per tant, haurà trigat més temps. Suposem que la trajectòria desitjada pel pilot inicialment fos en direcció al nord. Al desviar-se, tota la velocitat no és en direcció nord, sinó que ara es mouria certa velocitat en direcció oest (suposant que es desvia cap a l'oest) i també una elevada velocitat cap al nord, tot i que inferior a la inicialment desitjada. Si s'explica amb vectors, el vector velocitat que inicialment solament es movia en direcció "i", ara es mourà en direcció "i" però també en direcció "j".

L'exemple del pilot és altament útil per tal d'entendre el canvi en les percepcions del temps d'Einstein. Einstein va formular en la seva teoria que el temps i l'espai havien d'estar interconnectats creant el que s'anomenaria l'espai-temps. En aquest espai temps és on tots els cossos es mouen. Si un cos s'està completament quiet en l'espai, s'estarà movent a una certa velocitat en el temps. Més concretament, segons els estudis d'Einstein, el cos completament quiet en l'espai es mourà a la velocitat de la llum en el temps. Per entendre aquest espai-temps, retornarem a la forma d'entendre el problema del pilot. L'espai-temps presenta certa similitud amb la forma d'entendre el problema, amb la diferència que en comptes del nord, ens referiríem al temps, i en comptes d'oest ens referiríem a espai. Tot cos quiet es mou a la velocitat de la llum en el temps, per tant, no es mou en l'espai. Però si un cos s'està movent en l'espai, significa que la nostra velocitat en el temps s'ha desviat cert grau per tal de permetre el moviment en l'espai. Per explicar-ho d'una forma més entenedora, el vector velocitat (que és la velocitat de la llum) en què ens movíem en el temps, s'ha "desviat" en l'espai-temps de manera que ha disminuït la velocitat en el temps però ha augmentat la velocitat en l'espai.

Cal tenir en compte que a les velocitats amb les quals ens movem a la vida quotidiana, aquestes variacions del temps segons les velocitats dels observadors quasi no són perceptibles, però si ens moguéssim a velocitats pròximes a la de la llum, aquests efectes serien molt notables.

A mesura que augmenta la velocitat d'un cos en l'espai, disminueix la seva velocitat en el temps i per tant per a ell el temps passa més lentament. Fet que explica el nostre exemple del tren i els dos observadors amb velocitats relatives.

Ja que tot objecte quiet en l'espai es mou a la velocitat de la llum en el temps, si es desviés tota la velocitat en el temps cap a velocitat en l'espai, hi hauria un límit de velocitat, que és el de velocitat de la llum. Si es donés aquest cas, com en els cas dels fotons, el cos ja no es mouria en el temps i el temps percebut seria 0 segons.

És necessari dir que hem explicat com afecta la velocitat al temps, però l'espai també es veu alterat amb la velocitat, i la massa també. S'ha explicat fent referència al temps perquè és el més *fàcil* d'explicar. Un cotxe que es mogués a una velocitat elevada veuria la seva mida reduïda, és a dir comprimida, i la seva massa augmentaria. Ja que un objecte es fa més pesat cada vegada que es mou, significa que la energia del moviment s'està transformant en massa i això comporta la cèlebre equació que relaciona els dos termes: $E=mc^2$.

La relativitat especial donava solució al conflicte entre la velocitat constant de la llum i la percepció que durant tants anys s'ha tingut. Però arrel d'aquesta teoria

sorgí un altre problema: El fet que res pot superar la velocitat de la llum era incompatible amb una teoria molt ben establerta, la gravitació universal de Newton. Després de 10 anys d'estudi, el 1915, Einstein donà solució a aquest problema amb una altra teoria que revolucionaria i canviaria la forma d'entendre la gravetat, l'espai i el temps. Una teoria que refutava la visió inculcada per Newton sobre la gravetat feia més de 200 anys: la relativitat general.

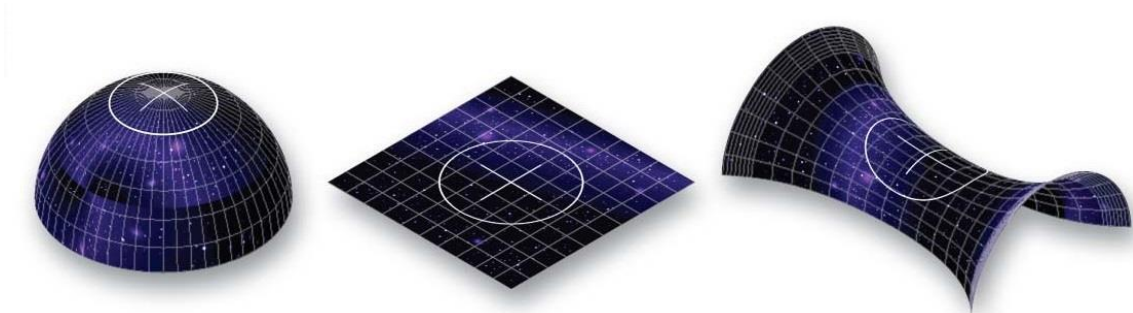
2.2. La relativitat general

Segons Newton, la força de la gravetat era una força que exercia tot cos sobre tots els altres cossos que depenia solament de la massa d'aquell objecte. Com que aquesta força depenia solament de la massa de l'objecte, no depenia del temps que havien estat en contacte. Segons Newton, si per exemple, el sol desaparegués o explotés en aquest precís moment, la terra immediatament canviaria la seva òrbita ja que ja no es veuria influïda per la gravetat exercida pel sol. Com va veure Einstein, això no podia ser, perquè aquest canvi en el camp gravitatori és una informació. Segons Newton aquest transport d'informació era immediat (encara que la llum trigués 8 minuts a arribar del sol a la terra). Per tant, la teoria de la gravetat de Newton es contradeïa amb els estudis realitzats per Maxwell i posteriorment per Einstein en què constataven que cap informació es pot transmetre a una velocitat superior a la de la llum. Einstein va decidir intentar trobar una solució a aquest conflicte entre les dues teories. Aquesta recerca el va portar el 1915 a formular la relativitat general.

Per explicar d'on prové el fonament per deduir la relativitat general s'ha de passar pel que succeeix quan un individu es troba en un moviment accelerat. Si aquest està en una sala tancada accelerada on no es veu l'exterior, quedarà subjectat al lateral. És a dir, si a la sala hi ha una cadira i hi ha algú que s'hi asseu, notarà com la seva esquena fa força al respall de la cadira. Però si en comptes d'una cadira aquesta persona està estirada al terra i imaginem que la sala es troba fora de qualsevol camp gravitatori fort, aquesta tindrà la sensació que la força de la gravetat l'atrau cap al lateral i, de fet, podrà posar-s'hi dret. Per tant, què és el que distingeix una acceleració de la gravetat? A aquesta impossibilitat de diferenciar una acceleració amb la força d'un camp gravitatori, Einstein en va dir el "principi d'equivalència". Però, per què és tant important aquesta equivalència? La resposta és fàcil: fins aquell moment no se sabia què era la gravetat; s'havien estudiat els seus efectes però ni el mateix Newton podia donar una explicació sobre què era. Einstein va afirmar que amb la seva manera d'estudiar el moviment podia aconseguir una comprensió de la gravetat. Per tal d'assolir aquest objectiu Einstein va necessitar afegir un nou concepte que unia la gravetat amb el moviment accelerat: "la curvatura de l'espai-temps".

Per tal d'entendre aquesta curvatura en l'espai-temps es pot recórrer a un exemple senzill. Imaginem l'atracció de fira que gira sobre ella mateixa i que qui està dins queda subjectat a la paret lateral al girar aquesta. Aquesta atracció és perfectament circular i per tant en podem mesurar la longitud de la seva circumferència tant mesurant el radi com mesurant directament la

circumferència amb un regle. Però si col·loquem dues persones dins l'atracció i una mesura la longitud del radi i l'altre la circumferència mentre l'atracció gira, succeeix un fet curiós. L'individu que mesura la circumferència mesurarà en la mateixa direcció que el seu moviment, per tant, s'estarà movent a una certa velocitat en una direcció i, a causa de la relativitat especial anteriorment explicada, el regle i ell es veuran "encongits". El regle de l'individu que mesura el radi, però, no es veurà encongit ja que aquest no es mou en la mateixa direcció del moviment, és més, el regle forma un angle de 90 graus amb la direcció de moviment i per tant no s'aplica la contracció de Lorentz (no s'encongirà el regle). Com a conseqüència, si aquest segon individu aplica la fórmula sempre utilitzada per mesurar la longitud d'una circumferència ($2\pi r$), obtindrà diferent resultat que l'individu que ha mesurat directament la circumferència. Com pot ser que siguin diferents aquestes dues mesures? Einstein en donà una solució. De la mateixa manera que es pot canviar la superfície en què està dibuixada una circumferència sense que el radi d'aquesta canviï (observar la imatge), Einstein va constatar que el que succeïa era que l'espai-temps es corbava.

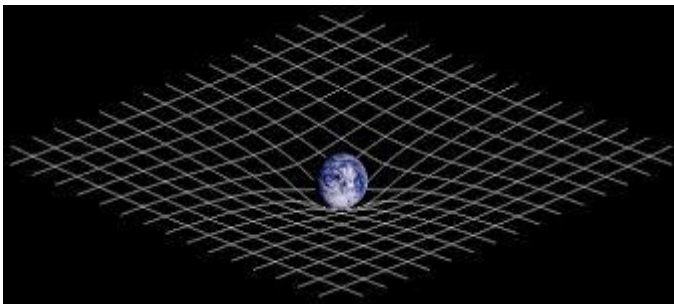


Per tant, l'atracció de fira estava corbada i l'espai era diferent pels dos observadors. Hem vist el que passa amb l'espai quan hi ha una acceleració però en realitat passa el mateix amb el temps.

Posem per cas que dos observadors, com per exemple els de l'explicació anterior, es troben dins l'atracció. Un al centre i l'altre caminant, recorrent tota la circumferència. Tal com diu la relativitat especial, si comparen el temps que ha passat amb rellotges, veuran que no coincideixen (exagerant, evidentment, la velocitat de l'atracció), ja que la velocitat d'un és més gran que la de l'altre, pel fet d'estar un d'ells més lluny del centre. Per l'observador que gira al voltant, el temps transcorrerà més lent, però en el cas que el del mig s'apropés al de fora, com que la seva velocitat augmentaria, el seus rellotges, de mica en mica, començarien a anar a la mateixa velocitat. Cal remarcar que, a part de la velocitat, també augmentaria l'acceleració. I això també produiria una velocitat del rellotge més lenta.

Aquests són els conceptes que van portar Einstein a formular la relativitat general: no es pot distingir la gravetat d'una acceleració i aquesta suposa la curvatura de l'espai-temps. Amb aquestes dades Einstein afirmà que una massa alterava l'espai-temps del seu voltant.

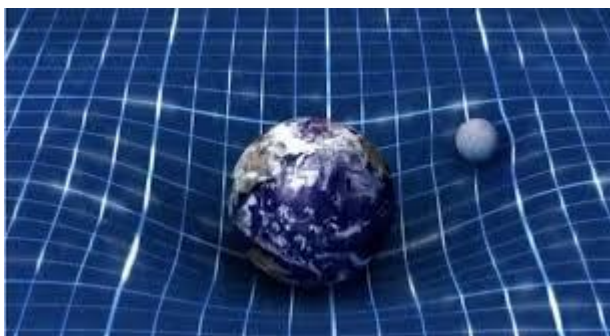
Per mostrar un cas més clar, imaginem un teixit espacial bidimensional, com per exemple una tela de roba tensada: si es col·loca una bola de billar, es podrà apreciar una deformació de la tela al voltant de la bola. Segons Einstein, aquesta curvatura de l'espai-temps és el que nosaltres notem i entenem com a gravetat.



La tela es deformarà al col·locar la bola

Imaginem el sistema solar. Ja hem dit que el Sol corbava l'espai, i per això hi havia gravetat. Això no obstant, com que també ha de corbar el temps... Què significa el temps corbat? És ben senzill: si una persona roman, per exemple, a la terra i una altra a pocs quilòmetres de la superfície solar, els seus rellotges aniran a velocitats diferents perquè el rellotge de la persona del sol està més a prop del "centre de la deformació" (el sol) i, per tant, experimenta una força gravitatòria més gran, cosa que significa que l'espai-temps està més corbat i el temps passa més lent.

Amb aquest exemple podem veure clarament que, com més gran és la massa, més gran és la curvatura de l'espai-temps, i més gran és la gravetat. Si identifiquem la bola de billar amb el sol i col·loquem una bala de vidre a prop (i l'identifiquem amb la terra), podem *visualitzar* el sistema solar. Si es dóna energia suficient a la bala de vidre, es podrà posar en *òrbita* amb la bola de billar, de la mateixa manera que ho fan el sol i la terra.



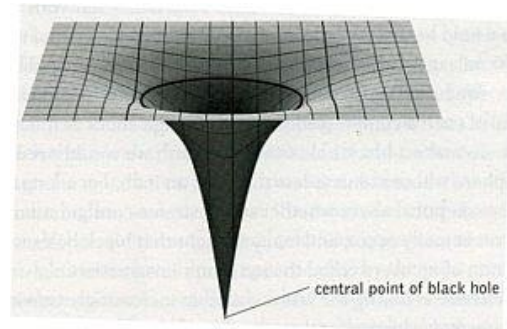
O en aquest cas la terra i la lluna

Tot i així, cal dir que en aquest exemple fallen certes característiques. En primer lloc, en el cas de la bola de billar, era la gravetat de la terra allò que la feia anar cap avall; en el cas del Sol, és la pròpia massa de l'objecte la que deforma l'espai-temps. En segon lloc, només hem mostrat visualment dues dimensions espacials en comptes de tres; en realitat hauríem d'imaginar una tela vertical que està deformada en presència de la bola, de la mateixa manera que l'horitzontal. En tercer lloc, hem omès la dimensió temporal, però amb aquesta passa el mateix, ja que l'espai i el temps estan lligats entre si.

Si tornem a l'exemple inicial d'aquest apartat en què el Sol explotava i hi apliquem aquest concepte de relativitat general, podrem apreciar que hi ha un canvi que resol el conflicte amb la teoria newtoniana. Si retiréssim la bola de billar i ho projectéssim a càmera lenta, podríem veure que es crea una ona, i les bales de vidre que es troben en *òrbita* es veuen afectades quan aquesta els arriba i no instantàniament. Quan explota el Sol, succeeix igual: es produeixen les "ones gravitatòries" que, com Einstein va calcular, es mouen a la velocitat de la llum i no més ràpid. Per tant, els planetes que orbiten al voltant del Sol no es veurien afectats per l'explosió de l'estrella fins que no els arribés l'ona gravitatòria, que concretament, pel que fa a la terra, trigaria vuit minuts.

2.2.1. Forats negres i expansió de l'espai-temps

Una derivació de l'aplicació de la relativitat general d'Einstein la va definir Schwarzschild durant la Primera Guerra Mundial. Schwarzschild va afirmar que un objecte de massa enorme i densitat també elevadíssima seria capaç de deformar de tal manera l'espai-temps que ni la llum se'n podria escapar: es tractava dels forats negres. Com es pot apreciar a la imatge és una deformació enorme de l'espai-temps.



Si algú, posem per cas, s'apropés massa al centre d'un forat negre, la gravetat cada vegada augmentaria més, fins que arribaria un punt en què la força gravitatòria que sentirien les seves cames seria molt superior a la que sentiria el seu cap, i s'acabaria desintegrant abans d'arribar al centre.

Hi ha una distància *segura*, és a dir, distància a partir de la qual la llum es pot escapar, anomenada "horitzó de successos". Parlarem més profundament sobre forats negres amb explicacions d'altres teories.

Un altre exemple de l'aplicació de la relativitat general és l'expansió de l'univers. Quan Einstein estudià el moviment dels cossos en l'espai corbat, si

s'aplicaven les equacions al conjunt de l'univers, s'obtenia un resultat sorprenent: la mida total de l'univers està canviant, és a dir s'expandeix o es redueix. Einstein es mostrà inicialment contrariat amb aquesta conclusió, però anys més tard l'expansió de l'univers va ser demostrada experimentalment pel satèl·lit Hubble. Amb la seva teoria Einstein va poder donar, llavors, una explicació a aquest fet.

Quan es va acceptar que l'univers s'expandia, es va concloure que aquella expansió havia de tenir per força un inici. Si es *retrocedeix en el temps* i cada vegada les galàxies i estrelles estan més juntes, la temperatura anirà augmentant, ja que la densitat també ho farà. Al final s'arribarà a la conclusió que tot l'univers prové d'un *punt* que va explotar i d'allí en sorgí tota la matèria i tota l'energia. Aquesta afirmació ha estat discutida en teories posteriors que més endavant comentarem.

2.3. Mecànica Quàntica

La mecànica quàntica és una teoria complicada que porta les nostres ments més enllà del que podem imaginar. Quan es tracta de mecànica quàntica la ficció passa a ser real i fets insòlits esdevenen el més normal del món. Evidentment, tots aquests fets només passen al món microscòpic, al món de les partícules subatòmiques o fins i tot a dimensions més petites encara.

Per tal d'iniciar-nos en el tema plantejem el problema que va portar els científics a investigar i començar a intuir-ne alguna de les característiques. Si encenem el forn de la nostra cuina a una temperatura de, per exemple, 180 graus, aquest en escalfar-se emetrà ones electromagnètiques que són les que escalfaran l'interior. Però què va passar quan els científics van intentar mesurar l'energia que desprenia el forn amb els mètodes de l'època? El resultat va semblar absurd. L'energia que produïa un forn era infinita. El problema s'originava perquè segons la física clàssica, totes les ones, independentment de la freqüència, donaven una quantitat concreta i igual d'energia, que era determinada per la temperatura a la qual s'havia posat el forn. I cada ona possible, és a dir, cada ona de freqüència diferent donava energia. Per tant, totes les ones possibles donaven energia i com que les ones possibles són infinites (ja que la longitud d'ona pot tenir un nombre infinit de possibilitats) l'energia és infinita. Qui va donar una solució a aquest problema va ser Max Planck.

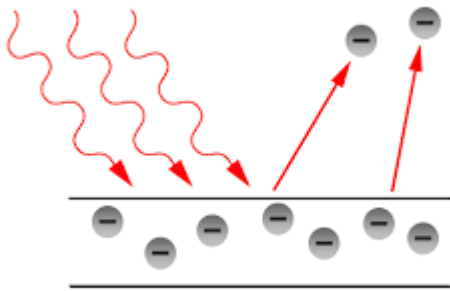
Per tal d'explicar aquest fet posarem un exemple. Un propietari lloga un pis, però resulta que aquest pis no és com els altres: és infinit. Per tant, pot tenir tantes persones com vulgui vivint allí, un nombre infinit. Al final de mes decideix que cada habitant ha de pagar 40 euros i com que té infinits inquilins tindrà una quantitat infinita de diners. Però llavors pensa que com que són infinites persones, si ha de donar canvi, es tornarà boig; així que posa la norma que s'haurà de pagar just i si no, no es paga. Però la gent del pis s'adona que poden fer una cosa: si cadascú paga amb un sol tipus de moneda o amb un sol tipus de bitllet, llavors el que tingui un bitllet de 100 ja no pagarà. Per tant, el dia en què s'ha de pagar el lloguer, el primer paga amb monedes d'un cèntim, el segon amb monedes de dos, el tercer de cinc... I així progressivament fins que els que tenen només un bitllet de 50 o més gran ja no paguen. D'aquesta manera el propietari ha passat de guanyar una quantitat infinita de diners a una quantitat finita.

D'una forma semblant Planck va aconseguir explicar el problema del forn. Va afirmar que l'energia d'una ona electromagnètica havia de ser x vegades una "unitat fonamental d'energia", que era proporcional a la freqüència de l'ona;

les ones que tenien una energia mínima superior a l'energia requerida es quedaven inactives.

Planck, a més a més va descobrir que ajustant un paràmetre podia calcular l'energia del forn a qualsevol temperatura. Aquest paràmetre és la famosa "constant de Planck" (\hbar), el factor de proporcionalitat entre la freqüència i la quantitat mínima d'energia que pot tenir una ona. Aquesta constant és extremadament petita però suposà uns canvis immensos en la física contemporània.

Però ni Planck ni cap altre físic sabia perquè es produïa aquest fet dels *paquets* d'energia, fins que Einstein ho descobrí estudiant un efecte anomenat "efecte fotoelèctric". L' "efecte fotoelèctric" es produeix quan un raig de llum (ones electromagnètiques) incideixen sobre certs tipus de metalls: aquests desprenen electrons.



Al incidir un raig de llum sobre alguns metalls es desprenen electrons

No hauria de sorprendre'ns perquè la llum proporciona energia i als metalls hi ha electrons capaços de desprendre's fàcilment. Però en aquest cas hi passa una cosa que va sorprendre els científics de l'època. Si s'enfoca el metall amb una llum i se n'augmenta la intensitat, en comptes d'augmentar la velocitat d'electrons que hauria estat el normal perquè al cap i a la fi se'ls dóna més energia, augmenta el nombre d'electrons despresos. I si se n'augmenta la freqüència, augmenta la seva velocitat. En el cas de la llum visible, un augment o disminució de la freqüència suposa un canvi de color de la llum. Per tant, el que passa és que si la freqüència disminueix molt, per exemple per sota del vermell, la quantitat d'electrons emesos pel metall és gairebé zero o zero, independentment de la intensitat de la llum.

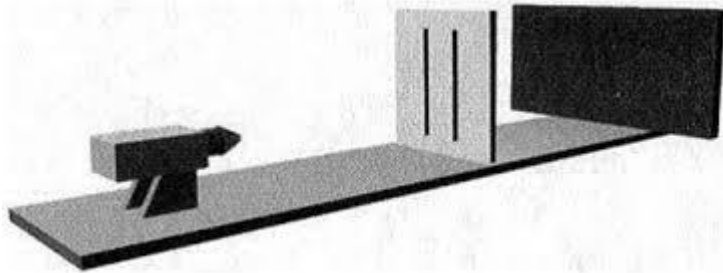
Per tal d'entendre el motiu d'aquest fet posarem un exemple. Imaginem la típica escena de pel·lícula de Hollywood en què cauen diners d'un avió i la gent del carrer es baralla per aconseguir bitllets. Per exagerar encara més la situació

imaginem que els carrers estan tancats i la gent de dins està empresonada. Per tal d'alliberar-se necessiten pagar 10 euros als guardes de l'entrada. Resulta que el carrer tancat és molt gran i hi ha una quantitat quasi infinita de persones. Des de l'avió es poden llançar molts tipus de bitllets i monedes. Posem per cas que en un moment determinat l'avió només tira monedes d'un euro. Encara que en tiri moltíssimes, és molt poc probable que amb la quantitat quasi infinita de persones que hi ha al carrer alguna n'aconsegueixi més d'una i per tant, ningú podrà reunir 10 euros i ningú podrà sortir. Aquest fet passarà si l'avió només llença monedes o bitllets inferiors a un valor de 10 euros, però si llença bitllets de 10 euros o superiors, cada persona que agafi un bitllet podrà sortir pagant, ja que només necessitarà atrapar un bitllet.

Es pot relacionar aquest exemple amb l'efecte fotoelèctric, Einstein va proposar que la llum tenia un caràcter corpuscular, és a dir, que estava formada per *paquets* d'energia que posteriorment passarien a anomenar-se fotons. Per tant, només els fotons que transportaven la suficient energia per *desenganxar* un electró, serien capaços de produir l'efecte fotoelèctric. Però algú es podria preguntar què és el que determina l'energia exacta que transporta un fotó. Einstein va proposar que l'energia d'un fotó és proporcional a la freqüència de l'ona electromagnètica (utilitzant com a factor de proporcionalitat la constant de Planck) ($E = h \cdot f$). Per aquest motiu, com que és molt improbable que un electró rebi més d'un xoc de fotons d'una ona electromagnètica, només es produirà l'efecte fotoelèctric si la freqüència de l'ona electromagnètica suposa que els seus fotons tinguin l'energia mínima necessària per tal que el seu xoc amb un electró en provoqui l'emissió d'aquest. D'aquesta manera, Einstein justificà que només una freqüència elevada és capaç de produir l'efecte fotoelèctric independentment de la intensitat del raig de llum, que al cap i a la fi només suposa el nombre de fotons. Però si la freqüència de l'ona és suficient, llavors com més intensitat del raig de llum, més fotons, més xocs, i per tant més electrons emesos. Però i què passa si s'augmenta la freqüència un cop ja està per sobre de l'energia mínima requerida per l'emissió de l'electró? En el cas de l'avió llençant diners es pot apreciar què és el que passaria. Si el bitllet que es llença és, per exemple de 50 euros, la persona que l'agafi podrà sortir amb un canvi molt gran. De la mateixa manera, si la freqüència és molt més gran que l'energia mínima d'emissió de l'electró, l'energia mínima en provocarà l'emissió i la restant li farà augmentar la velocitat. És a dir, l'energia del *canvi* li proporcionarà energia cinètica a l'electró augmentant-ne la velocitat. ($E = E_0 + E_c$)

Així va ser com Einstein explicà l'efecte fotoelèctric: remarcant el caràcter corpuscular de la llum, és a dir, la llum estava formada per partícules, els fotons.

El debat sobre si la llum és una partícula o una ona ha estat obert des de fa 300 anys. Newton afirmà que la llum eren partícules, però posteriorment altres científics afirmaren que realment es tractava d'una ona. Finalment a principis del segle XX Thomas Young demostrà que la llum es tractava definitivament d'una ona amb el seu experiment de la doble ranura. Aquest experiment consistia en un muntatge basat en una placa fotogràfica, una mica separada d'aquesta, una placa de metall amb dos ranures molt primes, i davant per



davant d'aquesta, un projector que il·lumina amb rajos de llum la placa de metall.

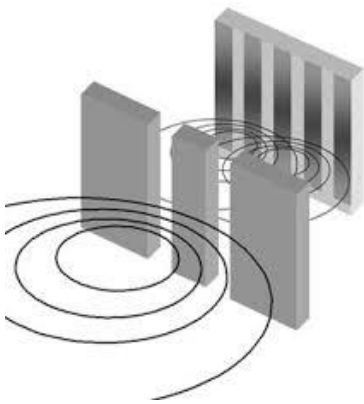
Estructura de l'experiment de Young

Si una de les ranures està tancada, a la placa fotogràfica de darrera hi apareixerà una ratlla de llum que correspon a la ranura, si és l'altre la que està tancada passarà el mateix. Però què passa si totes dues estan obertes? Si la llum és una partícula seria d'esperar que apareguessin a la placa fotogràfica dues ratlles que corresponen a les dues ranures, en canvi, el que va passar quan Young va realitzar l'experiment va ser un resultat ben diferent: a la placa fotogràfica hi aparegueren un seguit de ratlles verticals que no només corresponien a les dues ranures, sinó que corresponien a sectors que quedaven tapats per la placa metàl·lica (com es pot veure a la imatge).



La única explicació d'aquest resultat era que la llum no fos una partícula sinó que fos una ona. És complicat d'imaginar o visualitzar mentalment la llum com una ona, però si intentéssim repetir l'experiment amb, en comptes de llum, aigua, es visualitza clarament el resultat que havíem cregut sorprenent. Si tot el

muntatge està cobert d'aigua i originem una ona al lloc on hi hauria el projector, l'ona s'expandirà fins arribar a la placa de les ranures, un cop allí, es crearan dues ones més que tenen com a centre cada una de les ranures. Aquestes dues seguiran avançant fins que entrin en contacte. Un cop arribat aquest punt, es produiran les interferències: en entrar en contacte les dues ones; si dues crestes (el punt més elevat d'una ona) es superposen, es doble l'amplitud, és a dir es doble el punt més elevat de l'ona; si es superposen dues valls (el punt menys elevat) es doble aquest punt; i si es superposen una cresta i una vall, aquestes s'anul·len i l'ona desapareix en aquell punt. D'aquesta manera, la conseqüència d'aquest fet és que acaben sorgint una espècie de *ratlles* que avancen i acaben arribant a la placa fotogràfica fent les marques que havíem cregut sorprenents.



A la imatge es fa una reproducció del que passa al llançar ones contra les ranures i la placa fotogràfica.

Per tant, com que en el cas de l'aigua es tractava d'una ona i s'havien obtingut els mateixos resultats que en el cas de la llum, quedava demostrat que la llum era una ona.

Però com hem explicat Einstein va justificar que la llum estava formada de partícules. Llavors com es poden explicar els resultats de l'experiment de Young? El fet més sorprenent de tots és que l'explicació que es podria donar amb l'aigua (que hi ha moltes molècules i que al donar un impuls transmeten l'energia de l'ona) no serveix per explicar el cas de la llum. Això és a causa de que si projectem individualment fotons, és a dir, per exemple, un cada 20 segons o més, aquests marcaran individualment un punt a la placa fotogràfica, i sorprenentment no tenen perquè coincidir amb les ranures: es col·loquen un a un, formant l'espectre d'interferències (les múltiples ratlles a la placa fotogràfica). Per tant, el que és evident és que tot i que Einstein havia retornat a l'idea de Newton de la llum com a partícula, la partícula que havia proposat Einstein era molt diferent a la de Newton. Com s'ha vist, la llum té comportament de partícula (efecte fotoelèctric) i també d'ona (experiment de

Young), fet que provoca un canvi en la forma d'entendre-la. Alguns científics l'han anomenat "dualitat ona-partícula".

Molts científics van intentar donar una justificació matemàtica a aquests fets, però el que intentaven era unir idees del segle passat amb els nous descobriments. Per tant, cap a la dècada dels anys vint el que ara anomenem mecànica quàntica es trobava en un moment de descobriments, però també de caos.

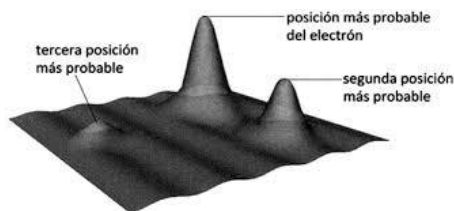
El 1923, Louis De Broglie va afegir una idea que encara revolucionaria més la física. Aquesta idea es derivava en part de la relativitat especial d'Einstein. Ja que Einstein havia relacionat l'energia i la matèria amb la seva famosa equació ($E=mc^2$), i Planck i Einstein havien relacionat l'energia amb la freqüència d'una ona (recordem que la freqüència era el que determinava juntament amb la constant de Planck l'energia d'una ona); si es relacionaven aquestes conclusions entre si, la massa havia de tenir una ona associada. Per tant, per exemple un electró havia de tenir per forçosament una ona associada.

Al cap de poc aquesta idea va ser demostrada experimentalment per dos científics de l'empresa telefònica Bell. El seu propòsit era simplement estudiar el comportament dels electrons, però van demostrar la idea de De Broglie. L'experiment que van dur a terme era quasi idèntic al de Young, amb la diferència que en comptes d'un raig de fotons, era d'electrons. El resultat va ser el mateix espectre d'interferències, cosa que significava que els electrons també tenien un comportament ondulatori (perquè s'havien obtingut les ratlles de l'espectre d'interferències). En els punts foscos de l'espectre els electrons s'havien *anul·lat* cosa que significava la mateixa conclusió que amb l'experiment de Young. També es produïa aquest espectre si es projectaven els electrons d'un en un, tal i com l'experiment anteriorment explicat (és a dir, d'alguna manera s'ordenaven per fer l'espectre).

Per tant, això significa que tot el que està format de matèria té associada una ona. Però és evident que en el món real nosaltres no veiem la gent caminar amb una ona associada. Això és degut al fet que la longitud d'ona de l'ona associada a un cos és proporcional a la constant de Planck (\hbar), que té un valor minúscul, i com a conseqüència, el valor de la longitud d'ona també ho és. ($\lambda = \hbar / m \cdot v$, on λ és la longitud d'ona).

Això ens pot ensenyar una cosa. El món que percebem és molt diferent de com és en realitat ja que estem limitats a una visió macroscòpica, unes velocitats minúscules, massa relativament gran...etc. Però de la mateixa manera que el valor c de la velocitat de la llum (300000 Km/s) transforma la nostra concepció de l'espai i el temps encara que no ho percebem, el valor de \hbar (constant de

Planck) també ho fa. Amb aquest últim experiment (experiment dels germans Bell) s'havia aconseguit fer evident que els electrons estaven associats a una ona. Però una ona de què? Alguns científics feren especulacions com ara Erwin Schrödinger amb els seus electrons "partits i dispersats". Però qui va tenir la idea que realment aclaria més l'assumpte va ser Max Born. Born creia que aquesta ona s'havia d'interpretar tenint en compte la probabilitat. En els punts on la magnitud de l'ona és més gran, serà més fàcil trobar-hi l'electró.



Els punts en què la magnitud de l'ona és més gran, és més fàcil trobar l'electró.

Però perquè s'aplicava la probabilitat a la física? Perquè la forma en què funciona el món depèn de la probabilitat? No es tracta d'un error dels científics, ja que no saben les condicions de l'electró? Quan per exemple, tirem uns daus, segons la física clàssica si coneixem la posició exacta del dau, la seva velocitat, la força amb què es llança, el fregament amb l'aire, el xoc amb el terra... Podrem calcular el número resultant que ha quedat mostrant el dau. Però en el cas de la matèria, almenys de l'electró, és ben diferent, Born afirmà que la naturalesa s'explica a través de la probabilitat. I que un electró té, simplement, una probabilitat concreta d'estar a un lloc o un altre. Per tant, si duem a terme exactament el mateix experiment amb un electró i en tots els casos hi ha les mateixes condicions, els resultats seran diferents uns dels altres, perquè hi haurà simplement una probabilitat que es doni un resultat o un altre). Però nosaltres i tots els cossos estem formats de matèria i això significa que també hem de tenir una ona associada. En canvi, com s'ha comentat anteriorment no la veiem ni percebem. Això és perquè, tal com hem dit, la nostra enorme massa respecte el món microscòpic fa que la longitud d'ona d'aquesta sigui minúscula.

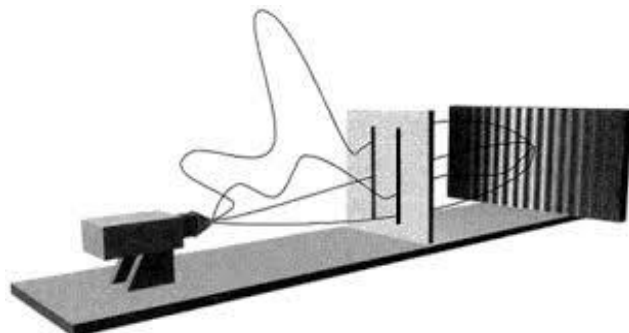
Però tot això és molt confús. Com es pot seguir fent experiments si el resultat serà sempre diferent ja que estem sotmesos a la probabilitat? De Broglie afirmà que repetint un experiment una i altra vegada es pot aconseguir comprovar les prediccions probabilístiques i que, per tant, es pot determinar la probabilitat de què un electró es trobés en un lloc o un altre. Schrödinger va acabar de solucionar aquest problema a través d'una equació que determina la forma i evolució de les ones de probabilitat: les "funcions d'ona". Aquesta equació aconseguí donar uns resultats molt exactes a l'hora de predir resultats d'experiments.

Però què suposava tot això? Es *mou* realment la naturalesa segons la probabilitat? Què comporta això? Podria ser que, pel fet d'existir una possibilitat que es doni un fet o un altre, hi hagi la possibilitat que existeixi un futur o un altre? Evidentment, és difícil d'acceptar i entendre. De fet, tal i com va dir Richard Feynman: "Crec que puc afirmar sense risc d'equivocar-me que ningú entén la mecànica quàntica".

Hi hagué molts científics que es negaren a acceptar que el fonament principal de la naturalesa era la probabilitat. Creien que el fet que s'hagués de recórrer a la probabilitat era una conseqüència de la falta de dades, com en el cas del dau si no es conegués la seva posició, ni velocitat... Un d'ells era Einstein. Einstein es negà a acceptar la mecànica quàntica i intentà demostrar que els científics que l'estudiaven s'equivocaven. D'aquí ve la seva famosa frase: "Déu no juga a daus". Però molts experiments han acabat confirmant que Einstein s'equivocava. El que està clar és que encara hem d'entendre què és realment la mecànica quàntica, què signifiquen les ones de probabilitat o quines són les seves conseqüències a l'hora d'entendre l'univers.

Un dels físics més importants des d'Einstein, Richard Feynman, va aportar la seva perspectiva. Aquesta concordava exactament amb tot el que s'ha explicat anteriorment però, a diferència, estava formulada d'una forma diferent.

Tornem a l'experiment de la doble ranura. Feynman proposà abandonar l'idea de que un electró travessava o la ranura de l'esquerre o la de la dreta. Al cap i a la fi, afirmà que no es podia comprovar si un electró passava per una o per l'altre. Com és possible això? Bé, es podria comprovar *mirant* l'electró. Però el fet de mirar suposa que hi incideixi un fotó. Si un fotó incideix en un electró, li dóna energia i, per tant, aquest canvia la seva velocitat i la seva posició. Segons Feynman, si comprovéssim que un electró ha passat, per exemple, per la ranura de la dreta, desapareixeria l'espectre d'interferències ja que hauríem alterat l'experiment. Pot semblar absurd però els científics no van poder demostrar que s'equivocava perquè totes les proves experimentals el recolzaven. Però Feynman anà més enllà. Va afirmar que cada un dels electrons que xoca amb la pantalla fluorescent travessa en realitat totes dues ranures. Pot semblar absurd però en realitat encara ho pot ser molt més. Cada electró, un cop ha estat *disparat*, realitza i travessa totes les seves trajectòries possibles. Com es pot veure a la imatge, mentre travessa la ranura de l'esquerre, simultàniament està travessant la de la dreta, es dirigeix a l'esquerre però finalment va a la



dreta, se'n va a la galàxia d'Andròmeda i després de tornar travessa la de la dreta, se'n va a Austràlia i el mateix...

Feynman afirmà que podia assignar un nombre a cada un d'aquests camins i que el seu promig combinat donaria exactament el mateix resultat que donava la probabilitat calculada amb la funció d'ona (l'equació de Schrödinger per calcular la probabilitat). Per tant, segons Feynman no calia associar l'electró amb una ona, sinó que s'obtenia el mateix resultat experimental si es combinaven totes les seves trajectòries possibles. Aquesta afirmació es coneix com a plantejament de les "trajectòries sumades" de Feynman.

Una vegada més destacarem que al món macroscòpic una persona no es *desdobla* i du a terme simultàniament totes les seves trajectòries possibles. Aquest fet es produeix perquè, segons Feynman i la seva regla d'assignar nombres a totes les trajectòries possibles, totes les trajectòries excepte una s'anul·len mútuament. És a dir, d'entre totes les infinites trajectòries possibles només se'n realitza una i aquesta és la predita per les lleis de la física, com ara les lleis de gravitació de Newton i Einstein.

Una altra característica de la teoria quàntica que xoca amb el sentit comú és el "principi d'incertesa de Heisenberg". Aquest es deriva d'un problema que ja hem explicat: el fet que no podem saber si un electró passava per una ranura o una altra sense alterar el resultat de l'experiment (estudi de Feynman acabat d'explicar). Com s'ha explicat, en el moment en què volem observar l'electró il·luminant-lo amb fotons, aquests li donen energia i l'electró canvia la seva velocitat. Però sempre passa aquest fet? Què passaria si l'il·luminéssim amb una llum cada vegada més tènue? Cada vegada podríem anar reduint l'alteració del moviment de l'electró (ja que cada vegada se li donaria menys energia). Però en aquesta afirmació hi ha un error. Encara que anéssim disminuint la intensitat, ja que aquesta és el nombre de fotons emesos, hi ha un mínim que és emetre solament un fotó. Ara bé aquest fotó xocarà amb l'electró i li farà alterar el seu moviment. Segons Planck l'energia d'un fotó és proporcional a la seva freqüència, per tant si disminuïssim aquesta, disminuiria l'energia del fotó, i per tant l'alteració del moviment de l'electró. Si aconseguim fer xocar el fotó amb l'electró podrem aconseguir saber la posició de l'electró amb un marge d'error de la longitud d'ona de l'ona electromagnètica (això també s'aplica per detectar roques en funció de les ones del mar; per resumir-ho, es calcula el nombre d'oscil·lacions completes que ha fet l'ona abans d'arribar a la roca, però la última, és a dir, la que ha quedat incompleta, no se sap exactament on ha estat *trencada*).

Per tant, si s'analitza el que s'ha explicat, si il·luminem l'electró amb llum d'alta freqüència (longitud d'ona curta), podrem determinar la posició de l'electró amb molta precisió, però com que els electrons d'alta freqüència tenen una gran quantitat d'energia, n'alteraria la seva velocitat d'una forma considerable. En canvi, si l'il·luminem amb llum de baixa freqüència (longitud d'ona gran), podrem saber la seva velocitat ja que el fotó que xocarà amb ell no porta gaire energia i quasi no n'alterarà la velocitat, però al posseir una gran longitud d'ona, no podrem determinar la seva posició.

Heisenberg va trobar una relació matemàtica entre saber la posició de l'electró i la seva velocitat, i va descobrir que els dos termes eren inversament proporcionals. Per tant, segons la mecànica quàntica no és possible conèixer al mateix temps els dos termes amb precisió. Encara que s'hagi explicat l'exemple amb electrons, aquesta relació matemàtica s'aplica a totes les partícules que componen l'univers en què vivim. ($\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar/2\pi$)

Einstein va intentar refutar aquesta informació afirmant que encara que no podem saber la posició i la velocitat d'un electró, aquest en segueix tenint unes. Però posteriors estudis i experiments han demostrat que s'equivocava.

Si per exemple un electró es trobés en l'eliminador d'escombraries que apareix a la pel·lícula *Star Wars* però microscòpic, a mesura que les parets s'anessin estrenyent, l'electró es comportaria de manera cada vegada més frenètica, com si tingués *claustrofòbia*. A mesura que s'anés fent més petit l'espai en què està l'electró, cada vegada tindria un moviment més violent i tindria una velocitat cada vegada més imperceptible (com si Luke Skywalker s'hagués posat a rebotar saltant per les parets). Aquí és on s'aplicaria un altre concepte del principi d'incertesa anomenat "efecte túnel". Per entendre aquest efecte cal explicar que si analitzéssim la funció d'ona de l'electró (possibilitat de trobar-lo a un lloc o un altre) podríem apreciar que una part d'aquesta, encara que diminuta, es troba fora de la paret. Per tal d'entendre el que a continuació s'explicarà posarem un exemple abans. Imaginem que una persona està tancada a una presó i que, per sortir, ha de pagar una fiança de 300 euros. Evidentment allà dins no té els diners, però s'adona que un dia abans havia mort un parent llunyà i li havia deixat una herència de molts diners. Llavors, afirmant això la deixen sortir amb la condició que en 24 hores pagui els diners de la fiança. Encara que abans de sortir no els hagués pagat. Com si s'hagués fet un préstec.

En el cas de l'electró, passa un cas similar. Resulta que Heisenberg s'adonà que la relació entre posició i velocitat també es pot aplicar a una relació entre energia i temps que es triga a fer la mesura d'aquesta. D'aquesta manera un electró també pot fer un *préstec* d'energia sempre i quan la pugui retornar en

un interval de temps suficientment curt. Per tant, seria possible que l'electró travessés la paret a través d'una energia que abans no tenia. És a dir, l'electró podria obrir-se un *túnel* a través de la paret. Tornem a recalcar que tota la matèria es comporta així, però nosaltres no podem travessar parets. Aquest fet és a causa que per fer-ho necessitaríem que cada una de les nostres partícules aconseguís aquesta energia *extra* al mateix temps i poguéssim travessar la paret. Però nosaltres estem formats per moltíssimes partícules i la probabilitat és minúscula, de fet ho és tant que hauríem d'estar xocant contra una paret durant més temps que l'edat del nostre univers per travessar-la.

Hem vist que en el món microscòpic hi ha fluctuacions d'energia constants. Electrons que, obtenint sobtadament energia, poden travessar una paret o altres exemples. Però un dels casos més sorprenents és que si relacionem la massa i l'energia amb la fórmula $E=mc^2$, una fluctuació d'energia (si és suficientment gran) pot originar matèria. Pot originar per exemple un electró i la seva antipartícula d'un espai on anteriorment no hi havia cap partícula. Per compensar aquest augment d'energia, les dos partícules s'eliminaran seguidament (una partícula i la seva antipartícula s'anul·len al interactuar).

La mecànica quàntica com s'ha vist té uns resultats increïbles que permeten alterar la nostra visió del món microscòpic. Un món on és possible existir simultàniament, travessar parets, tindre comportament d'ona i de partícula... Però què passa amb la gravetat? El problema és que si intentem aplicar la gravetat a la mecànica quàntica s'obtenen uns resultats absurds que xoquen amb la teoria de gravitació d' Einstein provocant un enorme conflicte.

2.4. La necessitat d'una nova teoria unificada:

Gràcies a la relativitat d'Einstein i la mecànica quàntica s'han pogut descobrir moltíssimes característiques de l'univers on vivim però tot i així hi ha un punt obscur en el nostre coneixement. Resulta que les dos principals teories que utilitzem són contradictòries. Si s'intenten combinar es poden obtenir resultats absurds sense un error de plantejament del problema. Llavors és evident que es necessita un replantejament de les teories que utilitzem.

Durant les dècades del anys 30 i 40 els físics s'adonaren que la funció d'ona de Schrödinger, que definia amb gran exactitud els resultats experimentals, era solament una aproximació al món microscòpic. Una aproximació que funciona molt bé si no l'apliquem profundament al *frenesí* microscòpic (recordem la *claustrofòbia* que tenia el Luke Skywalker microscòpic). L'element que Schrödinger havia omès era la relativitat especial. Schrödinger havia optat per ometre-la per tal de separar i no estudiar-ho tot de cop. Havia optat per separar el món microscòpic de la relativitat especial. Però resulta que al ometre-la havia oblidat com és de mal-leable la matèria, l'energia i el moviment.

Els físics van intentar unir els dos conceptes i ho intentaren mitjançant la força electromagnètica. Llavors van crear la electrodinàmica quàntica (que ha arribat a anomenar-se teoria quàntica de camps). Aquesta teoria es podria dir que és la més precisa que s'ha fet mai i la que està més a prop de la comprensió del nostre univers.

Més endavant els científics varen descobrir que la força electromagnètica i la força nuclear dèbil estaven unides a temperatures suficientment altes com ara en el Big Bang.

Finalment els físics, estudiant les tres forces no gravitatòries (força nuclear forta, força nuclear dèbil i força electromagnètica) i les partícules elementals, formularen el que ara s'anomena model estàndard.

Segons aquest model, de la mateixa manera que el fotó és el constituent mínim d'un camp electromagnètic, la força nuclear forta i dèbil també tenen constituents mínims. El de la força nuclear forta s'anomena "gluó" i els de la força nuclear dèbil són els "bosons gauge associats a la força dèbil" (bosons W i Z). El model estàndard defensa que aquestes partícules són les que transmeten les forces no gravitatòries. Per exemple en el cas de la força electromagnètica quan dos partícules carregades es repelen, en realitat és perquè s'envien mútuament fotons: llençant-los i tornant-los. Podem posar un exemple per tal d'entendre aquest concepte. Imaginem dos patinadors sobre gel que es llancen una bola de bitlles. Al llançar-la, el que la rep recularà enrere i el que la llença

també s'allunyarà. Això passa igual amb les partícules carregades i els fotons. Tot i així hi ha una petita diferència: a part de repel·lir les partícules separades, també poden provocar una atracció. Es podria dir que el fotó transmet un *missatge* a la partícula i li indica si allunyar-se o apropar-se. El fotó és la partícula missatgera de la força electromagnètica. El mateix passa amb la força nuclear forta i els gluons, i amb la força nuclear dèbil i els bosons gauge.

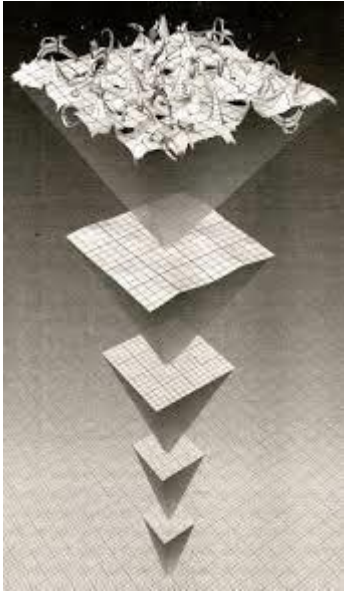
Tal i com s'ha pogut observar, hem parlat de les forces no gravitatòries. La partícula missatgera de la gravetat seria el gravitó. Tot i així no s'ha pogut trobar experimentalment i per tant no s'ha pogut demostrar la seva existència. Ometent aquest fet, la gravetat té un aspecte que interessa molt al model estàndard: la "simetria". Com s'ha pogut observar quan parlàvem de gravetat, aquesta és igual per a tots els observadors. Es podria dir que si es tracta de gravetat tothom està en igualtat de condicions i tots els punts de vista valen per igual. Aquest fet és anomenat simetria i en el cas de les forces no gravitatòries també hi és present però d'una manera no tan fàcilment visible.

De quarks (partícula que forma els protons i neutrons), n'hi ha de tres tipus: el vermell, el verd i el blau. Evidentment el color no representa el color que nosaltres entenem sinó que és simplement un nom. Tots els estudis i experiments han dut a pensar que existeix una simetria en les interaccions entre quarks del mateix color. I de la mateixa manera entre quark de diferents colors. Tot i així, si es canviés la característica dels tres tipus de color en un moment determinat (vermell per verd, verd per blau i blau per vermell) tot seguiria igual. De manera que de la mateixa forma que es podria canviar la càrrega positiva i negativa de la força electromagnètica i tot quedaria igual, es podrien canviar els tres colors dels quarks i no s'alteraria res. D'aquesta simetria se'n diu "simetria gauge" (encara que els bosons gauge apareixen a la força nuclear dèbil i no a la forta, que és la que uneix el quarks).

Aquesta semblança entre les quatre forces ens planteja la importància de trobar una teoria quàntica de camp que inclogui també la gravetat per tal de poder realitzar la unificació entre mecànica quàntica i relativitat. Per aquesta via han apostat molt científics però s'han trobat amb un gran nombre de dificultats a causa de les diferències entre les dues teories.

Segons la relativitat (a escales macroscòpiques) s'ha d'imaginar el teixit espai-temps com a una tela llisa que té les alteracions amb la massa i la velocitat tal i com s'ha explicat en apartats anteriors. Però la mecànica quàntica canvia aquest fet, a nivells microscòpics tot està sotmès a les fluctuacions quàntiques que provoquen fets tant impressionants com els que s'han explicat. Segons la relativitat, en l'espai buit hi ha un camp gravitatori zero, però la mecànica

quàntica afirma que és zero com a promig i que realment l'espai-temps rep alteracions cap amunt i cap avall a causa de les fluctuacions. A més a més, segons diu el principi d'incertesa de Heisenberg, a mesura que ens fixem en regions més petites de l'espai, aquestes fluctuacions es veuen augmentades.



A la imatge es poden apreciar l'escala de distàncies on s'apliquen les fluctuacions quàntiques.

A mesura que disminuïm encara més la regió de l'espai que examinem, finalment s'arriba al que és anomenat "espuma quàntica" (zona més alta de la imatge), on l'espai deixa de ser un objecte alterat per ondulacions, i passa a ser una forma escumejant dominada pel frenesí quàntic. A aquestes escales endavant i endarrere deixa de tenir sentit, i fins i tot, abans i després també. I és en aquest paratge també

on inicien els problemes amb la relativitat general.

La idea d'un espai llis i geomètric de la relativitat general queda destruïda per les fluctuacions del principi d'incertesa. Quan s'intenta fer càlculs combinant les dues teories s'obtenen resultats absurds, bàsicament l'infinit.

La relativitat general actua molt bé i dóna bons resultats a escales macroscòpiques, on no hi apareixen les fluctuacions quàntiques, però al reduir la mida col·lapsa i no dóna cap resultat coherent. Hi ha una distància a partir de la qual es fan tan notables les conseqüències de la teoria quàntica. Aquesta longitud ve determinada per la constant de Planck i la debilitat intrínseca a la força gravitatòria, es tracta de la longitud de Planck. Més concretament una distància de 10^{-33} centímetres, és a dir, una escala ultramicroscòpica.

Encara que els problemes entre les dues teories surtin a escales d'aquestes dimensions, els dos pilars en els quals ens recolzem a l'hora de comprendre el nostre univers són contradictoris. Per això un gran nombre de científics intentà trobar solucions, però sempre amb fracàs. Fins que arribà la teoria de supercordes.

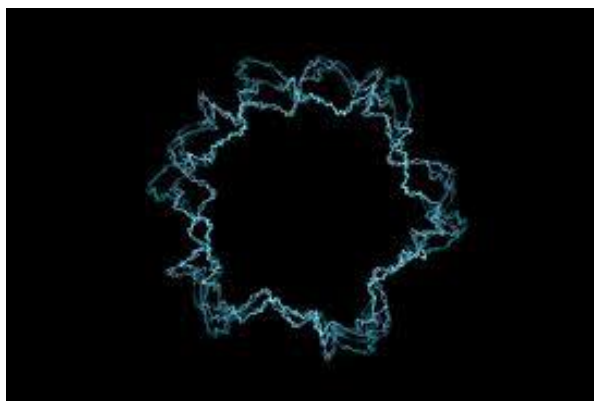
2.5. Teoria de supercordes:

Com s'ha explicat, els dos pilars teòrics en què ens recolzem no són compatibles i es contradiuen a escales diminutes, un fet frustrant. Molts científics creuen que hi ha d'haver una teoria unificada que lligui i sigui coherent fins i tot en l'espai més remotament minúscul. Es creu que aquesta teoria unificada pot ser la teoria de les supercordes.

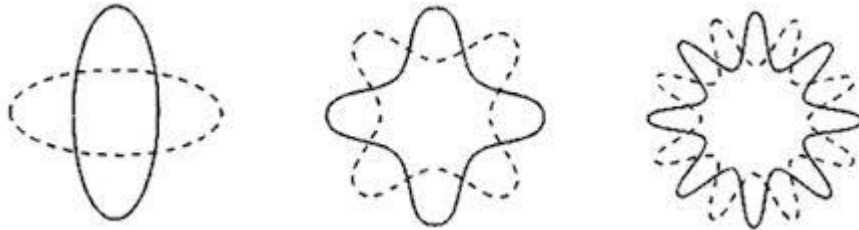
Tant en la teoria de gravitació de Newton com en la d'Einstein s'aprecien resultats catastròfics quan es disminueix la distància fins a la longitud de Planck. Però la teoria de cordes introdueix una teoria quàntica de la gravetat a través del "gravitó", que com s'ha comentat anteriorment seria la partícula missatgera de la gravetat. No entrarem en detalls, però el gravitó té una característica que el fa especial: té un espín 2(espín es una característica de les partícules subatòmiques que consisteix en una espècie de gir sobre elles mateixes, per exemple, els electrons tenen espín $+1/2$ o $-1/2$). Aquest fet és el que va permetre trobar proves convincents per a les teories de dimensions extres que comentarem més endavant.

Però exactament en quin punt es produeix aquest xoc tant catastròfic de teories? Bé, doncs es produeix en un punt molt conegut: l'inici del nostre univers, el Big Bang. Es diu que tot va sorgir d'un punt minúscul, per tant, aquest punt minúscul entraria dins el marge de la longitud de Planck, on tot es torna molt confús. Amb la teoria actual no podem entendre la gran explosió, només podem entendre les seves conseqüències. Apart d'això, hi ha un altre punt en què falla la relativitat general, i la mecànica quàntica, teòricament, hauria d'entrar en acció: al punt central d'un forat negre, la "singularitat". Un altre dubte sobre els forats negres és com s'emmagatzema la informació dels cossos que queden atrapats en ells. Aquests són interrogants de la física que requereixen una teoria que pugui proposar una teoria quàntica de la gravetat i el principal candidat és la teoria de cordes.

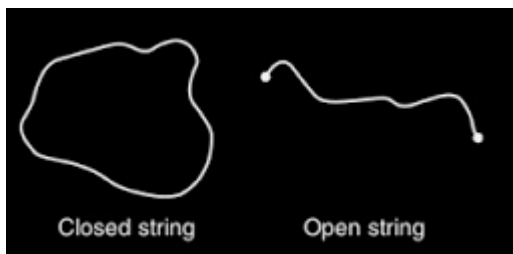
La característica més bàsica de la teoria de cordes que ja difereix de les altres teories físiques afirma que tota la matèria està formada per cordes, uns llaços unidimensionals vibrants, segments d'energia. Les cordes es tracten, teòricament, de la unitat fonamental de la matèria, els electrons, els quarks, els positrons, els fotons... Tot està format de cordes.



El més sorprenent però, és que les diferents partícules que coneixem s'originen tal i com són pel mètode de vibrar d'una corda. Com que una corda pot vibrar de formes diferents, si vibra de diferents formes pot arribar a ser totes les partícules de la matèria. Totes les cordes són unidimensionals i no es tracta d'una corda fonamental (una única) sinó que poden ser diferents entre elles. Hi ha dos tipus de cordes: les cordes obertes i les tancades.



Models de vibració d'una corda



Corda oberta i corda tancada

La manera en què una corda vibra depèn de l'energia d'aquesta i els modes de vibració que s'activin. Els modes de vibració són excitats per l'energia, aquests són modes ressonants, és a dir realitzen un nombre enter d'oscil·lacions. Els modes que no tindrien un nombre enter no es manifesten mai. En el cas de les cordes obertes l'oscil·lació es transmet d'extrem a extrem i llavors retorna al punt d'origen. En el cas de les tancades l'oscil·lació es transmet pel llaç seguint la circumferència. En la imatge anterior s'aprecien els modes de vibració d'una corda tancada, en el cas de la corda oberta passaria com les cordes del violí: vibren i depèn de l'energia que se'ls doni tenen una energia o una altra.

La forma de vibrar d'una corda és molt important ja que aquesta determina la massa, la càrrega i l'espín. Per tant, una sola corda, al tenir formes possibles infinites de vibrar, pot originar un nombre infinit de partícules. Tot i així només s'ha aconseguit detectar les partícules més lleugeres, és a dir amb menys massa, que tenen el mínim nombre d'oscil·lacions. Les possibles partícules de la teoria de cordes que tenen un nombre superior d'oscil·lacions deuen tenir molta massa i per això no s'han pogut detectar experimentalment en els acceleradors de partícules.

Abans de continuar explicant característiques de la teoria ens disposarem a fer un repàs de la història d'aquesta teoria.

La teoria de cordes va sorgir el 1968 com un intent de descriure les partícules fortament interactives anomenades hadrons, aquest model va fracassar ja que els hadrons estaven formats per quarks. Tot i així, la teoria de cordes no morí: es mantingué com una teoria de la gravetat.

La teoria de cordes d'hadrons tingué certs problemes en la formulació. En primer lloc, obligava l'aparició d'un taquió, una partícula teòrica que viatja més ràpid que la llum, tot i així, actualment, quan apareix un taquió en una teoria significa que aquesta té un error de formulació i que s'ha de poder formular d'una altra forma en què ja no hi aparegui. Per tant, totes les afirmacions de la teoria de cordes, encara que no tinguessin a veure amb el taquió, no eren molt fiables. Tot i així molts científics seguiren esperançats a continuar investigant. Llavors Ramond, Neveu i Schwarz van descobrir una nova visió de la corda: la supercorda. El punt interessant és que la teoria de supercordes aconseguia eliminar el taquió, i a més a més era capaç de concebre partícules amb espín igual a $\frac{1}{2}$, que coincidia amb els fermions (un electró és un fermió). En segon lloc, un altre dels problemes de la teoria de cordes d'hadrons és que obligava l'existència d'una partícula sense massa amb espín 2 i no hi havia forma d'eliminar-la. Però Scherk i Schwarz van proposar que aquesta partícula és l'engranatge clau de la teoria de cordes de la gravetat, van proposar que aquesta partícula és el gravitó.

La teoria de les supercordes, a més a més, contenia tot tipus de partícules: els fermions, els bosons gauge, i el gravitó, per tant, podia ser un molt bon candidat per la teoria unificada.

Hem parlat ja de l'espín, un moviment rotatori de les partícules. Però no és exactament com ens imaginariem una baldufa rodant, és un tipus de rotació que simplement no seria possible en un model clàssic. En el model clàssic, un moviment rotatori compleix una simetria ja que hi ha invariabilitat rotatòria. Però, i en el cas de l'espín? Podria existir un nou tipus de simetria? La resposta és si. Aquesta simetria s'anomena supersimetria. Cal tindre en compte que aquesta supersimetria ve d'una rotació relacionada amb la mecànica quàntica. Per tant, de la mateixa manera que l'espín es *un moviment rotatori amb una peculiaritat relacionada amb la mecànica quàntica*, la supersimetria es pot associar com un canvi en el punt d'observació en una *extensió de l'espai i temps dins la mecànica quàntica*. Ara ens centrarem en les implicacions primàries d'aquesta supersimetria.

Una de les més importants són les superparelles. Els científics es van adonar que la matèria ha d'estar formada per parelles de partícules que tinguin un valor d'espín que es diferencia per mitja unitat. Tot i així el 1970 els científics es van

adonar que no hi havia cap partícula que pogués formar parella amb cap altra coneguda. Per tant es va suposar que encara eren desconegudes. Per exemple, la superparella de l'electró (espín $\frac{1}{2}$) hauria de ser el selectró (espín 0), el del quark els sneutrins i els squarks... Aquest tipus de simetria sorgí a la teoria de cordes però també s'introduí a la mecànica quàntica.

Tot i així, la teoria de supercordes era una teoria difícil de tractar ja que requeria uns càlculs desorbitadament difícils i per tant, no hi havia molts científics que continuessin estudiant-la. Uns dels pocs van ser Schwarz i Green. Després de molt estudi acabaren amb una conclusió: la teoria de supercordes només tenia sentit en un context de 10 dimensions, 9 espacials i una temporal. En qualsevol altre nombre de dimensions la teoria no tenia sentit i mostrava resultats ridículs. Amb 10 dimensions aquests resultats s'anul·laven. Aquest resultat pot semblar absurd però analitzem-lo detingudament. Una corda és unidimensional i es mou en el temps. Però es pot moure en dimensions superiors, com per exemple les que nosaltres coneixem (tres espacials i la temporal), encara que no les posseeixi. D'aquesta manera una corda es pot moure en aquest número estudiat de dimensions: 10 (afegint la temporal). L'altre teoria de cordes (la que havia fracassat) també havia proposat dimensions superiors, però afirmava que ni havia d'haver 25 i, a més a més, tenia el taquió. La teoria de supercordes seguia sense problemes i era prometedora. No obstant, era bastant ignorada. No va ser més reconeguda fins el 1984, any en què Green i Schwarz publicaren els resultats d'un dels seus estudis. Aquests estudis eren sobre uns fenòmens anomenats "anomalies". Les anomalies eren uns problemes que sorgien arrel d'unes partícules anomenades virtuals en la mecànica quàntica (partícula i antipartícula que s'anul·len): es produïa la ruptura de la simetria. Aquest fet afecta profundament a una teoria quàntica de forces, ja que aquesta afirma que tots els processos que provoquen una ruptura de la simetria han de tenir com a mitjana 0. En la teoria de cordes també sorgí un problema. Hi havia anomalies, cosa que indicava una davallada de les esperances en la teoria de la supercordes. Però Green i Schwarz aconseguiren demostrar que aquestes anomalies es simplifiquen i donen 0 en 10 dimensions. Aquest descobriment va ser el que va fer que molts altres científics també s'interessessin per la teoria de les supercordes.

Aquest interès per la teoria de supercordes es consolidà quan un grup de científics formulà la teoria de la corda heteròtica. Es va usar aquest nom perquè a les ones que es movien cap a la dreta se les tractava de forma diferent que les que ho feien cap a l'esquerra. Aquesta característica plantejava la possibilitat de l'existència de moltes altres forces no descobertes apart de les ja existents en el model estàndard. Aquest descobriment va recolzar encara més la teoria de

supercordes de Schwarz i Green ja que aquestes forces descobertes concordaven amb les forces que no provocaven anomalies en la teoria de supercordes.

Però hi havia un problema, la teoria de supercordes afirmava que existien 9 dimensions espacials i una temporal, però on eren? Nosaltres només percebem tres dimensions espacials i la temporal, com pot ser? Actualment se suposa que les dimensions que falten són dimensions enrotllades (ara comentarem què significa això).

Què significa una dimensió enrotllada? Per imaginar-ho pensarem en un cable d'electricitat. Nosaltres el veiem des de lluny i per tant ens sembla unidimensional (una línia), però si ens apropéssim podríem apreciar que a nivell de formiga podríem moure'ns en la dimensió circular del cable. Com s'ha observat, la primera dimensió que hem percebut és estesa i la podem veure, en canvi la segona és enrotllada i només la veiem a una distància pròxima. El 1919 Theodor Kaluza va proposar l'existència de dimensions enrotllades.



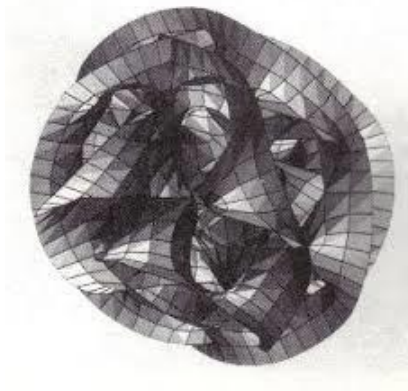
A nivell de formiga apareix una nova segona dimensió

Però un grup de científics d'entre els quals hi havia Edward Witten, van proposar formes diferents d'enrotllar les dimensions extres, les varietats "Calabi-Yau". Però abans d'aventurar-nos en aquest concepte reflexionem sobre les dimensions enrotllades i esteses.

Després de la proposta de Kaluza, altres científics investigaren sobre la possibilitat de més d'una dimensió espacial enrotllada, amb dos dimensions, o amb més. Però què és el que fa que tres dimensions estiguin esteses i les altres sis (en la teoria de cordes) estiguin enrotllades? La resposta a aquesta pregunta no se sap amb exactitud. Es podria imaginar que al principi de l'univers totes les dimensions estaven enrotllades i que les tres dimensions espacials amb la gran explosió es van estendre. Però, i si ens plantegem preguntes encara més profundes? Què passaria si una de les dimensions addicionals fos temporal? Què és el que comportaria? Hi hauria dos temps diferents? I si la dimensió temporal addicional fos enrotllada? Si poguéssim caminar a les escales microscòpiques i ens introduíssim a la dimensió temporal podríem avançar en el temps i tornar al punt d'origen (com passa amb una circumferència)? Són preguntes no gaire estudiades i que podrien ser un concepte per estudiar en la teoria de cordes.

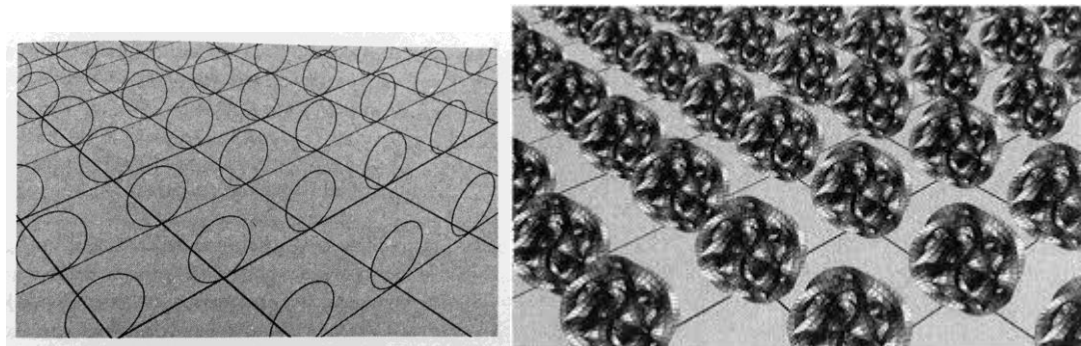
Com es pot observar en el nostre dia a dia, la forma de l'entorn condiona les ones que veiem. Per exemple, les roques del mar condionen les onades, la forma d'un instrument condiona l'ona sonora... La vibració de les cordes ve determinada per la forma de les dimensions enrotllades. És a dir els modes de vibració d'una corda depenen de la forma de la dimensió enrotllada en què es trobi vibrant. Es pot apreciar que és un aspecte molt important de la teoria perquè els modes de vibració d'una corda determinen les masses i les càrregues d'una partícula. Per tant, quina és la forma de les dimensions addicionals enrotllades?

Com s'ha comentat anteriorment aquest espai es l'anomenat "varietats Calabi-Yau". Un espai Calabi-Yau té sis dimensions, i el nom dóna honor als matemàtics Eugenio Calabi i Shing-Tung Yau. D'aquestes formes n'hi ha una gran quantitat que s'adapten a la teoria de la supercorda (desenes de milers). Però almenys aquest nombre no és tan extravagant com el nombre infinit de formes matemàticament possibles.



Una possible forma Calabi-Yau podria ser aquesta (encara que evidentment el dibuix només té 2 dimensions)

Tal i com Kaluza havia fet amb la seva dimensió espacial enrotllada (haviem d'imaginar tot l'espai ple de petits cercles), es pot fer el mateix amb les formes Calabi-Yau. Només hem de substituir els cercles per la forma dels matemàtics.

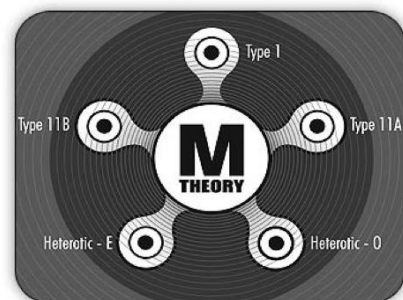


Però quines són les conseqüències d'aquest descobriment? Witten i Strominger van estudiar-les i obtingueren resultats sorprenents. Van aconseguir contestar perquè hi havia tres famílies de partícules. Ells van argumentar que a la forma

Calabi-Yau hi havia uns *forats*. Hi ha moltes possibilitats de formes d'aquests forats ja que estem parlant d'un espai de sis dimensions. Aquests científics afirmaren que cada forat està associat amb una família de vibració mínima de les cordes. Per tant, si en un espai Calabi-Yau hi ha tres forats, en l'univers on està hi haurà tres famílies de partícules. D'aquesta manera es dona una explicació d'on provenen aquestes famílies. El problema és que hi ha moltes possibilitats d'espai de sis dimensions amb aquests forats. El que els científics volen aconseguir és determinar quina de les formes Calabi-Yau és la que regeix al nostre univers. Witten i Strominger també afirmaren posteriorment que les masses i les càrregues de les partícules elementals vénen determinades per la forma en què interseccionen les fronteres de l'espai Calabi-Yau. Tot i així, les equacions de la teoria de cordes són tant complicades que els científics només han aconseguit aproximacions mitjançant una teoria anomenada "teoria de les perturbacions". Es necessitaria no utilitzar aquesta teoria i poder determinar amb exactitud en quin dels espais de sis dimensions vivim. Però com s'ha explicat, això és extremadament difícil.

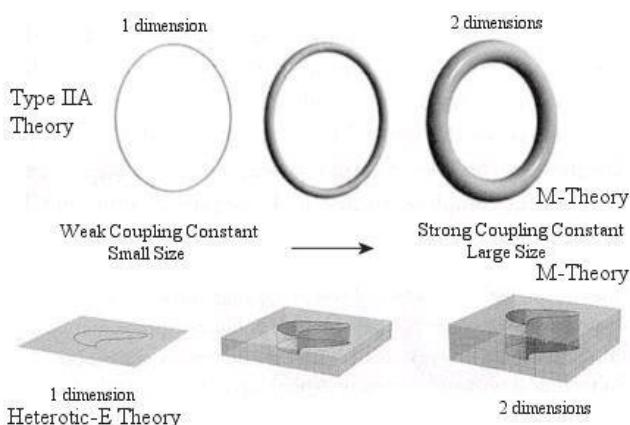
Per afegir més dificultat, hi havia un problema existent també en la teoria de cordes: hi havia 5 versions d'ella (Tipus I, Tipus IIA, Tipus IIB, Heteròtica O(32) i Heteròtica-E). Totes les versions comparteixen un gran nombre de característiques. Però també difereixen en certs aspectes. En general, com es podia considerar una Teoria del Tot si tenia 5 versions? El que estava clar és que es necessitava una teoria que les unifiqués. Doncs bé, aquesta teoria arribà. El 1995 Edward Witten deixà a tots els científics meravellats quan defensà l'existència de la teoria M. Aquesta teoria M unia totes les altres teories afirmant que aquestes eren solament un punt de vista, una forma de veure la teoria M. Witten es recolzà en el descobriment de la dualitat. La dualitat consisteix en una teoria que té dos descripcions diferents.

En el cas de les cordes hi ha una característica important que és la constant d'acoblament (que determina la intensitat en què interactuen les cordes). No se sap quina constant d'acoblament tenen les cordes del nostre univers i per tant, hem d'estudiar totes les possibilitats. El problema sorgí quan s'intentà estudiar la teoria amb un acoblament fort: era quasi intractable a causa dels complicats càlculs. La teoria de perturbacions que aconsegueix resultats aproximats amb les cordes d'interacció dèbil, no funciona amb les que tenen un acoblament fort. La dualitat de Witten consistí en què comprovà que, a baixes energies, una teoria amb un acoblament fort i que no es



podria estudiar corresponia a una altra mateixa teoria amb un acoblament dèbil: la “supergravetat en onze dimensions”. Altres estudis acabaren de demostrar que es podia passar d’una versió (teoria) de les cordes a una altra canviant la constant d’acoblament. D’aquesta manera es relacionen les 5 teories.

Una característica important de la teoria M és que té 11 dimensions en comptes de 10. Aquesta onzena dimensió és la que permet la unió de les 5 versions, i s’ha vist que els càlculs realitzats anys abans quan es van proposar les 10 dimensions eren aproximats. Hi faltava una dimensió espacial. Una altra característica important de la teoria M és que no només proposa l’existència de cordes sinó que proposa l’existència de membranes vibratòries bidimensionals, bombolles tridimensionals i altres objectes. Aquesta aparició té els seus orígens en uns estudis realitzats per Witten i un estudiant seu. Aquests estudis es basaren en la teoria heteròtica-E amb un acoblament fort. Durant molts anys els científics l’havien estudiat amb un valor de la constant d’acoblament menor a 1 i realitzant aquest procés s’estudiava una corda normal com de les que hem parlat. Però si s’augmentava aquesta constant, mica en mica, *apareixia* una nova dimensió. Per visualitzar aquesta imatge imaginem la construcció de la muralla d’un castell. En el punt inicial només hi ha el dibuix traçat per l’enginyer que determina per on passarà la muralla (dos dimensions) però a mesura que passa el temps la muralla es va construint i per tant guanya una dimensió vertical. En el cas de les cordes passa el mateix. El dibuix de la muralla al terra seria la corda estudiant-la des d’una perspectiva amb la constant d’acoblament 1 però si aquesta s’augmenta, es va guanyant una dimensió vertical. Cal tenir en compte que la corda original amb acoblament baix ja es trobava en 9 dimensions espacials i una temporal, per tant, la que s’afegeix és la desena dimensió espacial. Per tant, en realitat, si analitzem la corda original ara podem apreciar que s’ha convertit en una membrana bidimensional, de la mateixa manera que el dibuix de la muralla i la muralla.



Al augmentar la constant d’acoblament ha aparegut una segona dimensió a una corda

Witten descobrí que amb les altres teories això també passava. Això ens pot plantejar una pregunta: és la membrana bidimensional l'element fonamental de la teoria de cordes o hi ha objectes amb dimensions més elevades? La resposta no se sap del tot, però el que està clar és que la teoria M possibilita l'existència d'objectes de tres dimensions o més, fins i tot de nou dimensions. S'ha anomenat "tribrana" a una membrana tridimensional, "tetrabrana" a una de quatre i així successivament.

Una brana, per exemple, podria estendre's fins a comprendre només tres dimensions espacials. Cal remarcar que un objecte es pot moure dins una brana i està limitat a les seves dimensions independentment de les dimensions externes que hi hagin. Per tant es podria dir que les branes poden limitar objectes a un nombre determinat de dimensions. El 1989 uns físics van descobrir la "brana D". Les cordes tancades es tanquen sobre si mateixes però les cordes obertes tenen dos extrems que han d'estar units a algun lloc. Aquest lloc segons aquest físic és la brana D. Imaginem per posar un exemple, un dibuix animat escrit en un còmic. Posem-nos en la pell del seu protagonista. Ell veurà el seu món el més real possible i ni s'imaginarà que a part de les dos dimensions en què viu (el paper té dos dimensions) hi pugui haver una tercera dimensió, és a dir, l'altura. Per ell el món té dues dimensions i no és capaç d'imaginar-se'n una tercera. Això és el que passaria amb les partícules dins una brana D i les dimensions superiors: la brana tindria *presonera, atrapada* a una corda (per tant una partícula).

En la teoria de cordes sorgeixen diferents tipus de brana, que es caracteritzen no solament per la seva dimensionalitat (nombre de dimensions en les quals es troben esteses) sinó també per la seva càrrega, la seva forma i la seva tensió. Inicialment es van considerar les branes com a una curiositat, però el 1995 Joe Polchinski va demostrar que tenien càrrega i que per tant, interactuaven. A més a més, la tensió de les branes és finita. La tensió es pot relacionar amb la tensió d'una tela d'un tambor. Si la tensió és alta, és difícil d'alterar-la i si és baixa, respondria exageradament a qualsevol interacció. Però si fos infinita no seria dinàmica i no interactuaria. De tota manera, la tensió és finita i per tant es pot moure i respondre a les forces de la mateixa manera que ho fan els altres objectes.

Mentre Polchinski estudiava les branes D, Strominger estudiava les "branes p". Aquestes branes p eren solucions extraordinàries de les equacions d'Einstein. S'estenien en algunes dimensions espacials fins a l'infinit però en les restants actuaven com a forats negres atrapant els objectes que se'ls acostaven. Els dos

científics acabaren descobrint que els dos tipus de brana no eren, com pensaven, molt diferent una de l'altra. Strominger va descobrir que en certes ocasions, les branes p podien originar nous tipus de partícules. Per tant, les partícules ja no només podien ser formades per cordes sinó també per branes. Si una brana envolta una regió minúscula de l'espai, aquesta brana compactada pot actuar com a partícula. Com més petita és la regió de l'espai, més petita és la brana i menys massa té. Per tant, la conclusió de Strominger va ser que les branes podien originar partícules, però si analitzem més profundament el descobriment ens adonarem que com que podem disminuir tant com vulguem la regió de l'espai, arribarà un punt en què la brana actuarà com a partícula sense massa. El que va descobrir Polchinski va ser que les branes D també podien actuar així i que en realitat, les branes D i les branes p eren el mateix. Podria semblar que el descobriment de la dualitat entre teories era una millora a l'hora de determinar quina de les teories corresponia al model estàndard, però al contrari, amb tantes branes i cordes s'obrien encara més possibilitats. Tot i així, s'obria la porta a un altre enorme món, els mons brana.

2.5.1. Forats negres des de la teoria de cordes i la teoria M

Ja hem comentat alguns dels problemes que sorgeixen al intentar ajuntar la mecànica quàntica i la relativitat d'Einstein, sobretot la general. Però el lloc on es fan més visibles són en l'origen de l'univers i el punt central d'un forat negre: la singularitat. És evident que es necessita una teoria quàntica que englobi la gravetat, i, com hem anat comentant, aquesta teoria podria ser la teoria de cordes.

Intentem imaginar els dos pols oposats més radicals en tot l'univers. Quin millor exemple que les partícules elementals i els monstruosos, poderosos i enormes forats negres? Realment ens els imaginem com a totals contraris. Però les investigacions d'alguns científics durant la dècada del 1960 van demostrar que no són tant diferents com ens pensem. Centrem-nos en els forats negres. Quan parlem, per exemple d'estrelles o planetes, hi ha varietat, és a dir, la gran majoria tenen diferents característiques. Però els forats negres no, els forats negres són tots molt similars entre si. Llavors, què és el que els diferencia? Evidentment la primera és la massa, la característica més coneguda. S'ha estudiat que una altra propietat és la càrrega elèctrica i altres forces que el forat negre pot suportar. Per últim, una característica és la velocitat a la que gira. Però aquestes són totes. No hi ha més característiques que pugin diferenciar dos forats negres, si dos forats negres les tinguessin iguals no se'ls podria diferenciar, serien idèntics. Aquest descobriment a dut a pensar a molts científics que en realitat els forats negres podrien ser ni més ni menys que partícules elementals gegantines.

Segons la teoria d'Einstein, qualsevol objecte pot esdevenir un forat negre, només cal comprimir-lo suficientment perquè col·lapsi. Generalment, un forat negre de l'espai exterior pot ser estudiat mitjançant la relativitat general (ja que la seva mida és tan gran que els efectes de la mecànica quàntica són mínims). És molt important remarcar que es pot tractar des del punt de vista de cos gegantí de l'espai, però la relativitat general no permet estudiar la singularitat, el punt central del forat negre.

Si comprimim objectes per convertir-los en forats negres i anem repetint l'experiment amb objectes cada vegada més lleugers, arribarà a un punt on els efectes quàntics són importants i la relativitat d'Einstein ja no pot tractar els forats negres. Aquest límit és quan els objectes tenen una massa igual o inferior a la massa de Planck (10^{19} vegades la massa d'un protó), una massa que a nivell macroscòpic és diminuta (massa d'un gra de pols) però a nivell microscòpic és exorbitant.

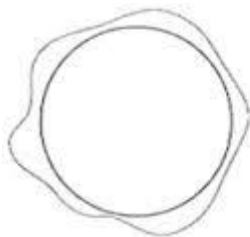
Però, ens ajuda la teoria de cordes en aquest problema? La resposta és sí. Ens permet connectar els forats negres amb les partícules elementals. Per tal d'explicar aquesta connexió ens haurem de desviar lleugerament del tema però acabarem arribant-hi.

És important comentar un aspecte de les dimensions enrotllades Calabi-Yau: en el seu interior s'hi poden produir nombroses formes. La "geometria quàntica" les estudia i també les seves conseqüències. Tot i així, encara que podríem dedicar moltes pàgines a la geometria quàntica no ho farem. Entra en un nivell de profunditat molt elevat, es complica i potser ja es desvia massa dels aspectes que importen a aquest treball: l'explicació de la ciència ficció. De tota manera, per a l'explicació de la relació entre forats negres i partícules elementals, haurem de comentar algun dels seus aspectes. S'ha de tenir en compte que no explicarem amb tot detall les característiques de la geometria quàntica, ho farem per sobre.

Dins l'espai Calabi-Yau, existeixen generalment dos tipus d'esferes: les bidimensionals i les tridimensionals (remarcarem que contem les dimensions de la superfície de l'esfera, és a dir, per exemple, una pilota de platja té una superfície bidimensional i seria com les esferes bidimensionals de l'espai Calabi-Yau). Aquestes esferes normalment van disminuint la mida fins que desapareixen. Però alguns especialistes es varen preguntar si l'estructura de l'espai col·lapsava d'aquesta manera. Si una d'aquestes esferes al disminuir la seva mida col·lapsés l'espai, tindria conseqüències catastròfiques. Tot i així, es va veure que una corda podia envoltar una de les esferes bidimensionals i servia de *protecció* d'aquest col·lapse. Però què passava amb les esferes

tridimensionals (recordem que tridimensional en aquest cas significa tres dimensions de superfície i, per tant, quatre de total de l'esfera)?. Una corda, no podia envoltar una d'aquestes esferes i protegir-la. Això era una catàstrofe.

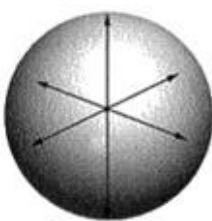
Tot i així, com hem vist. Amb la teoria M sorgeixen les branes. Uns estudis realitzats per Strominger varen concretar que de la mateixa manera que una unibrana (brana d'una dimensió) podia rodejar un cercle, una tribrana (de tres dimensions) podia envoltar una esfera tridimensional i evitar aquest col·lapse.



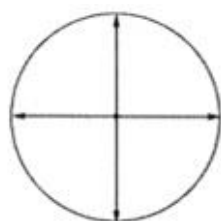
Una unibrana envolta un cercle, una bibrana pot envoltar una esfera bidimensional, i una tribrana pot envoltar una esfera tridimensional. De tota manera és difícil fer-se una imatge d'aquest últim cas, per això ens l'imaginarem a través dels exemples amb dimensions inferiors (com a la imatge).

Però aquí acabava la publicació de Strominger, podia ser que poguéssiu continuar? Que només s'hagués explicat la meitat de la *història*?

Resulta que segons uns altres estudis de la geometria quàntica que no aprofundirem, en certes ocasions, l'espai Calabi-Yau es pot esquinçar per culpa de la disminució d'una d'aquestes esferes però, seguidament, *s'arregla ell mateix* fent créixer altre cop la esfera. Primer la esfera es fa petita i llavors torna a créixer. Però el que era sorprenent era que quan creixia ho feia amb una dimensió menys de la que tenia anteriorment. Per tant, per exemple, una esfera unidimensional es convertiria en una esfera de dimensió zero.



(a)



(b)



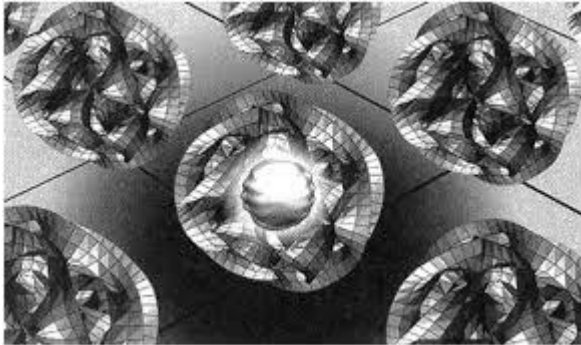
(c)

A la imatge la esfera unidimensional correspondria a la figura (b) i la de dimensió zero a la (c). La figura (b) es comprimiria fins a tornar a créixer i esdevenir la figura (c).

Com es pot intuir, les propietats físiques d'una esfera unidimensional i les d'una esfera de dimensió zero, són completament diferents.

Els científics com Morrison i Brian B. Greene aprofitaren aquests estudis per a aplicar-los a la investigació feta per Strominger (una tribrana podia envoltar una esfera tridimensional). Després del col·lapse d'una esfera tridimensional, l'espai es podria esquinçar i després reparar-se formant una esfera bidimensional. D'aquesta manera es produirien canvis tant grans que una forma Calabi-Yau podria transformar-se en una altra forma Calabi-Yau diferent.

Però això què té a veure amb els forats negres? Després de finalitzar aquesta desviació que hem fet tornem al tema. Com hem explicat, una esfera tridimensional pot comprimir-se sense suposar una catàstrofe perquè una tribrana la pot envoltar. Però quin aspecte té aquesta brana envolvent? Uns estudis anteriors realitzats per Strominger i Horowitz demostren que per a persones com nosaltres que només coneixem les tres dimensions no enrotllades, la tribrana envolvent exerciria un camp gravitatori semblant al d'un forat negre.



Altre cop, com que és difícil mostrar una imatge d'una esfera tridimensional, el mostrarem amb una esfera bidimensional envoltada per una bibrana. Una bibrana envoltant una esfera bidimensional des de la nostra perspectiva de les tres dimensions esteses (no enrotllades) es comporta com un forat negre.

A més a més, Strominger argumentava que la massa de la tribrana (per tant la del forat negre) és proporcional al volum de l'esfera que envolta. Com més gran és la esfera, més gran és la tribrana i més massa té. Però com hem explicat, aquesta esfera va disminuint, per tant, com més disminueixi menys massa tindrà el forat negre, i s'arribarà al punt en què el forat negre no tindrà massa. Què significa això? Significa que el forat negre es convertirà en una tribrana sense massa, és a dir, una partícula sense massa, com podria ser per exemple el fotó. Sorprenent? D'aquesta manera s'ha aconseguit establir una relació directa entre els forats negres i les partícules elementals.

Això ens pot recordar a un altre exemple, de la mateix manera que algú que no ha vist mai gel ni aigua líquida no s'adona que es tracten del mateix fins que veu la transició de fase (canvi d'estat), els científics no s'adonaren fins que estudiaren la "transició de plegat cònic amb esquinç de l'espai" (procés acabat d'explicar en què una esfera disminueix, esquinçava l'espai i tornava a créixer) que els forats negres i les partícules elementals es tractaven del mateix. Es podria dir que els forats negres es *fonen* per convertir-se en partícules elementals.

Per tant, hem pogut veure que els forats negres encaixen perfectament a la teoria de cordes.

Aquesta conclusió és un gran èxit. S'ha aconseguit unir dos conceptes que inicialment eren del tot oposats gràcies a la teoria de cordes. Però aquest èxit

ha portat a que altres científics es preguntessin si la teoria de cordes també podia explicar algunes altres propietats misterioses de l'univers que no havien estat explicades. Una d'aquestes propietats és l' "entropia dels forats negres".

L'entropia es una mesura del desordre o la aleatorietat. Per exemple, si una taula està en el mateix estat que la de qui redacta aquest treball, és a dir, molt desordenada, diem que es troba en un estat d'alta entropia. Al contrari, si la taula està com a tothom li agradaria que estigués (molt ben ordenada) es podria dir que tindria una baixa entropia.

Però els científics han formulat una definició que permet saber amb un nombre l'entropia d'un objecte. Aquest nombre, dit d'una forma senzilla, indica els possibles reordenaments dels components d'un sistema físic. Si a la taula pulcrament endreçada li col·loquem uns fulls deixats de qualsevol manera, pertorbarem la seva alta organització (baixa entropia). Però si col·loquem els fulls a la taula desordenada, no hi haurà molt més desordre del que ja hi havia (alta entropia). Evidentment, parlar de taules, fulls i llibres no té cap base científica. La definició rigorosa d'entropia implica calcular el nombre de possibles remodelacions de les propietats mecanico-quàntiques que tenen els components elementals d'un sistema físic i no afecten les seves propietats macroscòpiques.

El 1970 Jacob Bekenstein va suggerir que els forats negres podien tenir entropia. La motivació de Bekenstein a fer aquesta suggerència prové de la segona llei de la termodinàmica (o principi d'entropia de Boltzmann), en què la entropia d'un sistema sempre augmenta: tot tendeix a un desordre més gran. De fet per aclarir un moment la segona llei de la termodinàmica explicarem una de les seves conseqüències. La segona llei de la termodinàmica és l'única llei que no pot fer-se de futur a passat. A diferència de tots els altres processos físics, el principi d'entropia de Boltzmann és l'únic que mostra una *fletxa* del temps, una direcció. Segons aquest principi, sempre es passa d'un estat d'ordre a desordre. Per exemple, si ordenem la taula desordenada de l'exemple anterior, es podria pensar que estem disminuint l'entropia, però en realitat l'augmentem ja que al endreçar la taula fem un exercici i escalfem les partícules de l'aire, que es mouen més agitadament. Per tant, la entropia sempre augmenta.

Però Bekenstein va preguntar: ¿Què passaria si ordenéssim la taula prop d'un forat negre, amb una bomba de buit s'absorbeixen les partícules d'aire i es llencen dins un forat negre? O per exagerar-ho més: ¿Què passaria si llencéssim tots els objectes de l'habitació al forat negre i ens quedés una habitació freda i perfectament ordenada? La entropia de l'habitació hauria disminuït, per tant,

segons Bekenstein l'única forma per complir la segona llei de la termodinàmica era que el forat negre també tingués entropia. De fet, Bekenstein es va ajudar d'un descobriment realitzat per Stephen Hawking que diu que l'horitzó de successos d'un forat negre augmenta amb qualsevol interacció, és a dir, si algun objecte hi cau a dins. Amb aquesta ajuda Bekenstein va afirmar que l'horitzó de successos d'un forat negre proporciona una mesura exacta de la seva entropia.

De tota manera, la proposta de Bekenstein no va tenir gaire bona rebuda per certs motius. Un d'ells era que, en aquell moment, encara no s'havia trobat una solució per aplicar la mecànica quàntica als forats negres (que es tractaven solament segons la relativitat general) i l'entropia era un concepte pertanyent a la mecànica quàntica.

Si l'explicació de Bekenstein fos correcta, significaria que el forat negre hauria de tenir una temperatura, cosa que no té sentit ja que no emet cap tipus de radiació. Però aquesta visió va canviar amb un estudi realitzat per Hawking. Stephen Hawking va afirmar a través de complicats càlculs que en realitat els forats negres no són del tot negres, emeten radiació. Això és degut al principi d'incertesa de Heisenberg i les seves conseqüències. Recordem que del buit poden sortir un parell de partícules virtuals que s'anul·len mútuament. Hawking va afirmar que el camp gravitatori d'un forat negre pot donar l'energia suficient a dues partícules virtuals perquè es repelin, una es dispari a l'interior del forat negre, donar un impuls gravitatori a l'altre i que aquesta en sortís lliurement, ja que no té cap partícula que la pugui aniquilar. Per tant, aquestes partícules que en podrien sortir serien la radiació del forat negre. Hawking va estudiar que per un observador extern al forat negre aquesta radiació pot ser continua i la temperatura que mesurarà aquest espectador ve determinada per la intensitat del camp gravitatori del forat negre en el seu horitzó de successos.

Per tant, altre cop s'havia relacionat la temperatura (que té relació amb la entropia), el forat negre i el seu horitzó. Per tant, Bekenstein no s'equivocava: un forat negre té entropia i té temperatura.

Cal remarcar que, tot i que és cert que els forats negres emeten radiació i tenen temperatura, aquesta és molt petita. Els forats negres no són negres però quasi.

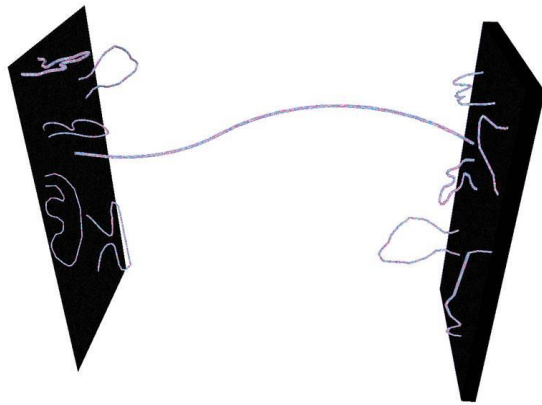
Però amb l'entropia passa el contrari. Els forats negres tenen una entropia molt elevada, per tant, al seu interior hi ha una gran quantitat de desordre.

Pel que s'ha vist, problemes que fins ara no havien estat explicats per la física ho han estat. S'han substituït les teories que s'hi aplicaven. És en certs aspectes una victòria increïble per a la teoria de cordes i, sobretot, per a la ment oberta que requereixen aquests problemes. S'ha aconseguit explicar incògnites dels

forats negres abandonant la teoria predilecta, la relativitat general, i s'ha abordat el problema des de teories més noves. Tot i així, encara queden interrogants per respondre pel que fa als forats negres. Potser necessitem una aplicació profunda de la teoria de cordes, qui sap?

2.6. Els mons brana i la possibilitat d'altres universos en dimensions superiors:

Per tal d'iniciar-nos sobre el tema, recordarem que una brana pot *atrapar* forces i partícules. Imaginem una sola brana D que es troba en algun punt de l'univers de dimensió superior (més de tres dimensions espacials). Tots dos extrems d'una corda oberta es trobaran a la brana i no se'n podran desenganxar, tot i així es poden moure per ella. Es podria dir que la corda està atrapada a la dimensionalitat (nombre de dimensions) de la brana D. Com que aquesta corda amb els seus modes de vibració originarà una partícula, aquesta partícula estarà confinada a la brana. Suposem que aquesta partícula és un bosó gauge que transmet l'energia nuclear dèbil. D'aquesta manera la força que exerceix la partícula també es troba confinada a la brana i actuarà solament sobre les altres partícules de la brana.



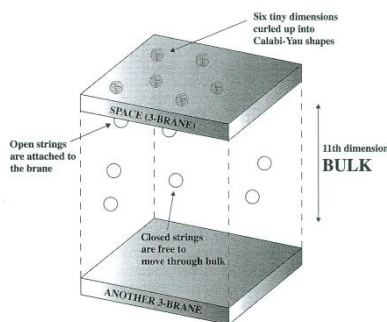
Ara suposem que en comptes d'una sola brana n'hi ha dues. A part de les cordes que tenen els dos extrems en una mateixa brana ara hi ha la possibilitat que una corda tingui un extrem en cada una d'elles.

Aquests tipus de cordes originen partícules amb massa, que augmenta proporcionalment segons la distància

entre les dues branques. Però suposem que les dues branques coincideixen i que per tant la partícula que s'origina de la corda és una partícula sense massa, per exemple un altre bosó gauge. Aquesta partícula seria diferent ja que transmet la força a la resta de partícules de totes dues branques. Cal tenir en compte que en totes les forces hi ha una simetria i en aquest cas també, precisament en aquest, la transformació simètrica seria la que intercanviessin les dues branques. Però es podria pensar que si les dues branques es troben en un mateix lloc, no té sentit parlar-ne com a dos objectes, sinó que se n'hauria de parlar com a un sol objecte. I així és: s'originaria una nova brana. Però suposem que en comptes de dues branques, són moltes les branques coincidents. Llavors hi hauria moltes possibilitats de cordes que originarien moltes possibilitats, si seguim en l'exemple anterior, de bosons gauge, i totes conservarien aquesta simetria que s'intercanviarien. La majoria de partícules que es trobessin en branques diferents tindrien propietats diferents i sorprenents. Podríem, per exemple, estar formats per partícules que responen a la força nuclear dèbil però tenir-ne d'altres que, no ho fan perquè estan lligades a una altra brana i tenen propietats diferents.

Es podria comparar el “Bulk” (espai complet de dimensió superior) amb un estadi de pistes de tennis. Una pilota que passi d’un camp a un altre tindrà efecte als dos camps però no en les altres pistes. Una corda que es troba en dos branes interactua només amb les partícules de les dos branes en què es troba i no amb les de les altres branes. Però, tot i així hi ha unes partícules que poden viatjar lliurement pel Bulk, que poden transmetre *missatges* entre les partícules de dues branes. Aquesta partícula, com explicarem ara, és el gravitó.

La gravetat, com hem pogut comprovar en altres apartats, és diferent a les altres forces. La gravetat no quedarà mai atrapada en una brana. Aquest fet es produeix perquè les altres forces són transmises per partícules originades per una corda oberta que s’ha d’*arrelar* a una brana. En canvi, el gravitó és originat per una corda tancada, que no té extrems lliures per unir en una brana. Per tant, el gravitó pot passar d’una brana a una altra i moure’s pel Bulk amb tota llibertat. És un resultat profundament interessant ja que d’aquesta manera es pot interactuar amb una altra brana a la qual no estem connectats. És a dir, la gravetat pot transmetre informació a través de branes. La qual cosa, com explicarem més endavant, també explica perquè la gravetat és tan dèbil en comparació amb altres forces.



La gravetat (gravitó) es pot moure a través de les dues branes

Però què signifiquen realment les branes? Podem trobar-les en el món real? Podria ser que hi haguessin partícules atrapades en dimensions inferiors? Podria ser que nosaltres i totes les partícules que percebem formessin part d’una brana i estiguessin confinats en una? Llavors podria ser que les partícules que veiem i nosaltres mateixos signifiquin solament una petita part de l’univers general. D’aquesta possibilitat se n’ha derivat el concepte de mons brana.

Aquests mons brana podrien tenir propietats completament diferents, cosa que desanimaria els físics que creuen en la “Teoria del Tot”. Però com que és en dimensió superior, podria abordar certs aspectes del model estàndard. Tot i així les branes estan lluny de ser detectades per un dels nostres acceleradors i per tant la seva verificació encara haurà d’esperar.

Hi ha molts tipus de mons brana, fins i tot n'hi ha alguns que encara no hem pogut ni imaginar. Concretament parlarem de quatre mons brana: el primer de tots, el de Witten i Horava; el de Randall i Sundrum, on s'aplica la ruptura de la supersimetria; el dels físics ADD, en què es possibilita les dimensions extres grans; i el que proposa una curvatura de l'espai temps entre branes.

El primer de tots va ser el que Witten i Petr Horava van estudiar (s'ha anomenat HW per les inicials). Aquest món brana és de dimensió onze i conté dues branes de dimensió espacial 9 (es pot aplicar a la imatge que s'acaba d'adjuntar a la pàgina anterior). En aquest món brana cada una de les dues branes conté un tipus diferent de partícules i forces. Les forces de cada una de les branes són les de la corda heteròtica que ja hem explicat (quan les oscil·lacions van cap a la dreta és diferent que quan ho fan cap a l'esquerra). La proposta de Witten i Horava era estudiar aquest món d'onze dimensions, i ho varen fer a través de l'acoblament fort en la corda heteròtica. És a dir, aquí es produeix un altre tipus de dualitat: quan l'acoblament de la corda heteròtica és fort es descriu millor com una teoria de món brana d'onze dimensions amb dos branes amb 9 dimensions. Tot i així, el que cal fer notar és que si el que volem és trobar una brana que pugui descriure el nostre univers, hem de fer que tingui unes característiques semblants. Per tant, si nosaltres només veiem tres dimensions espacials i una temporal, així ha de ser la brana. El món brana HW compleix aquesta característica, ja que tot i que la onzena dimensió no està enrotllada, no la podem veure perquè estem confinats dins una brana de quatre dimensions (tres espacials i una temporal). L'espai que separa les dues branes és la cinquena dimensió, però ni les partícules ni les forces poden viatjar lliurement per ella, només el gravitó i la gravetat.

El món brana HW no només inclou les forces i les partícules, sinó que també permet una gran teoria unificada. Hi ha tres motius que donen al món brana HW importància en la física moderna. La primera, que les partícules de les dues branes es poden comunicar a través de partícules que es troben al Bulk. Com s'ha explicat, que estiguin unides a les dues branes. La segona és que en els dos mons brana hi podrien haver diferents propietats físiques, és a dir, diferent constant d'acoblament, diferent mida de les dimensions addicionals... Això explicaria perquè els efectes quàntics no tendeixen a igualar-les. Per últim, que les branes poden acumular energia i el Bulk també. Com que tota energia corba l'espai temps ($E=mc^2$ relaciona l'energia amb la massa), en el món brana també passa. Tot i així, com en molts apartats de la física de cordes o branes, és quasi impossible de demostrar, cosa que suposa un problema per a l'acceptació completa de la comunitat científica.

Per parlar del segon tipus de món brana necessitem parlar del “segrest”. El “segrest” és el que es produeix quan, com hem explicat, una partícula queda *atrapada* dins una brana. Si dues partícules estan en branques diferents, el segrest podria explicar les seves diferents propietats o podria ser el motiu pel qual no sempre s’aplica el principi d’anarquia (totes les partícules han d’interactuar).

Si provem d’imaginar una partícula segrestada en les tres dimensions espacials, serà difícil ja que les tres dimensions permeten que una partícula es trobi en qualsevol punt de l’espai. Però si es tracta de dimensions extremes, no sempre ha de ser així. Les diferents partícules podrien estar en llocs diferents de l’espai dins de branques independents. El segrest podria ser molt útil per exemple per la ruptura de la supersimetria (partícules que trenquen la simetria quàntica explicada en l’apartat de teoria de cordes), perquè les masses de les partícules són diferents...

A través de l’estudi de la ruptura de la supersimetria, alguns científics han estudiat el segrest. Consisteix en segrestar les partícules que provoquen la ruptura d’aquest tipus de simetria. En aquest model, hi ha dos branques: una té les partícules del model estàndard i l’altre les partícules que formen la ruptura de la supersimetria. Les dues branques són tridimensionals pel que fa a l’espai i estan separades per una quarta dimensió espacial (cal afegir el temps com a cinquena dimensió).



Una brana és la nostra amb les partícules del model estàndard i l’altre conté les partícules que han trencat la supersimetria.

El principi d’anarquia defensa que en un nivell quàntic, tot el que pot passar passarà. Això suposa un problema ja que es produeixen interaccions entre partícules no desitjades. El model estàndard per solucionar el problema havia utilitzat sempre la simetria (no entrarem en més detalls), però com s’ha

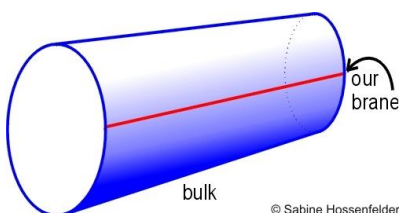
vist, també es podien evitar interaccions no desitjades a partir de l’aplicació del segon tipus de món brana. Quan les partícules estan en branques diferents poden interactuar entre elles però només amb una tercera partícula que pugui passar d’una brana a una altra i per tant, aquestes interaccions són molt dèbils.

Com s'ha explicat, en aquest model de món brana les partícules del model estàndard es troben en una i les que provoquen la ruptura a l'altre, però es necessita trobar la partícula intermediària que pugui *comunicar* la ruptura de la supersimetria a les partícules del model estàndard i pugui assignar la massa corresponent a les seves superparelles (trencadores de la supersimetria explicades en la supersimetria). El candidat perfecte és el gravitó. Per tant, la gravetat és la que comunica la ruptura de la supersimetria interaccionant amb les dues branques. Posteriorment s'han fet més estudis que possibiliten que aquesta partícula missatgera pugui ser també el bosó gauge i la seva superparella, el "gaugino", però no entrarem en detalls.

Abans d'explicar la tercera possibilitat de món brana, remarcarem que els mons brana encara no s'han pogut demostrar experimentalment. Però hi hauria alguna forma? Bé, si que hi és. Per dir-ho de forma literària, hi ha una empremta dactilar de la dimensió superior que podríem detectar amb acceleradors a altes energies: les partícules Kaluza-Klein (partícules KK), tot i que, un altre cop, no entrarem en detalls ja que queda fora dels nostres objectius d'estudi.

En aquesta tercera possibilitat, comentarem com les dimensions molt grans poden explicar la debilitat de la gravetat. Però, ¿com de grans poden ser les dimensions extremes enrotllades si les partícules del model estàndard estan confinades a una brana i no tenen llibertat de viatjar pel Bulk sense contradir els resultats experimentals? La resposta és increïble. Resulta que les dimensions extremes poden tenir la mida d'un mil·límetre.

En el model ADD (aquest tercer món brana anomenat així per les inicials dels físics que l'estudiaren), tal i com en models anteriors, les partícules del model estàndard estan confinades a una brana. Mentre que en l'anterior model del segrest hi havia una dimensió addicional que separava les dues branques, els models ADD tenen més d'una dimensió i aquestes estan enrotllades. A més a més, el model ADD conté una única brana on es troben les partícules del model estàndard. Però aquesta no acota l'espai sinó que està situada simplement dins les dimensions extremes enrotllades. Imaginem un cilindre i marquem en ell una línia recta.



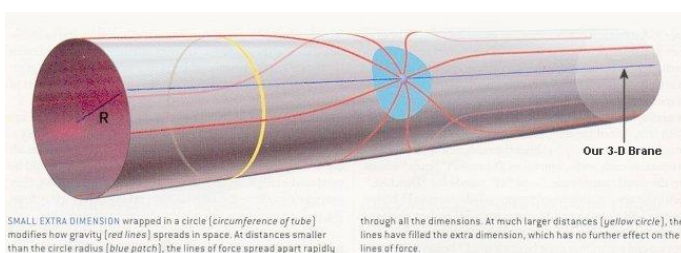
Segons el model ADD, vivim en una brana que coincideix amb la línia dibuixada al cilindre (que representa les dimensions extremes grans). Per tant, ja que la gravetat és l'única força capaç de sortir de la nostra brana, aquesta és l'única que experimenta les dimensions extremes. Per tant, dins la brana tot passaria de la mateixa manera que ens ho imaginem i veiem. Viuríem en un espai

tetradimensional (el temps també compta) però no percebríem les dimensions extres. Només la gravetat ho faria.

La conclusió dels físics va ser que les dimensions enrotllades podien ser molt grans, de fet enormes, ja que nosaltres estaríem solament en un sector d'elles i no les percebríem. El motiu és que la gravetat és molt dèbil i és molt difícil investigar-la experimentalment. Sabem com actua a distàncies grans, així que si la gravetat és la única força del Bulk que experimenta l'existència de dimensions enrotllades grans no contradiria els resultats experimentals. Quan es va formular la teoria, la llei de gravitació de Newton havia estat comprovada fins a escala d'un mil·límetre, per tant, les dimensions, de moment, podien ser d'un mil·límetre.

El problema de la jerarquia consisteix en la enorme diferència que hi ha entre la gravetat i les altres forces, en per què la gravetat és tan dèbil. Els físics del model ADD decidiren intentar solucionar el problema des de la gravetat i no des de les altres forces, tal i com havia estat intentant el model estàndard. Es varen adonar que les dimensions extres grans podien solucionar el problema. Els físics ADD defensaren que encara que la gravetat fos molt forta en dimensions superiors, el Bulk la *dilueix* i per tant, nosaltres la percebíem només dèbil. Dit d'una altra manera, el problema de jerarquia es podia solucionar en el model ADD mitjançant una relació entre la gravetat de dimensió superior i la gravetat de dimensió inferior, sempre i quan les dimensions extres siguin suficientment grans per diluir la gravetat. Aquesta relació ja havia aparegut en altre moments, com per exemple quan Horava i Witten van relacionar la gravetat de dimensió onze amb la de deu, però mai s'havia pensat que aquesta relació permetria solucionar el problema de jerarquia.

Imaginem per fer-ho més entenedor una mànega. Hi fem passar aigua i observem ràpidament com s'omple. Però un cop s'ha omplert l'amplada, només podrà omplir-se de llargada i aquest fet suposarà una pressió sobre les parets de la mànega. Si augmentem el radi de la mànega la pressió disminuirà. Això es pot relacionar amb la gravetat. De la mateixa manera que com més gran és l'àrea de la mànega, menys pressió hi ha, com més gran sigui l'àrea de les dimensions extres, més diluïda estarà la força gravitatòria.



La força gravitatòria es dilueix entre les dimensions extres grans.

Però com de grans han de ser les dimensions extres grans per tal de solucionar el problema de jerarquia? Depèn

del nombre de dimensions extres, ja que en funció d'aquest nombre, la seva àrea canvia. Actualment no se sap quantes n'hi ha. El que està clar és que hi ha (almenys segons la teoria M) 11 dimensions però no se sap quantes són enrotllades i quantes són grans. S'han fet estudis i ha quedat clar que si només n'hi hagués una hauria de ser extremadament gran i això no és possible. Però només que en fossin dues ja s'arriba a aquesta distància del mil·límetre i es podria solucionar el problema de la jerarquia. És per això que s'ha donat importància al mil·límetre.

Com s'ha pogut observar aquest model és prometedor ja que és a prop de poder ser comprovat experimentalment. Però encara queden models de mons brana per explicar, alguns dels més impressionants. Ara explicarem la quarta possibilitat estudiada.

En aquest quart món brana, hi ha dos branes que configuren una cinquena dimensió. De la mateixa manera que el primer i el segon cas, però amb diferències. Totes les partícules del model estàndard es troben a una de les dues membranes, i, com a l'altre model, la gravetat és la única força capaç de travessar la cinquena dimensió. Per tant, si no fos per la gravetat es podria considerar cada brana com a una brana tetradimensional (tres dimensions espacials que coneixem i una temporal) com l'univers en què vivim. Per tant, les partícules de la brana del model estàndard interactuarien només en quatre dimensions i les forces no gravitatòries també (ja que les seves cordes són obertes i estan *enganxades* a la brana: la brana les ha *atrapat*).

La gravetat és diferent, a causa de la peculiar característica que ja hem explicat del gravitó (és format per una corda tancada i per tant es pot moure entre branes), la gravetat actua en tot el Bulk (espai de dimensió superior) de dimensió cinc. Però això no significa que actui en tots els punts per igual. L'energia que hi ha a les branes i el Bulk corba l'espai-temps i això provoca grans diferències en el camp gravitatori. Això s'explica a les equacions d'Einstein que afirmen que una energia corba l'espai-temps ($E=mc^2$). No s'havia plantejat encara que l'energia del Bulk i les branes pogués corbar l'espai-temps, però la física Lisa Randall i el físic Raman Sundrum ho estudiaren. Després de resoldre les equacions d'Einstein en el context de les dues branes van descobrir que realment l'espai-temps es corba dràsticament.

Hi ha moltes formes d'imaginar-se un espai corbat: una esfera, la curvatura que hem vist en la teoria d'Einstein... però en aquest cas és diferent, en aquest cas és difícil imaginar-se'l en un context de tres dimensions (com el món que veiem). Aquest cas de curvatura de l'espai-temps forma part d'un espai-temps

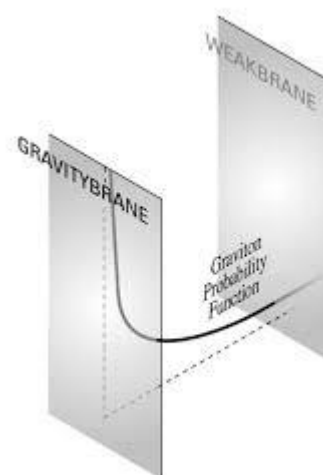
anomenat “espai anti De Sitter”, que té una curvatura negativa. Comentarem aquest tipus d’espai-temps més endavant.

Per imaginar aquest món brana, imaginarem una barra de pa. Posem per cas que com en els dos primers exemples, hi ha dues branques que fan d’extremes. En el cas del pa serien els crostons. Però, entre les dues branques, hi ha moltes altres branques paral·leles, com els diferents talls de pa. L’espai-temps corbat té la propietat que si nosaltres ens trobem, per exemple en un dels talls de pa del mig (una brana central), veuríem que aquesta brana és completament plana, no està corbada. Com pot ser això, si acabem de dir que es produeix una curvatura de l’espai-temps? Això és degut a la nostra condició de presoners en el còmic que hem comentat anteriorment. Ens trobem tancats en la brana de tres dimensions espacials i una temporal, no podem apreciar la curvatura de l’espai-temps, perquè es produeix en la quarta dimensió espacial (que nosaltres no podem percebre). Hem d’imaginar aquesta curvatura de dimensió espacial quatre (dimensió cinc si contem la dimensió temporal) com al conjunt de branques que formen la curvatura. Totes segueixen un factor de curvatura que els fa col·locar-se produint aquesta. És com si els talls de pa s’alienessin de més ample a menys formant una espècie de con o embut.

Una manera més senzilla d’il·lustrar aquesta curvatura és a través de la funció de probabilitat del gravitó (possibilitat de trobar-lo a un lloc o un altre). La intensitat de la gravetat va relacionada amb aquesta funció; com més gran és el valor de la funció en un punt (com més probabilitat de trobar-lo hi hagi en un punt) més interaccions farà el gravitó, i més intensa serà la gravetat.

En un espai pla, el valor de la funció de probabilitat del gravitó seria igual en tots els punts, és a dir, la gravetat seria igual a tot arreu. Però com que es troba en un espai corbat, el valor de la funció és alterada en cada punt. Cal recordar que aquesta es modifica al llarg de la cinquena dimensió i no al llarg de les quatre dimensions que nosaltres apreciem. Ara analitzarem la funció de probabilitat del gravitó al llarg del Bulk. Com es pot veure a la imatge, el seu valor decreix exponencialment a mesura que s’allunya de la primera brana, que anomenarem “Brana de la Gravetat”, i es dirigeix cap a la segona, que anomenarem “Brana Dèbil”.

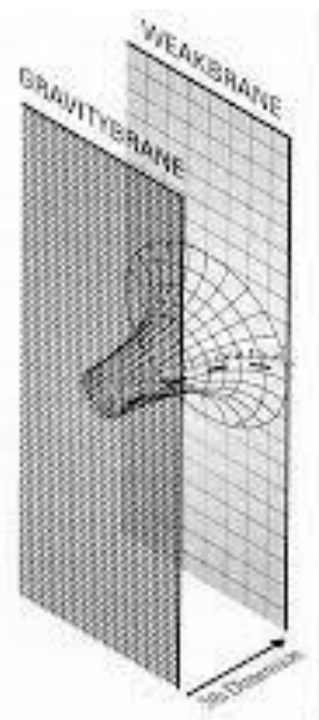
Com es veu a la imatge la possibilitat de trobar el gravitó decreix a mesura que ens allunyem de la Brana de la Gravetat.



Destacarem que les dues branques són diferents perquè la primera aporta energia positiva i la segona negativa, cosa que provoca aquesta variació en la probabilitat de trobar el gravitó en un lloc o a un altre. Però com s'interpreta aquesta funció? Simplement, el gravitó té molt poques possibilitats de trobar-se prop de la Brana Dèbil, i en canvi en té moltes de trobar-se prop de la Brana de la Gravetat. Per tant, la gravetat és forta prop de la Brana de la Gravetat i és dèbil prop de la Brana Dèbil.

En aquesta hipòtesi de món brana, nosaltres, és a dir, les partícules i forces del model estàndard, ens trobaríem confinats a la Brana Dèbil, on la probabilitat de trobar-hi un gravitó és extremadament petita. Això explicaria la debilitat de la gravetat (problema de jerarquia): en la nostra brana no interactuen molts gravitons, més aviat una quantitat diminuta. De fet, algú es podria preguntar quina distància mínima de separació entre les dues branques extrem (els dos costons de pa), per tal que s'aprecii aquesta solució al problema de jerarquia. Com que el decreixement de la funció de la gravetat (disminueix el valor de probabilitat) és exponencial, encara que estiguin molt juntes, la diferència entre la gravetat d'una i la de l'altre serà igualment enorme.

Aquesta explicació és útil per entendre l'espai-temps corbat. Segons la llei de gravitació de Newton, la massa i la gravetat van estretament relacionades. Però com hem explicat, a mesura que ens apropem a la Brana Dèbil, la gravetat disminueix. Per tant, com que la gravetat disminueix la massa també ho ha de fer. També ho fan l'espai i el temps, és a dir, s'expandeixen. Per tant, la massa, la posició, el temps i l'energia (recordem la relació entre massa i energia $E=mc^2$) vénen determinades per la distància en què es troben les dues branques. Com es veu a la imatge, la mida augmenta (i la massa i la energia disminueixen) a mesura que ens apropem a la Brana Dèbil a través de la cinquena dimensió.



Però hi ha una possibilitat sorprenent aplicant aquest món brana: la Brana Dèbil no té perquè ser el límit de l'univers (el costó del final). A través d'aquesta possibilitat s'obren les portes a una nou tipus de món brana que deriva d'aquest últim. El món brana que té una dimensió extra infinita.

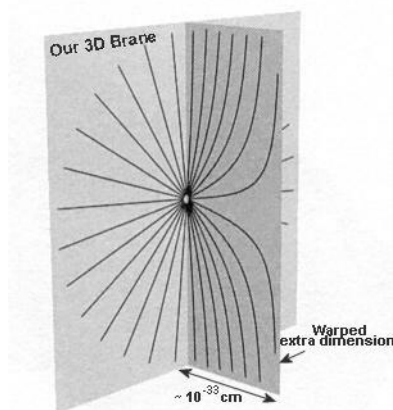
En aquest nou món brana, la geometria de l'espai-temps és molt semblant (curvatura), però és diferent en un aspecte: només té una brana confinant. Per

tant, no n'hi ha una segona i la cinquena dimensió (contant altre cop la temporal) és infinita.

Des que Theodor Kaluza va introduir la possibilitat de dimensions extres, sempre s'havia cregut que eren finites. Sempre s'havia pensat això perquè es creia que la gravetat en una dimensió extra infinita desapareixeria i que tots els models de gravitació estudiats caurien. Per tant no seria vàlida una dimensió extra d'aquest tipus. Però a través del món brana anteriorment explicat i certs estudis, es va demostrar que aquest raonament no sempre és correcte.

Com s'ha explicat, la probabilitat que té el gravitó d'estar a un lloc o un altre decreix exponencialment al allunyar-nos de la Brana de la Gravetat. En el cas d'una dimensió extra infinita, ja que la funció d'ona del gravitó cada vegada és més petita, cada vegada serà més difícil trobar-se'l i que hi actuï la gravetat. Per tant, es podria dir que el gravitó pot anar per tota la dimensió extra infinita però es troba acumulat en una regió petita que és la Brana de la Gravetat. És a dir, el lloc més probable de trobar el gravitó de tota la dimensió infinita és prop de la Brana de la Gravetat. La Funció de probabilitat del gravitó continua infinitament, però això no provoca un error com s'havia suposat. Es podria dir que la Brana de la Gravetat és l'aristocràcia de la dimensió extra infinita que acumula tots els diners (gravitons).

Com hem vist en les dimensions planes (la nostra) les línies de força es reparteixen equitativament, però en el cas de la geometria arquejada (cas d'aquest últim món brana), ho fan diferent. Perpendicularment a la brana de la gravetat s'estenen molt poc. Per tant, això continua explicant perquè només és efectiva la gravetat en un sector petit de l'espai-temps.



Les línies gravitatòries que són perpendicular a la Brana de la Gravetat només s'expandeixen a una petita distància, concretament a la longitud de Planck (10^{-33} m).

D'aquest fet els científics n'han anomenat "gravetat localitzada", ja que la funció d'ona del gravitó està localitzada prop de la Brana de la Gravetat.

En tots aquests exemples, hem estat parlant de branes, branes confinants i recordem que també n'hi poden haver entremig. Hi ha moltes possibilitats.

Cada brana atrapa unes partícules i unes forces, per això les propietats d'una brana o una altra poden ser diferents. Nosaltres ens trobem dins una brana. Però, dins les altres branques hi ha altres mons? La resposta és afirmativa, dins les altres branques hi podria haver algun món amb propietats físiques molt diferents. Alguns científics han anomenat a la totalitat de branques possibles el "Multivers". Encara que sembli que introduïm un nou concepte, ja hem estat parlant d'aquest "Multivers" i d'algunes de les seves formes possibles durant aquest últim apartat.

2.7. El multivers

Davant dels mons brana i la possibilitat d'altres branes amb altres mons s'obre la possibilitat de trobar grans quantitats d'altres *universos* que poden tenir també forces diferents; només la gravetat en comú amb la nostra brana. S'obre un gran nombre de possibilitats. Cal fer notar que les branes d'aquest espai superior que hem anomenat Bulk, poden moure's, interactuar, creuar-se, xocar, i fins i tot poden aparèixer del no res, solament amb energia. Hi ha moltes possibilitats de branes, en aquest espai de dimensió extra infinita no és difícil d'imaginar l'enorme possibilitat de branes. I cada una d'aquestes branes podria tenir propietats diferents; si ens deixem portar per la probabilitat, segurament existeix molta quantitat d'universos *morts* en què la matèria és inestable. Però també podem trobar-ne de propietats semblants al nostre.

Un punt a favor del concepte de multivers és el següent; si analitzem les propietats del nostre univers, observem que aquestes estan *ajustades* al nostre gust. Per exemple, la càrrega de l'electró, la gravetat, la quantitat d'energia fosca (energia o matèria que produeix l'expansió de l'espai-temps), les forces... Si es canviés ni que fos un decimal d'aquestes propietats el nostre univers podria ser completament diferent. Si es canviés en una milionèsima la força total de l'energia fosca, el nostre univers, la nostra brana, s'expandiria ràpidament sense deixar possibilitat ni a l'existència de partícules. Llavors, perquè totes aquestes característiques estan tant ben ajustades? Qui les ha posat tal com són? Hi ha gent que pot pensar que és una voluntat divina però també s'ha de tenir en compte la probabilitat. Davant d'un multivers on constantment poden estar apareixent noves branes amb un nou món, la possibilitat que alguna d'elles tingui el grau necessari d'energia fosca existeix. Per tant, es podria dir que vivim a la brana o univers amb aquestes característiques per *sort*. Pot semblar estrany, però el mateix passa amb la vida. Ens podríem preguntar: com és que vivim? Com és que les característiques són les perfectes per la vida? Perquè nosaltres? Simplement la resposta és que hem tingut sort. Si no l'haguéssim tingut, no hauríem estat allà per decidir si n'havíem tingut o no.

La segona possibilitat de multivers va relacionada amb la teoria quàntica. Recordem que hem parlat de la funció d'ona de Schrödinger, les possibilitats d'una partícula d'estar en un lloc o a un altre. Per tal d'introduir els universos quàntics, parlarem sobre el famosíssim experiment del gat de Schrödinger.

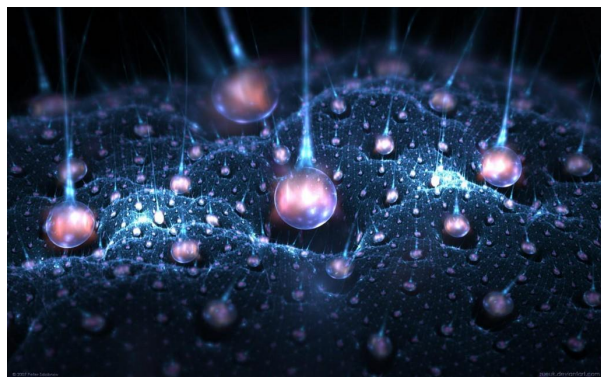
Imaginem un gat dins una capsa tancada. A dins la capsa hi ha una pistola apuntant el gat que té el gallet connectat a un nucli d'urani. Si el nucli es desintegra, la pistola matarà el gat. Si no ho fa, no dispararà i no matarà el gat.

Com que el nucli d'urani té una possibilitat de desintegrar-se i una de no desintegrar-se, no sabem si el gat és mort o viu. Com que de moment tots dos resultats són una possibilitat, poden existir simultàniament (recordem l'experiment de Feynman) i, per tant, el gat serà viu i mort alhora. Tot i així, si mesurem el resultat, és a dir, si mirem dins la caixa, haurem fet el mateix que passava quan miràvem per quina de les dues escletxes havia passat l'electró: haurem alterat l'experiment i la funció d'ona col·lapsarà en partícula. Per tant, només donarà un resultat. Sembla absurd, si no mesurem el resultat totes les possibilitats existeixen simultàniament.

Els físics intentaren donar una altra explicació a aquest resultat. Aquesta explicació afirma que l'univers sempre es desdobra per la meitat. Per tant, cada vegada hi ha més ramificacions d'universos paral·lels on els fets són diferents. Tot univers que pot existir existeix, els més estranys són menys probables però existeixen. Els físics promotors de la idea afirmen que la funció d'ona va seguint el seu curs desdoblant-se, sense col·lapsar, la única cosa que fa és desdoblant-se.

La teoria últimament ha aportat un concepte que ha esdevingut molt popular anomenat la "decoherència". Aquest principi afirma que tots aquest universos són possibilitats, però que la nostra funció d'ona s'ha desintonitzat d'ells. De la mateixa manera que la ràdio: a la sala d'estar només hi ha una emissora encesa, però les ones de les altres segueixen arribant. Per tant, hi hauria la possibilitat que ben a prop d'on ens trobem ara mateix hi hagi altres universos possibles dels quals ens hem desintonitzat i amb els quals ja no interaccionem. Pot semblar molt fantasiós. Realment els físics en el seu moment també ho cregueren, però últimament la teoria s'ha tornat molt popular ja que s'ha intentat aplicar el mateix principi d'incertesa de Heisenberg al mateix univers. És a dir, s'ha intentat explicar l'univers a través dels efectes quàntics estudiats. Pot semblar encara més estúpid. Com podem aplicar els principis quàntics a l'univers mateix (que és immens) si ni tan sols els podem aplicar a una persona sola? En els seus principis, però, l'univers va arribar a ser més petit que un electró, per tant, aquesta mida sí que permet l'aplicació de la teoria quàntica. Aquí ve el nom de "cosmologia quàntica". Aquests estudis porten inevitablement a la teoria del multivers. Es podria dir que l'univers existeix en molts estats paral·lels definits per la "funció d'ona de l'univers".

Segons la cosmologia quàntica,



l'univers va sorgir com una de les fluctuacions quàntiques (que ja hem vist anteriorment) del buit, és a dir, com a una petita bombolla en l'espuma quàntica. Però va més enllà: afirma que l'espuma quàntica podria posseir moltíssims "universos bebè" (aquestes minúscules bombolles) que apareixen i seguidament tornen a col·lapsar. El nostre, però no ho va fer pel seguit de característiques aleatòries i afortunades que va tenir.

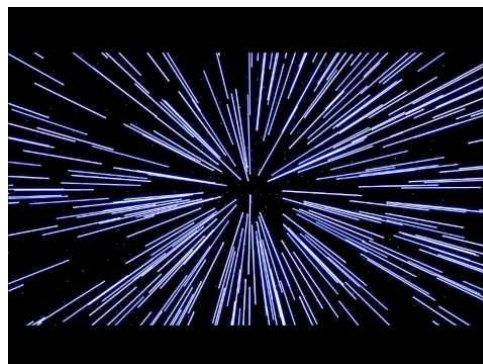
Però podríem aconseguir un d'aquests universos bebè en el laboratori? Què passaria si es col·loquessin quantitats extremes d'energia en el laboratori (condicions inicials del Big Bang)? Teòricament el que suposaria seria la formació d'un forat negre a través del col·lapse espacio-temporal, però Alan Guth i Andrei Linde donaren una altra possible resposta amb la publicació de la seva teoria de l' "univers inflacionari". Segons aquesta idea, el Big Bang va començar amb una explosió "turbo carregada" molt més ràpida del que creiem. En aquesta teoria s'indica que al principi del temps hi havia minúscules bombolles d'espai temps i que una d'elles es va expandir enormement.

Els científics van descobrir que si s'acumulava molta energia en un punt determinat es creaven aquestes petites bombolles d'espai-temps i que si eren prou grans es podien inflar originant un nou univers. Sembla una idea molt extravagant ja que des d'aquesta perspectiva qualsevol es podria considerar un Déu creant un nou univers. Però no tot és tan bonic com sembla. Per aconseguir una quantitat suficient d'energia es necessitaria que la nostra civilització hagués avançant extremadament. Ara mateix no disposem de la suficient energia per crear o comprovar si es pot crear un univers bebè que generi un nou univers sencer.

2.8. Impossible?

2.8.1. Viatjar més ràpid que la llum

“Ens ataquen! Ràpid saltem al hiperespai!” Una frase habitual pronunciada per Hans Solo a *Star Wars*, que normalment va seguida d’una imatge concreta: totes les estrelles s’ajunten al mig de la pantalla, allargant-se. Viatjar més ràpid que la velocitat de la llum, impossible? Podria ser-ho o no?



Segons Einstein, com hem explicat, no es pot superar aquest límit de la naturalesa. Però potser no és del tot veritat...

Com hem explicat, segons la relativitat especial d’Einstein, cap informació pot superar la velocitat de la llum. Sembla que sigui una trampa, una presó de la qual no podem escapar. Si no podem viatjar més ràpid que la velocitat de la llum és difícil poder arribar a les estrelles més llunyanes. Per això molts científics han intentat posar exemples on hi ha objectes que superen la velocitat de la llum, però han estat inútils. Tot i així, la idea més prometedora surt de la mateixa relativitat general d’Einstein: l’espai-temps és un teixit que es pot estirar i contreure, i en ocasions pot estirar-se (expandir-se) més ràpid que la llum. No és tan rar com sembla ja que la simple expansió de l’espai buit no porta informació. Però aquesta idea és important per la possibilitat de viatjar més ràpid que la llum.

Hi ha dos idees que podrien proporcionar-nos la salvació tant buscada pels científics. La primera és estirar l’espai i la segona té a veure amb els forats de cuc.

Centrem-nos primer en estirar l’espai. La millor manera de fer-ho és la propulsió Alcubierre. Aquesta propulsió segueix la relativitat general d’Einstein, i, de fet, és molt semblant al mètode utilitzat a les pel·lícules de *Star Trek*.

En la propulsió Alcubierre el pilot d’una suposada nau estel·lar estaria assegut dins una bombolla anomenada bombolla de distorsió (espai central pla de la imatge de la pàgina següent). La nau, que també seria a dins, no notaria la velocitat, de fet pensaria que està en repòs. Però fora de la bombolla, l’espai patiria profundes distorsions: l’espai-temps de davant la bombolla es comprimiria. De fet cal remarcar que *Star Trek*, possiblement, quan els personatges parlen sobre propulsió per distorsió, va inspirar els científics a

formular aquesta proposta. Amb aquesta propulsió, la imatge de les estrelles ajuntant-se en un sol punt no sembla tan irreal, perquè és el que s'ha dit que es veuria des de la bombolla de distorsió. De fet, estar dins una bombolla de distorsió seria com fer surf sobre una onada, amb la diferència que en comptes d'una onada, seria l'espai-temps distorsionat.

A la imatge es veu la propulsió Alcubierre. L'espai distorsionat i la bombolla de distorsió també hi són presents.

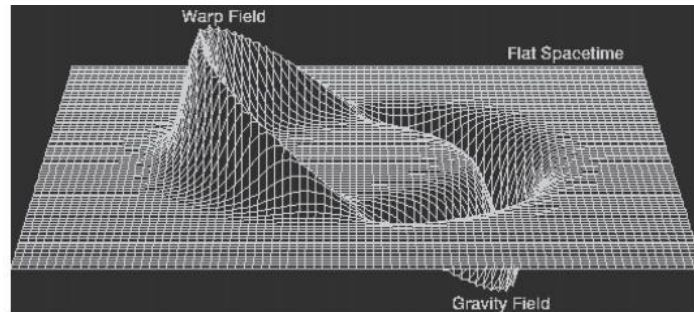


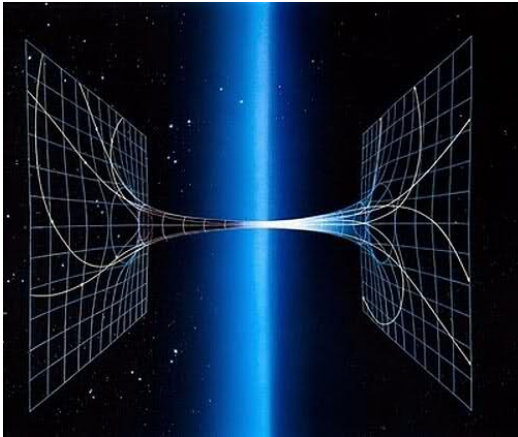
Fig. 3 Alcubierre warp drive metric.

La clau per fer possible aquest tipus de propulsió és l'energia necessària. Primer es començaria distorsionant l'espai amb energia positiva, però s'ha estudiat que també es necessitaria energia negativa. Pot semblar absurd, què significa energia negativa? La veritat és que no ho és d'absurd. L'energia negativa existeix i s'ha mesurat al laboratori. El 1933 Hendrik Casimir va afirmar seguint la teoria quàntica que dos plaques metàl·liques paral·leles descarregades s'atraurien mútuament. Normalment les plaques estan en repòs però com hem vist en la mecànica quàntica, l'espai-temps no. Poden aparèixer les anomenades "partícules virtuals" (recordem que podia sorgir un electró i la seva antipartícula de l'espai buit a causa de les fluctuacions quàntiques d'energia). Durant aquests períodes de temps en què hi han les partícules virtuals, Casimir va descobrir que aquestes creen una pressió neta en el buit que tendeix a ajuntar les plaques. A mesura que s'apropen podem extreure aquesta energia que ha sorgit del buit i que per tant, és negativa. El problema és que l'efecte Casimir és molt petit i pot produir quantitats molt petites d'energia negativa.

A part de l'estirament de l'espai, una altra possibilitat és fent servir els forats de cuc. Com s'ha explicat amb els forats negres, Schwarzschild va proposar l'existència d'un objecte puntual amb gran massa que generés un forat negre. Es va descobrir que al centre del forat negre s'hi amagava un secret molt important: si s'arribava fins al centre, es podria sortir per l'altre costat en un altre univers. Aquest fet es va anomenar pont d'Einstein-Rosen, però ara el coneixem com a forat de cuc. Einstein confiava que encara que això fos així, un forat negre no es podria formar com a conseqüències naturals.

Però aquesta idea va canviar quan Oppenheimer va demostrar que els forats negres es podien causar per causes naturals. Una estrella podia col·lapsar, és a dir, implosionar sobre el seu propi pes, sobre la seva pròpia gravetat. El 1963,

Roy Kerr va afirmar que, de la mateixa manera que un patinador gira més ràpid quan es contrau, els forats negres haurien de girar a una velocitat increïble. Kerr va suposar que un forat negre en rotació no col·lapsaria en un objecte puntual com havia dit Schwarzschild, sinó que ho faria en un anell en rotació. Si algú xoqués amb aquest anell moriria, però si es travessés podria creuar el pont Einstein-Rosen i passar a un altre univers. Però aquest plantejament té un inconvenient: aquest forat de cuc és impracticable. No es pot retornar d'un viatge així ja que no es pot creuar l'horitzó de successos d'un forat negre.



Imatge hipotètica de com podria ser aquest tipus de forat de cuc que uneix diferents universos

Però el 1988 Kip Thorne i alguns companys seus van trobar un exemple de forat de cuc practicable. Normalment la gravetat estrangulava la boca del forat de cuc i no s'hi podria viatjar a través. Però amb energia negativa es podria mantenir la boca oberta el temps suficient per creuar-lo. Tot i així, hi ha certs problemes en els forats de cuc. L'energia negativa necessària per creuar-los és enorme i quasi impossible d'aconseguir. No sabem si són estables o no, i a més a més poden generar grans quantitats de problemes.

Es diu que en l'espuma quàntica hi podria haver una gran quantitat d'universos bebè i que amb la suficient energia podríem ampliar-los i crear un forat de cuc per tal d'entrar-hi. Tot i així, com s'ha dit anteriorment aquesta energia és extremadament elevada i ens deixa, per ara, al marge d'aquesta possibilitat.

2.8.2. Viatges en el temps

Què és el temps? La veritat és que és una de les grans incògnites. Tots i cada un de nosaltres ens veiem obligats a viatjar-hi a través, a deixar-nos dur per aquest poderós riu que desemboca a l'infinit, a l'oblit. No és gaire reconfortant pensar en el temps, no ens dóna pausa, i, en certa manera, tot el que fem caurà a l'oblit a mesura que el temps passa. Per això molts autors de ciència ficció, científics i altres persones han teoritzat sobre anar al passat o al futur, sobre viatges en el temps. Està clar que ho han fet de formes diferents, amb històries, teories o pensaments, però al cap i a la fi ve a ser el mateix: una hipòtesi per aconseguir el gran desig de la humanitat. Però quines teories científiques hi ha sobre el viatge en el temps? És possible?

Està clar que des de la perspectiva de Newton és impossible. El temps és com una fletxa que un cop llançada ja no pot retrocedir. Un segon a la terra és igual a un segon a l'univers. Però tal i com s'ha explicat, segons Einstein el temps és relatiu, per tant, pot ser que un segon a la terra siguin 2 anys en un punt concret de l'univers. Segons la relativitat especial, si un objecte es mou proper a la velocitat de la llum, el temps passarà més lent. Molts autors han teoritzat sobre viatjar més ràpid que la llum. Han afirmat que si es viatja més ràpid que la llum es pot viatjar al passat ja que el temps per nosaltres passa al revés. Però això no és possible. Un cos és una informació i aquest no pot viatjar més ràpid que la velocitat de la llum. Aquest últim exemple s'aplica a la història *Superman on*, quan Superman sap que Lois Lane ha mort, es posa a donar voltes a la terra més ràpid que la llum i viatja al passat per evitar la mort de la seva estimada. Evidentment això no és possible perquè un cos no pot superar aquest límit de la naturalesa, i si ho fes, com en el cas explicat de la bombolla de distorsió, no se li aplicaria cap alteració temporal (recordem que la bombolla de distorsió estava *aïllada* i no patia les alteracions espacials i temporals que s'aplicaven a l'espai que la rodejaven). Per tant, aquesta forma de viatge en el temps és impossible. Tot i així, el viatge al futur usant la relativitat especial i general és possible. Si viatgem a velocitats properes a la de la llum o si ens movem a prop de l'horitzó de successos d'un forat negre, el que per nosaltres hauran estat 5 hores potser a la terra hauran estat 50 anys. Però, i què hi ha sobre viatjar al passat? És possible? Hem vist que no ho podem fer viatjant més ràpid que la velocitat de la llum, però hi ha altres formes?

Per molt que els físics ho han intentat, no s'ha trobat cap llei física que faci impossible el viatge en el temps. De fet, les equacions d'Einstein permeten gran quantitat de màquines del temps. Per exemple, hi ha les anomenades "corbes tancades de tipus temps", corbes que si les seguíssim ens portarien al lloc d'inici.

La primera màquina del temps requereix un forat de cuc. Hi ha molts aspectes de la teoria de la relativitat general en què un forat de cuc pot unir dos espais diferents, i com que espai i temps estan relacionats, també temps diferents. Però com s'ha dit, entrar en un forat de cuc és comprar un tiquet només d'anada. No es podria sortir del forat negre.

Hi ha altres tipus de viatges en el temps proposats però requereixen elements improbables com ara un univers rotatori, cilindres infinits, cordes còsmiques (gegants). Tot i així el més prometedori és el viatge que inclou un forat de cuc practicable. Aquest tipus de forat de cuc té la clau en l'energia negativa. Una màquina del temps que fes servir un forat de cuc practicable tindria dos cambres. Cada una d'aquestes consistiria en dos esferes concèntriques que

estarien separades una distància minúscula. Fent implosionar l'esfera exterior, les dos crearien un efecte Casimir formant energia negativa. Ara suposem que es pot aconseguir unir les dues cambres amb un forat de cuc (segurament ampliat de l'espuma quàntica, tal i com hem explicat) mitjançant l'energia negativa. Un cop unides les dues cambres, se n'envia una a l'espai a altes velocitats (o se la fa girar a altes velocitats per cert tipus de circuit). A la cambra que es mou a una velocitat elevadíssima el temps passaria més lent que a la que s'ha quedat quieta. Per tant, a través del forat de cuc, si entréssim dins la que s'ha quedat immòbil, sortiríem a l'altre que té un temps anterior. Per tant hauríem pogut viatjar al passat. Tot i així només podríem viatjar al passat fins al moment en què haguem activat la màquina del temps. Abans d'això el temps de les dues cambres aniria al mateix ritme.

Viatjar en el temps planteja certs enigmes i problemes. De tot tipus, tant ètics i morals, com socials o com tècnics. Però potser un dels problemes més espinosos són les paradoxes lògiques. Per exemple, què passaria si viatgéssim al passat i matéssim al nostre jo passat abans que construís la màquina? Què passaria si viatgéssim al passat i matéssim el nostre pare? I si impedíssim que els nostres pares es coneguessin? Instantàniament hi ha moltíssimes preguntes d'aquest tipus que vénen a la ment, són paradoxes. Hi ha tres maneres de resoldre-les.

En primer lloc, potser el viatger simplement repeteix la història del passat. Un no té lliure albir. Si, per exemple, un viatja al passat per ensenyar-se a ell mateix com fe la màquina del temps, estava escrit que passaria així i no hi podria fer res.

La segona opció consisteix en què al viatger no se li permet fer una paradoxa temporal. Hi hauria alguna cosa que li ho impediria. D'aquesta opció se'n diu el principi d'autoconsistència de Novikov, on es defensa que una paradoxa temporal és impossible. Posem un exemple, una bola està en una taula de billar. Imaginem que els dos forats dels extrems de la taula són dos punts connectats per un forat de cuc i un porta al passat. Si la pilota entra per un forat, sortirà per l'altre i es colpejarà a ella mateixa abans d'haver entrat desviant la seva trajectòria. Aquí es produiria una paradoxa. Però el principi d'autoconsistència de Novikov diu que l'única opció possible per la bola és que es colpegi a ella mateixa de la forma precisa per tal que entri al forat i viatgi al passat. Les altres opcions són impossibles, no són coherents. Per tant, el fet de fer el viatge en el temps és el que provoca el motiu de fer el viatge.



La bola es colpeja a ella mateixa de l'única forma possible: la que li fa entrar al forat de cuc i viatjar al passat per fer-se entrar a ella de mateixa del passat al forat.

La tercera opció és que l'univers es desdobra en dos universos. En cada línia temporal hi passen els diferents fets. Per tant, si viatgem al passat i matem els nostres pares, les persones que hem matat són els nostres pares però d'un altre univers, i els nostres pares reals segueixen vius en un altre univers. Per tant, s'ha obert una línia temporal on simplement nosaltres no existim, però hi som perquè venim d'un altre univers.

Sobre la qüestió de poder canviar o no el passat no se'n sap res exactament però se n'han fet nombroses especulacions en la ciència ficció. De moment no podem descartar cap teoria ni tampoc acceptar-ne cap, però potser en un futur serem capaços de crear una màquina del temps i viatjar al passat. Llavors podrem descobrir quina d'aquestes teories és la que realment s'aplica en un viatge temporal: una qüestió que ningú en aquest planeta sap respondre, que ningú ha viscut en primera persona... O sí?

3. Introducció a l'anàlisi de pel·lícules

Ara que ja hem explicat tota la teoria que ens interessa pel que respecta a aquest treball, cal realitzar la part pràctica, és a dir, una anàlisi de pel·lícules. Però no una anàlisi qualsevol de les primeres pel·lícules que ens han passat per les mans, sinó l'anàlisi d'una selecció d'un total de deu pel·lícules triada en funció d'una o altra de les diferents teories explicades.

En aquesta breu introducció a la part pràctica, justificarem el mètode utilitzat i el motiu pel qual hem escollit aquestes deu pel·lícules i no unes altres. Cada pel·lícula és analitzada en una fitxa, que consta de diverses parts. Al principi d'una fitxa sempre posarem el títol de la pel·lícula, el director, el guionista, l'any d'estrena, la nacionalitat, els actors... En fi, una fitxa tècnica. Seguidament explicarem l'argument de la pel·lícula i el resum de la trama. Aquest resum servirà per fer-nos una noció dels fets que passen a la pel·lícula, però en alguns casos hem resumit amb menys detall dirigint-nos directament al punt de la trama que interessa al treball. Un cop hem resumit l'argument i la trama, abordem les teories científiques. Primer anomenem les teories que se citen i les que hi són presents però no se citen, llavors relacionem els fets que passen a la trama amb aquestes teories. Finalment, fem una avaluació de l'ús de les teories científiques anomenant possibles errors, donant-los solucions, elogiant la complexitat de la trama, donant possibles hipòtesis de sentit sobre la trama... En fi, una valoració de la relació entre ficció i ciència, una relació entre els interessos cinematogràfics i els interessos científics.

La llista està constituïda per les següents pel·lícules i pels següents motius; *The Planet of the Apes* (la relativitat especial d'Einstein); *Donnie Darko* (forats de cuc, universos paral·lels i la creació d'un món fantàstic a través de la ciència); *Interstellar* (ús de teories avançades com ara els món brana i el Bulk); *Star Trek* (viatge en el temps a través del forat de cuc al centre d'un forat negre i per la introducció del multivers dins una de les típiques pel·lícules d'acció de l'espai exterior); *Mr. Nobody* (ús del multivers i les vides possibles, i per la possible comprensió de la pel·lícula a través de la mecànica quàntica); *Edge of tomorrow* (suposada introducció d'una segona dimensió temporal o de la teoria del multivers repetint un dia una vegada i una altra); *Source Code* (ús de la teoria del multivers a través d'enviar la ment al passat i pel ple ús que fa del multivers quàntic); *Primer* (complexitat d'un viatge en el temps que usa el multivers); *Predestination* (per com de complicat pot ser un viatge en el temps que usa el principi d'autoconsistència de Novikov); i finalment, *Looper* (desinterès en seguir estrictament les teories científiques i apostar per l'interès cinematogràfic de la pel·lícula). Aquesta és la llista seleccionada. Cal dir que no inclou totes les

pel·lícules de ciència-ficció que segueixen cada un dels models, només hem volgut trobar casos per analitzar cada un dels aspectes científics, per poc corrents que siguin els films. Tot i així, si el que es vol és conèixer els casos més representatius i coneguts, vegeu el llistat de pel·lícules que s'adjunta al final del treball.

3.1. Planet of the Apes

*"You must remember this
A kiss is just a kiss, a sigh is just a
sigh.*

*The fundamental things apply
As time goes by."*

*As time goes by (Casablanca),
Herman Hupfeld*

Títol: Planet of the Apes

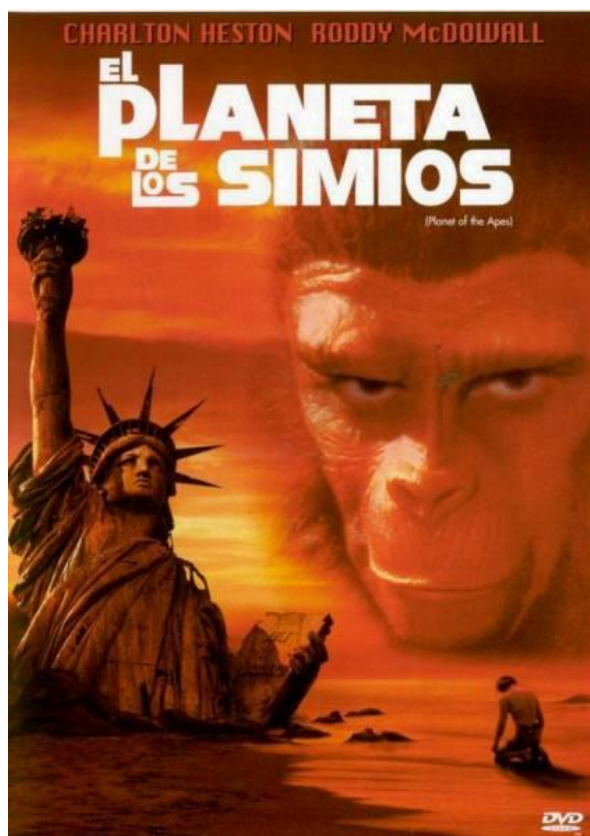
Director: Franklin J. Schaffner

Guionista: Michael Wilson i Rod
Serling

Actors: Charlton Heston, Roddy
McDowall

Nacionalitat: Estats Units

Any d'estrena: 1968



Argument:

Un grup de quatre astronautes és enviat viatjant a la velocitat de la llum a l'univers a la recerca d'un nou planeta habitable. La nau aterra a un planeta amb atmosfera i, pel que descobreixen, habitable. Té formes de vida semblants a les de la terra i fins i tot té humans, en definitiva, un planeta estranyament semblant a la terra, però amb una excepció: és dominat pels simis. Quines sorpreses els amaga el futur? Pot ser que no siguin tant lluny com es pensen de casa seva?

Resum de la trama:

En aterrar al planeta, s'adonen que un dels quatre astronautes ha mort durant el viatge a causa d'un mal tancament de la càpsula on havien d'estar durant 18 mesos. Els altres tres desembarquen de la nau i caminen pel planeta sense veure cap animal, només plantes. Al cap d'unes hores de caminar descobreixen un grup d'humans que viuen en una vall. Intenten parlar i comunicar-se amb ells però aquests ni els entenen ni saben parlar. Tot sembla molt tranquil quan, de cop, apareix un grup de simis muntats a cavall amb escopetes que disparen contra els humans: un espectacle grotesc, és com si els cassin. Durant aquesta caça macabra, un dels astronautes és abatut per un tret i l'astronauta Taylor

(Charlton Heston) és ferit al coll i capturat. Els simis el porten lligat al seu poblat on el tanquen en una gàbia. El recinte en què es troba s'utilitza com a laboratori per l'estudi i experimentació amb humans. Durant tota la pel·lícula el comportament dels simis envers els humans és de superioritat, com si estiguessin tractant animals i l'experiència de Taylor al laboratori és pertorbadora: ell mateix és un experiment.

L'astronauta Taylor no pot parlar a causa de la ferida al coll, tot i així intenta demostrar als simis que és intel·ligent i civilitzat. Finalment, juntament amb una parella de simis científics fugen del poblat buscant cert jaciment on sembla que s'hi amaguen secrets que els alts càrrecs dels simis no volen que siguin descoberts. Allí descobreixen restes d'una espècie intel·ligent anterior als simis, amb objectes de tecnologia avançada que els simis desconeixen.

Finalment l'astronauta Taylor es separa dels simis per vagar en aquell món desconegut i descobreix mig enterrats a la sorra de la platja les restes de l'estàtua de la llibertat, fet que el porta a la desesperació i abatut cau de genolls a terra.

Com a conclusió es podria dir que ha tornat a la terra però, a causa de la relativitat, a una època futura on els humans han perdut l'hegemonia, tots els coneixements s'han perdut i els simis tornen a començar la civilització de zero.

Teories científiques que se citen:

Se cita la teoria de la relativitat, encara que se li atribueixi a un personatge fictici extret de la novel·la original anomenat Dr. Otto Hasslein.

Teories científiques que no se citen però són presents: -

Relació entre les teories científiques i la trama:

La nau on viatgen els astronautes viatja a la velocitat de la llum durant 18 mesos, per tant, segons la relativitat d'Einstein, al viatjar a velocitats properes a la velocitat de la llum, el temps a la nau passa més lentament que a la terra. De manera que, pel que a la nau són 18 mesos, se suposa que a la terra són 2031 anys. Aquest fet justifica que quan els protagonistes retornen a la terra, els humans ja no estiguin al control i s'hagin convertit en una espècie que no sap parlar dominada pels simis.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Es pot observar que en la pel·lícula es segueix la teoria de la relativitat d'Einstein ja que el temps passat a la nau és menys que el que ha passat a la terra, és a dir, ha passat més lent. Tot i així, segons els estudis d'Einstein i Maxwell, no es pot

superar la velocitat de la llum. Per tant, hi ha un petit error que fa referència a aquest fet. Si intentéssim resoldre l'equació d'Einstein referent al temps, ens adonaríem que l'equació no té solució. Aquest fet és a causa del que defensa la relativitat especial. Com que el moviment en l'espai és producte de la quantitat de la desviació del seu moviment pel temps, hi ha un màxim de velocitat en l'espai que és la velocitat de la llum. Quan es viatja a aquest màxim tota la velocitat en què viatja la nau a través del temps, s'ha desviat per moure's a la velocitat de la llum a través de l'espai. Per tant, la nau ja no es mouria en el temps i com a conseqüència, si viatgessin realment a la velocitat de la llum el temps transcorregut a la nau seria nul.

Si relacionem aquest error amb la pel·lícula, es donaria el cas que la companya que mor per haver estat mal tancada la seva càpsula no hauria mort i, en realitat, no haurien ni calgut les càpsules.

Aquest petit error es podria arreglar si en comptes de viatjar a la velocitat de la llum, la nau viatgés a una velocitat molt propera a la de la llum però sense igualar-la. La velocitat correcta si ens regim per les dades que dona la pel·lícula seria uns 299792378,5 m/s. (Vegeu càlculs adjunts).

Malgrat aquesta petita errada, és remarcable que la pel·lícula és del 1968 i que dona suport a la teoria de la relativitat seguint les equacions d'Einstein (deixant de banda l'error comès al considerar que si es viatja a la velocitat de la llum el temps passa, és a dir que l'objecte es mou a certa velocitat en el temps). Aquest fet corrobora que la pel·lícula segueix (o intenta seguir) la teoria de la relativitat especial d'Einstein.

Pel que fa al fet que la nau després de viatjar 18 mesos a la velocitat de la llum, torni a la terra no se'n fa cap explicació (almenys a la pel·lícula) de manera que pot portar a pensar que l'univers és rodó o esfèric com la terra i que si seguim avançant podrem arribar al mateix lloc (cosa que suposaria un error ja que, per molt que es doni aquest fet, viatjant a una velocitat propera a la de la llum, només durant 18 mesos, no seria suficient per arribar altre cop a la terra), o també pot deixar a intuir un error comès pels llançadors de la nau i que aquesta tracés una trajectòria destinada a tornar a la terra. En teories posteriors s'ha comentat la possibilitat d'aquesta opció tot i que al 1968 encara no se'n tenia coneixença.

Operacions:

El temps passat a la terra és de 2031 anys, és a dir 64049616000 segons. El temps passat a la nau pels astronautes és de 18 mesos, és a dir, 46656000

segons. Si s'aplica l'equació d'Einstein que fa referència al temps per buscar la velocitat de la nau:

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

On t' és el temps transcorregut a la terra, t és el temps transcorregut a la nau, v és la velocitat que porta la nau i c és la velocitat de la llum. Tenint en compte que ja sabem els dos temps i la velocitat de la llum (299792458 m/s), si aïllem la velocitat de la nau en l'equació, podrem obtenir la velocitat adient que hauria de portar la nau. Al fer els càlculs, la velocitat sortirà de 299792378,5 m/s.

3.2. Donnie Darko

"We are not to tell nature what she's gotta be... She's always got better imagination than we have."

Sir Douglas Robb

Títol: Donnie Darko

Director: Richard Kelly

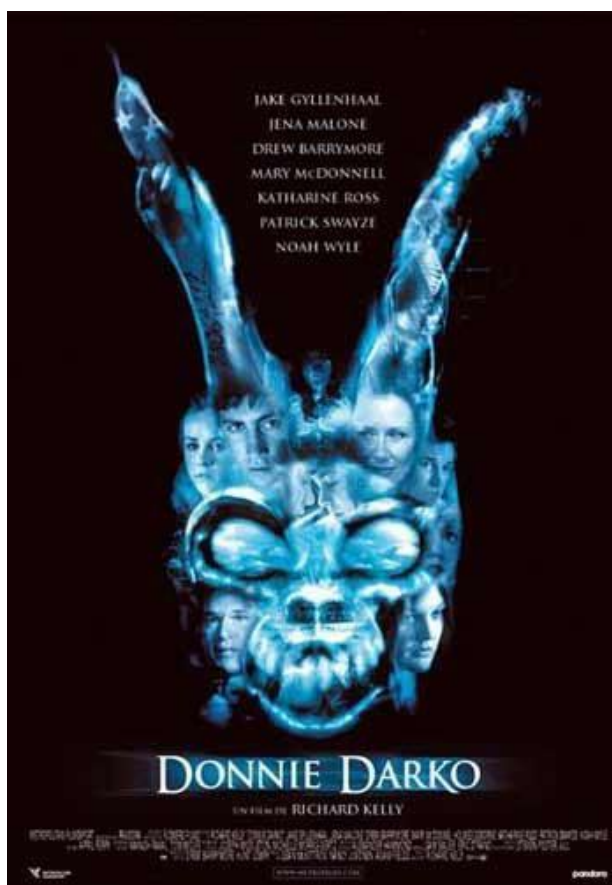
Guionista: Richard Kelly

Actors: Jake Gyllenhaal, Jena Malone, Drew Barrymore, Patrick Swayze

Nacionalitat: Estats Units

Any d'estrena: 2001

Argument:



Donnie Darko és un adolescent estrany, va al psicòleg i és somnàmbul. Una nit que, mentre somiava, ha sortit de casa, una turbina d'avió cau sobre la seva habitació. Des d'aquell moment Donnie té fortes al·lucinacions que li permeten descobrir un món totalment sorprenent.

Resum de la trama:

Donnie es desperta a una muntanya. Hi ha arribat mentre dormia, somriu i torna a casa seva. Es presenta la vida de la seva família i els comportaments dels seus membres. Donnie és rebel i té problemes psicològics. Durant la següent nit, mentre dorm, una veu el desperta i el crida, ell segueix la veu i torna a sortir de casa somnàmbul. A l'altra banda del carrer veu una silueta estranya disfressada de conill. Aquesta li diu que el món s'acabarà d'aquí vint-i-vuit dies. Quan es desperta, està en un camp de golf, torna a casa i s'hi troba els bombers i la policia. Una turbina d'avió de procedència desconeguda ha caigut sobre la seva habitació: si hagués estat dormint allí, hauria mort. Des d'aquell moment, pateix fortes al·lucinacions on veu al conill (Frank) i li parla. Aquella mateixa nit, Frank

el desperta (en somnis) i el fa anar a l'escola. Fa que hi provoqui una inundació i clavi una destrala a una estàtua de bronze de l'institut. Degut a aquesta inundació, al dia següent, no hi ha institut, i gràcies a això coneix a Gretchen, se n'enamora i comencen a sortir junts. Donnie va sentint la veu de Frank que li diu que faci coses, i una nit li fa cremar la casa d'un famós que ell odia. Frank, al llarg de les escenes, li diu que ve del futur i Donnie li pregunta al professor de física sobre el tema. El professor li regala un llibre escrit per una antiga professora, la senyora Sparrow, que es diu "Filosofia de Viatge en el Temps". En el llibre, es descriuen les mateixes al·lucinacions que té ell.

Al cremar-se la casa del famós, es descobreix que tenia una col·lecció de pornografia infantil i el detenen. La professora de ball de la germana de Donnie, gran admiradora del famós, decideix portar un equip de defensa en el seu judici, de manera que no pot acompanyar al grup de dansa de la germana de Donnie a un concurs al que havien d'anar. Al final, hi va la mare de Donnie.

Ell es queda a casa sol amb la seva germana i decideixen organitzar una festa de Halloween. Durant la festa el protagonista pateix més al·lucinacions que el porten, junt amb Gretchen, a la casa de la Sra. Sparrow, una senyora gran de 101 anys. Un cop allí, entren, però, un cop dins, dos nois de l'institut els treuen de la casa: estaven robant i es pensen que els han seguit. Els dos nois, llencen a terra els protagonistes i els amenacen amb ganivets. De cop, veuen que s'acosta un cotxe, un dels nois pensant-se que és la policia marxa corrent i deixa a Gretchen al terra. L'altre noi al final també marxa. El cotxe, que com que és de nit no veu a Gretchen fins l'últim moment, l'atropella i frena. Donnie queda profundament afectat per la mort de la noia i es gira cap al cotxe. Del cotxe surten dos nois més, però un porta una disfressa estranya: porta la disfressa del conill de les al·lucinacions de Donnie, és Frank. Aquest li pregunta a Donnie què hi feien a la carretera, però ell, encegat per la ira, li dispara i el mata. L'altre noi fuig corrent. El protagonista porta desesperat el cos de Gretchen a casa seva i el puja al seu cotxe. És el mateix dia en què Frank li havia dit que s'acabava el món. Sobre casa seva el cel es comença a tornar negre. Donnie va amb el cotxe a la muntanya on s'ha despertat i des d'allí veu unes horribles vistes. Una espècie de

núvol s'està formant al mig de la vall. Veu l'avió on van la seva germana i la seva mare i entén el que ha de fer.

De sobte, es passen les escenes de la pel·lícula en marxa enrere i el protagonista es desperta la mateixa nit en què caigué el motor d'avió a la seva habitació (el 2 d'octubre) i riu. Decideix continuar dormint de manera que quan la turbina cau, el mata.

Explicació de la pel·lícula:

Una de les possibles explicacions de la pel·lícula podria ser la següent. Aquesta explicació requereix l'ajuda de la informació addicional del llibre de "Filosofia del Viatge en el Temps", informació posterior a l'estrena. Aquest llibre explica que el nostre univers s'anomena univers primordial, on és molt estrany que es produeixin anomalies en la quarta dimensió, és a dir, el temps. Tot i així pot passar. Quan es crea una d'aquestes anomalies, es crea el que se'n diu un univers tangent, molt poc estable que només pot durar diverses setmanes. Aquest univers tangent, es crea la nit en que cau la turbina d'avió a l'habitació de Donnie. Quan aquest univers tangent desapareix, pot suposar la creació d'un forat negre que destrueixi el mateix univers primordial si no ho fa correctament. Per tal que no passi això, apareix en aquest univers tangent una espècie d'escollit anomenat el receptor, en aquest cas Donnie Darko. Aquest estarà dotat de "superpoders" podrà controlar l'aigua, el foc, tindrà superforça i tindrà telecinesi. El receptor també patirà fortes al·lucinacions que l'altra gent no pot veure. A part del receptor, hi ha un altre personatge important que se'n diu la mort manipulada, en aquest cas Frank. La mort manipulada es tracta d'una persona que ha mort durant les poques setmanes que existeix l'univers tangent. A part de Frank, Gretchen també és mort manipulada però apareix amb una forma diferent a la de Frank. La mort manipulada és extremadament poderosa i pot viatjar en el temps i parlar amb el receptor a través de l'estructura temporal.

L'artefacte és un altre element important. Es tracta d'un objecte l'aparició del qual indica la creació d'un univers tangent. Aquest univers és una realitat alternativa amb una copia de cada cosa. Amb una excepció, hi ha dos còpies d'un objecte que és anomenat l'artefacte. En el cas de Donnie Darko, és un

motor d'avió. Una característica important de l'artefacte és que sempre ha d'estar format de metall. Si l'artefacte no es destrueix o envia a l'univers primordial abans del col·lapse de l'univers tangent, es crearà un forat negre que destruirà també l'univers primordial. La missió del receptor, és a dir, de Donnie, és fer desaparèixer la turbina duplicada de l'univers tangent, i la única manera de fer-ho és a través d'un forat de cuc cap a l'univers primordial.

Tots els fets que passen a la pel·lícula tenen l'objectiu de guiar a Donnie per tal de complir la seva missió, fins i tot el comportament dels personatges és intencionat per tal d'aconseguir aquesta finalitat. Aquest comportament és dut a terme pels personatges inconscientment, com si una estranya força els guies. Tot i així, els que tenen el paper més important en la guia del receptor són les morts manipulades (Frank i Gretchen).

Frank, que al morir durant l'univers tangent es converteix en mort manipulada, viatja al passat per despertar a Donnie en el moment en què cau la turbina d'avió (tots aquests fets passen en l'univers tangent). Al sobreviure el receptor gràcies a la mort manipulada, encara és possible la salvació. Frank li diu a Donnie que inundi l'escola, i aquest ho fa amb l'ajuda del seu poder de l'aigua. Gràcies a que s'ha inundat l'escola, Donnie i Gretchen es coneixen. Més tard, Frank li diu que cremi la casa del famós i ell ho fa amb el poder del foc. Com que s'ha cremat la casa, és la mare de Donnie i la seva germana les que aniran a l'avió quan l'univers tangent col·lapsi. Tots els fets guien a Donnie, que al principi no sabia quina era la seva missió, fins a entendre el seu objectiu i complir-lo. Un cop al final de la pel·lícula, el mateix Donnie crea un forat de cuc i, amb el seu poder de telecinesi, desenganxa la turbina de l'avió, on va la seva mare, per tal de tornar l'artefacte a l'univers primordial a través d'aquest. Llavors, quan col·lapsa l'univers tangent, no crea el forat negre i l'univers primordial es salva. Com que tots els fets de la pel·lícula eren dins de l'univers tangent, aquesta torna fins el punt de creació de l'univers tangent: la nit en que caigué la turbina. Donnie es desperta rient del somni que ha tingut (Univers tangent) i decideix quedar-se on està per tal de no viure i evitar la mort de Frank, Gretchen i la seva mare. La turbina cau i el mata. Tot i així, no hauria estat necessari, perquè Frank ja no hauria viatjat a l'univers primordial.

Tots els fets que han passat durant l'univers tangent en realitat no han passat mai, és a dir Gretchen i Donnie mai s'han conegut ni enamorat. Però tot i així, hi ha certes persones que poden tenir somnis sobre l'univers tangent. Com es el cas de Gretchen que al final de la pel·lícula reconeix la mare de Donnie sense haver-la vist anteriorment o de la imatge de Frank tocant-se l'ull com si li fes mal (que és on Donnie li havia disparat a l'univers Tangent).

El fet que Donnie mori no era un fet obligat sinó una decisió pròpia. Hi ha una teoria sobre la pel·lícula que afirma que no és l'única vegada que es crea un univers tangent. En el llibre escrit per Roberta Sparrow, s'explica que ella mateixa va ser receptora en un altre univers tangent i també parla d'altres casos com ara; el cas d'una llegenda maia on un guerrer moria per la caiguda d'una destrat des d'un penya-segat quan no hi havia cap exèrcit ni enemic; o el cas d'un rei que va morir empalat per una espasa que encara no havia forjat.

Una altra possible teoria seria el cas de l'esquizofrènia. Aquesta teoria és molt més simple; simplement s'afirma que tot el que passa són imaginacions de Donnie produïdes per la seva malaltia: esquizofrènia. La teoria esmentada podria ser una teoria creada pel director per tal de facilitar la comprensió de la pel·lícula per part d'espectadors que no posseïen la informació addicional.

Teories científiques que se citen: Forat de cuc (Relativitat)

Teories científiques que no se citen però són presents: Principi d'autoconsistència de Novikov, Multivers

Relació entre les teories científiques i la trama:

Tot i que es citen els forats de cuc predits per les teories d'Einstein, s'explica fantasiosament que estan formats d'aigua, cosa que la teoria d'Einstein no diu. Simplement s'utilitza un forat de cuc per transportar un objecte d'un lloc a un altre. Cal remarcar que el forat de cuc en aquest cas connecta dos universos paral·lels. Pel que fa al viatge en el temps, no s'especifica com ho fa Frank per a viatjar al passat.

El fet que es creï un univers tangent, defensa la teoria del multivers, on, com s'ha explicat, la inflació és contínua i es van creant universos nous. Tot i així,

s'enfoca la creació d'un univers paral·lel com a una anomalia inestable i com si només se'n crees un. Pel que fa al viatge en el temps, se segueix la teoria de viatges en el temps enfocada des del multivers, que diu que al viatjar en el temps es crea un univers paral·lel on succeeixen els fets conseqüents de que hagis alterat el passat. Tot i així, segons l'explicació fantasiosa del director, quan es produeix el viatge en el temps de Frank, l'univers tangent ja està creat i per tant no és aquest el motiu de la seva aparició. Si el que es vol és una explicació pel viatge en el temps dut a terme per Frank, la teoria més coherent seria el principi d'autoconsistència de Novikov. El principi defensa que si es viatja al passat, no podràs fer res per canviar-lo, ja que sempre es trobarà una forma per tal que no es produeixi la paradoxa. Com en el cas de la bola de billar colpejant-se a ella mateixa uns segons abans amb la inclinació i força correctes per produir la seva entrada al forat de cuc del qual acaba de sortir i pel qual ha viatjat en el temps. Frank desperta a Donnie per tal que ell mateix pugui haver anat a despertar-lo. Per fer-ho més entenedor, quan Frank viatja al passat, decideix evitar la mort del receptor. Al produir-se aquest viatge en el temps, per tal que no hi hagi una paradoxa, Frank evitarà la mort del receptor ja que si no ho fa no hauria pogut estar allà perquè no hauria mort a mans de Donnie i no s'hauria convertit en la mort manipulada que pot viatjar a través del temps.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

És profundament interessant que a la pel·lícula es creï tota una teoria fantasiosa que engloba diferents aspectes de diferents teories actuals. Tot i que aparentment es mostren característiques de diferents teories com ara la de universos paral·lels, forats de cuc o viatges en el temps, s'adapta el significat de les teories als interessos de la pel·lícula.

En el cas dels universos paral·lels, es defensa que només n'hi ha un, que s'anomena univers tangent i que és producte, com s'ha explicat, d'una anomalia produïda en l'estructura de la quarta dimensió, la temporal. No hi ha teories que demostrin o afirmen que un esquinç en l'estructura temporal pogués crear un univers paral·lel, i pel que fa a la composició d'aquest, no es diu que sigui inestable i que pugui crear un forat negre que destrueixi l'univers original al col·lapsar. S'adapta la teoria que afirma la possibilitat de l'existència d'universos

paral·lels per crear una trama complicada i adaptada a tota una teoria composta d'una sèrie d'especulacions sobre diversos camps. En aquestes especulacions es creen personatges amb nom que tenen una missió predestinada i es dóna importància al fil conductor de la pel·lícula, més que en l'univers tangent en si.

Pel que fa als forats de cuc, la teoria fantasiosa creada a la pel·lícula afirma que estan formats d'aigua i que per aquest motiu Donnie, que controla l'aigua (superpoder que es pot atribuir a l'interès de la trama en dotar el protagonista d'algun fet característic que el diferenciï dels altres personatges), pot crear un forat de cuc per transportar la turbina d'avió. Un forat de cuc, almenys el predit per les teories d'Einstein, és un doblec del teixit espai-temps que permet unir espais diferents i també, fins i tot, temps diferents. En cap moment es diu que estigui format d'aigua.

Si s'analitza el viatge en el temps fet per Frank, es pot observar, com s'ha explicat, una contradicció de teories. Si s'observa des del cas del multivers, quan viatja en el temps crea un univers paral·lel diferent en el que pot canviar els fets, cosa que tindria sentit ja que la pel·lícula ha defensat l'existència d'universos paral·lels. Però al defensar que només n'hi ha un i que és inestable, es fa que es descarti la pròpia teoria del multivers per entendre el viatge. Com a resposta, es defensa que no es pot canviar el passat (segons el multivers si que es pot però en un altre univers) , sinó que el fet que Frank salvi a Donnie és el motiu pel qual Frank el pot salvar.

En definitiva, *Donnie Darko* és una pel·lícula que adapta la teoria actual als interessos cinematogràfics per tal d'atraure l'espectador i alhora confondre'l introduint-lo a un món i a un sistema ple d'imaginació.

Operacions: -

3.3. Interstellar

"It doesn't seem to me that this fantastically marvellous universe, his tremendous range of time and space and different kind of animals, and all the different planets, and all these atoms with all their motions, and so on, all this complicated thing can be a stage so that God can watch human beings struggle for good and evil-which is the view that religion has. The stage is too big for the drama."

Richard Feynman

Títol:

Interstellar

Director:

Christopher Nolan

Guionista:

Jonathan Nolan,
Christopher Nolan

Actors:

Mathew
McConaughey,
Anne
Hathaway, Michael Caine, Jessica Chastain



Nacionalitat: Estats Units

Any d'estrena: 2014

Argument:

En un indeterminat futur els humans estan en perill d'extinció a causa d'una plaga que destrueix les plantacions i canvia la composició de l'atmosfera de la terra. Cooper (Mathew McConaughey) amb la seva filla Murph, descobreix unes coordenades escrites en la pols i es dirigeixen al lloc indicat. Hi troben la NASA, que envia Cooper, juntament amb un equip de científics, en busca d'un nou planeta habitable per a la supervivència de la humanitat. Però, durant aquest viatge hauran d'afrontar obstacles i decisions que no s'haurien ni imaginat.

Resum de la trama:

Cooper i Murph, que viuen en una granja, s'adonen que a l'habitació de Murph passen coses estranyes: els llibres cauen sols de la prestatgeria entre d'altres coses. Però no es prenen seriosament aquest fet fins un dia que entra molta pols de l'exterior per la finestra i poden veure que hi ha una anomalia gravitatòria a l'habitació. Hi ha llocs on la pols no ha caigut i sembla que s'hagi escrit unes coordenades amb codi binari. Aquella mateixa nit es dirigeixen al lloc indicat. Quan hi arriben descobreixen que es tracta d'una base secreta de la NASA, allà uns científics expliquen al protagonista que s'ha d'embarcar en un viatge perillós a la recerca d'un planeta que permeti perpetuar la raça humana. Cooper s'acomia de la seva filla conscient de la importància de la seva missió i marxa en una nau acompanyat de cèlebres científics. El motiu pel qual aquests confien en la possibilitat de trobar planetes amb probabilitat de vida, és perquè fa uns anys va aparèixer un forat de cuc al costat de Saturn. S'hi van enviar científics, distribuïts un a cada planeta de la nova secció de l'univers. Allí, han estat estudiant la composició de l'atmosfera dels planetes i si són un lloc adequat perquè els humans hi puguin viure.

Dels deu planetes amb més possibilitats, només tres tenen bons resultats. Primer es dirigeixen al planeta de Miller, té matèria orgànica però descobreixen que no és apte per la vida ja que tota la superfície del planeta té onades gegants. A causa de la gran proximitat que té el planeta de Miller amb el forat negre Gargantua, al voltant del qual orbita, unes hores a la seva superfície suposen molts anys a la terra. Aquest és el motiu pel qual el missatge positiu enviat per la científica Miller, per ells fa 10 anys, segurament només fa una hora que ha estat enviat. El resultat de l'expedició és decebedor: Miller ha mort per una de les onades i han de fugir.

El següent planeta és el del doctor Mann. Quan hi arriben el troben viu, però resulta que el senyal positiu era una mentida perquè el vinguessin a buscar, al planeta no hi ha vida possible. Mann s'escapa i intenta arribar a la nau que ha quedat orbitant el planeta, però no aconsegueix acoblar-s'hi bé i fa explotar una secció de l'aparell. Quan ells hi arriben, gràcies a Cooper, s'hi acoblen i sobreviuen. Malauradament, l'explosió ha dirigit perillosament la nau cap a Gargantua i s'apropen a l'horitzó de successos del forat negre.

Cooper i Tars, un robot intel·ligent, es precipiten al forat negre per poder restar pes a la nau i que la científica que queda (Anne Hathaway) pugui arribar al tercer planeta.

A partir d'aquest punt de la pel·lícula, ja només es pot saber el que els passa a Cooper i Tars. Cooper cau dins el forat, no hi ha llum, tot és negre. Les

connexions amb l'exterior es tallen i, de mica en mica, la nau es comença a dividir en fragments per la forta atracció gravitatòria. Cooper es veu obligat a sortir de la nau i seguir el viatge sol a l'espai. Segueix precipitant-se i sent dolor, a causa de la forta intensitat de la gravetat. De cop, quan ja no ho pot suportar més, tot para. Ja no sent dolor. Veu una llum que està molt allunyada però s'apropa. Comença a caure a l'interior d'uns extensos passadissos (infinits) molt peculiars. S'aconsegueix agafar a un dels costats i, exhaust, contempla la seva nova ubicació. Un lloc estrany... De cop reconeix una cosa: la imatge de la seva filla és per tot arreu, la seva filla en diferents moments de la seva vida. Ell comença a donar cops frenèticament, crida el seu nom, però és inútil. Un cop calmat, s'adona de què ha passat. Uns éssers del futur, molt probablement els humans del futur, han col·locat el forat de cuc perquè ells arribessin a aquell lloc, l'havien salvat del forat negre per un motiu: salvar la humanitat. Cooper aconsegueix connectar amb Tars per ràdio i li demana que li digui les coordenades de la NASA en binari. Ell, un cop s'ha adonat que aquell lloc és una manifestació espacial de la dimensió temporal i que pot enviar missatges mitjançant la gravetat, modifica la gravetat i escriu les coordenades de la NASA a la pols. Un cop fet això, li demana a Tars, que tot aquest temps ha estat analitzant el forat negre, que li doni les dades quàntiques del forat negre. Modificant la gravetat col·loca el missatge al rellotge de Murph en codi Morse. Aquestes dades són les que permetran a Murph, suposadament, controlar la gravetat i poder treure tota la gent de la terra en diverses naus.

Cooper entén que la seva missió ja ha acabat i tanca els ulls feliç mentre el lloc desapareix. Quan desperta és en un punt prop de Saturn i ha estat rescatat pels humans. Aquests han aconseguit sortir de la terra gràcies a l'ús que ha fet Murph de les dades i es troben en una estació espacial a punt de creuar el forat de cuc.

Ell pregunta si la seva filla encara és viva i la resposta és afirmativa: té més de 90 anys. Ell la visita i tenen un retrobament emotiu. Tot i així, al final, Murph li diu que vagi a trobar a l'altra científica, que ha aconseguit arribar al tercer planeta i que espera allà a que la humanitat conegui la seva nova terra.

Teories científiques que se citen: Relativitat general d'Einstein, mecànica quàntica

Teories científiques que no se citen però són presents: Teoria de cordes, Teoria M

Relació entre les teories científiques i la trama:

Des del començament de la pel·lícula, quan es plantegen si marxar o no, parlen del problema i conflicte entre la relativitat general d'Einstein i la mecànica quàntica. Es fa la hipòtesi que si tinguéssim una solució podríem controlar la gravetat i treure tota la gent de la terra. Aquest fet de controlar la gravetat, no se sap del tot, però podria ser cert, ja que si poguéssim tractar amb gravitons la podríem controlar.

Més endavant, quan travessen el forat de cuc, es segueix la teoria de la relativitat general que permet aquest tipus de cossos. En aquest cas es tracta d'un forat de cuc que connecta dos regions de l'espai. Però, pel que es diu, estan travessant el Bulk i per tant, això significa que estan creuant l'espai entre brana i brana. En aquest punt ja canvien de brana.

Quan els protagonistes es troben al planeta de Miller, el temps passa més lentament a causa de la proximitat del forat negre Gargantua, és a dir, se segueix la teoria de la relativitat general d'Einstein. Aquest fet és degut a la proximitat d'un cos amb gran massa que deforma el teixit de l'espai-temps fent que el temps passi més lentament. De manera que allò que al planeta són dues hores a la terra són vint-i-un anys. No podem demostrar que aquest resultat segueixi del tot la teoria ja que no s'especifica la massa de Gargantua. Suposarem que és correcte.

Quan diuen que queden atrets per l'estirada gravitatòria de Gargantua, suposem que això no significa que han travessat l'horitzó de successos i significa que, senzillament, s'hi estan acostant massa. Si no fos així, no se'n podrien escapar. Per tant, realment la salvació de la científica podria respondre a la pèrdua de pes. Cooper i Tars cauen dins el forat negre. No se sap exactament el que passa dins un forat negre, però la forta atracció gravitatòria hi és, i també podria ser que hi hagués petits raigs de llum que han quedat atrapats (a la pel·lícula hi són presents). Fins aquí tot correcte.

Pel que fa a la suposició que una civilització avançada pugui recuperar i salvar algú que cau dins un forat negre, no se'n diu res. Tot i així, podria ser possible si ens baséssim en una de les possibles explicacions que hem fet de la singularitat d'un forat negre: si es cau al centre d'un forat negre, es podria sortir en un altre univers. Tot i així el tipus de forat de cuc que hi hauria al centre del forat negre seguiria sent impracticable i, encara que a l'altre univers, no se'n podria sortir.

A partir d'aquest punt s'han de fer especulacions. Suposem que els humans del futur o la suposada civilització avançada viu en una altra brana diferent a la nostra. Suposem també que són capaços de controlar la gravetat, potser perquè es troben més a prop de la Brana de la Gravetat (recordem el quart món brana) i allí hi ha més presència de gravitons. Un cop acceptats aquests dos fets,

seria possible que aquesta civilització, gràcies a la gravetat, hagués aconseguit crear un forat de cuc en una altra brana (la nostra) perquè els protagonistes arribessin prop de Gargantua. També haurien estat capaços de , d'una forma desconeguda, rescatar Cooper i Tars i col·locar-los en aquell espai estrany. Pel que fa a aquest espai, estaria format des d'una dimensió addicional on podrien veure el temps com a un espai. Un cop allí, permetrien que Cooper, a través de la gravetat, enviés missatges al passat a la seva filla.

Finalment parlarem sobre els viatges en el temps que es produeixen. N'hi ha dos, però cap dels dos és un viatge en si, sinó que és un missatge enviat al passat.

El primer és el que cometen els suposats humans del futur al col·locar el forat de cuc i salvar Cooper del forat negre. Si realment són els humans del futur, es tractaria d'un viatge en el temps on s'aplica el principi d'autoconsistència de Novikov. Els humans provoquen la seva pròpia salvació. És a dir, si no haguessin intervingut, la humanitat no s'hauria salvat i ells no haurien existit mai. Per tant, el viatge en el temps és el que provoca el motiu, o en aquest cas la causa del propi viatge.

El segon viatge, o missatge enviat al passat, és el que Cooper envia a la seva filla Murph. Ja que quan Cooper envia el missatge Murph ja té vora cent anys, perquè Cooper ha passat certa estona molt a prop d'un forat negre, és un missatge al passat (Murph desxifrà el missatge amb uns 40 anys). Per tant, tampoc es canvia el passat sinó que tot el que provoca Cooper ja ha passat (o passa). Es tracta també del principi d'autoconsistència.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Certament, si aconseguíssim pacificar l'enorme conflicte que hi ha entre les dues teories principals actuals que han estat comprovades (relativitat general i mecànica quàntica), podríem entendre com funciona realment la gravetat i potser controlar-la en certa manera. En el cas que la teoria de cordes fos la pacificadora, si poguéssim controlar els gravitons (que al cap i a la fi són partícules com els fotons) podríem controlar la gravetat.

Pel que fa al forat de cuc que permet als protagonistes aparèixer a una regió molt llunyana de l'espai, la mateixa teoria d'Einstein ho explica. Per tant no hi ha problema. Tot i així, com que es diu que es canvia de brana, realment s'està canviant d'univers, per tant, es tracta no només d'un forat de cuc que connecta dues regions separades de l'espai, sinó que aquest connecta regions separades en l'espai pentadimensional (connecta dues branques).

Com s'ha comentat, considerarem correcta la diferència dels temps que transcorren a la terra i a prop del forat negre, perquè no sabem la massa d'aquest ni la distància que separa els dos astres.

Pel que fa a l'explicació de la gravetat a través de dimensions, és profundament interessant que se citi directament dins la pel·lícula la conseqüència d'una teoria tant avançada en física teòrica. Realment, és tot un risc basar la trama d'una pel·lícula en una teoria altament complicada. Tot i així, està bastant ben tractada, fins i tot planteja certes hipòtesis com ara: ¿podria una civilització avançada de dimensió cinc (recordem els mons brana) afectar una altra brana? ¿Es podria pacificar la terrible acció d'un forat negre si es controlés la gravetat? Com hem dit és increïble que se citin components de teories complicades i, a més a més, encara se'n facin especulacions.

Pel que fa als dos viatges en el temps, s'ha de reconèixer que han estat ben pensats, ja que els dos segueixen la mateixa teoria i no es contradiuen. A més a més, un és dins de l'altre, perquè si la civilització avançada no hagués interactuat primer amb el nostre univers, Cooper no hagués pogut enviar el segon missatge al passat.

En el primer viatge en el temps (remarquem que no es fa un viatge sinó que s'envia informació al passat), es produeix el principi d'autoconsistència: si es produeix aquest fet és perquè tot el Bulk, és a dir totes les branques incloses la nostra i la de l'altra civilització, està sotmès a una dimensió temporal. Això no suposa cap problema per a les teories, ja que evidentment tot l'espai de cinc dimensions té un temps. Però llavors, com pot influir una brana en el passat d'una altra? Les dos branques es troben al Bulk i tenen la mateixa dimensió temporal que els afecta. Per tant, una no podria afectar l'altra. Si la justificació és que com que aquest espai de cinc dimensions està corbat i el temps passa més lent per a una brana més a prop de la Brana de la Gravetat que per a la nostra, es podria acceptar (quarta món brana). Tot i així, es podria explicar també si les partícules de la nostra brana, en comptes d'estar atrapades solament en una brana de tres dimensions espacials, estiguessin atrapades en una brana de tres dimensions espacials que tingués inclosa a dins seu una dimensió temporal. Per tant, estaríem tancats dins aquesta dimensió temporal i no podríem veure ni notar la dimensió temporal superior de la mateixa manera que passa amb les dimensions espacials. (Cal fer notar que, en aquest últim paràgraf, l'autor d'aquest treball proposa hipòtesis per explicar la pel·lícula que poden influir en la teoria. Amb l'explicació teòrica en l'apartat de teoria hem pogut obtenir cert grau d'informació sobre la teoria però no completa, així que en proposar una dimensió temporal addicional *empresonada* dins una brana, estem fent una hipòtesi sense base matemàtica que, per tant, podria ser errònia.)

En el cas del segon viatge en el temps, s'hi poden apreciar més problemes que en el primer. Si Cooper es troba dins una brana, com pot influenciar el passat de la mateixa brana? El gravitó pot passar entre branques i anar lliure pel Bulk, però no pot anar enrere en el temps. L'aplicació de la hipòtesi d'una dimensió temporal tancada dins la nostra brana i afegint que Cooper ja no es troba dins la nostra brana perquè ha passat a una altra a través del forat de cuc, podria explicar en certa manera el problema. Farem constar que els coneixements de qui escriu aquestes ratlles sobre aquest últim apartat no són perfectes i és possible que en la valoració d'algun aspecte d'aquesta teoria s'equivoqui. Es tracta solament d'una hipòtesis a partir de la teoria.

Finalment, s'ha de mencionar que la pel·lícula està dotada d'aquesta bellesa de coherència, d'aquest engranatge perfecte sense errors, perquè va ser concebuda amb l'ajuda d'un físic important: Kip Thorne. Thorne ajudà Nolan (director) a seguir el màxim possible les teories científiques sense errors. Per això s'ha pogut apreciar aquesta coherència entre ficció i ciència.

3.4. Star Trek

“Try not to become a man of success, but rather try to become a man of value”

Albert Einstein

Títol: Star Trek

Director: J.J.Abrams

Guionista: Roberto Orci i Alex Kurzman

Actors: Chris Pine, Zachary Quinto, Zöe Saldana, Winona Ryder, Simon Pegg

Nacionalitat: Estats Units

Any d'estrena: 2009

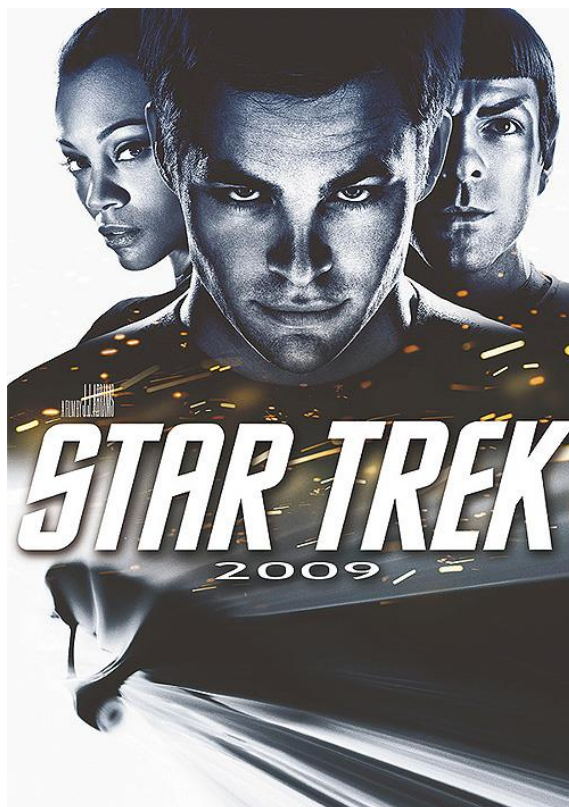
Argument:

Una gran nau Romulana amenaça el planeta Vulcà de ser destruït. Un seguit de naus de la federació interestel·lar es dirigeixen a ajudar el planeta, entre les quals hi ha la USS Enterprise, on viatgen Kirk(Chris Pine) i Spoke(Zachary Quinto). Ben aviat, s'adonen que no hi poden fer res. Com que la nau romulana ve del futur té una tecnologia molt més avançada i la intenció de destruir tots els planetes de la federació incloent Vulcà i la Terra. Ho podran evitar?

Resum de la trama:

La nau romulana destrueix el planeta Vulcà creant un forat negre al seu interior. No ha destruït la USS Enterprise perquè a dins hi ha Spoke (d'origen vulcanià) i el capità de la nau, Neró, vol que Spoke vegi com es desintegra el seu propi planeta per una suposada venjança.

A causa d'una disputa entre Kirk i Spoke (que en aquest moment és el capità de la nau), Spoke desterra Kirk a un planeta gelat i retorna a la base de la federació. En aquest planeta, Kirk coneix Spoke del futur que li explica que al futur, una estrella explota i crea una supernova que amenaça Ròmul (planeta d'on prové la nau atacant). Ell mateix s'ha dirigit cap allí amb una matèria capaç de crear un forat negre, amb la intenció de fer desaparèixer la supernova. Malauradament, la seva ajuda ha arribat tard i el planeta ha estat destruït. Neró (el capità de la



nau romulana) ho ha interpretat com un error de Spoke i vol venjança. Malgrat tot, la seva nau ha estat engolida pel forat negre i ha viatjat 100 anys al passat. La nau de Spoke també ha estat engolida però una mica més tard, de manera que el que per Neró han estat 25 anys d'espera, per Spoke solament han estat segons. Quan Spoke arriba, Neró ja l'espera i el captura, li roba la matèria per crear el forat negre i l'abandona al planeta gelat perquè presenciï la destrucció del seu propi planeta: Vulcà. Kirk es teletransporta altre cop a l' Enterprise i provoca que Spoke del present renunciï a ser capità de la nau.

El capità Kirk segueix la nau romulana per salvar la Terra i, després de destruir-la, és reconegut com a un heroi, i nomenat capità de l' Enterprise.

Teories científiques que se citen: Multivers, Forat Negre

Teories científiques que no se citen però són presents: Relativitat d'Einstein i forats de cuc, Teoria de cordes i teoria M en relació amb els forats negres

Relació entre les teories científiques i la trama:

Es podria considerar que la teoria de la relativitat general d'Einstein hi és present si tenim en compte que el forat negre creat per Spoke es tracta d'un forat de cuc dels considerats no practicables. Per tant, si es cau dins el forat negre, si es passa pel mig de l'anell de Kerr i pel pont Einstein-Rosen, es pot accedir a un altre univers.

Pel que fa a la creació d'un forat negre a partir d'una matèria determinada, no se'n dona cap explicació detallada. Però podem suposar tres opcions. En primer lloc, podria ser que la matèria roja, aquesta matèria capaç de crear un forat negre, es tractés d'una substància molt inestable de gran densitat, de manera que amb l'acció de qualsevol cop ja no pogués suportar la seva pròpia massa dins aquell volum i col·lapsés dins un forat negre. Seguint aquesta opció, també seria possible que a través d'un mecanisme desconegut es pogués comprimir tant aquesta matèria roja que col·lapsés en un forat negre (recordem que qualsevol objecte amb massa, si es comprimeix suficientment, pot col·lapsar en un forat negre).

La segona opció, té a veure amb la teoria de cordes i la teoria M. Com s'ha explicat, segons estudis recents, s'ha suposat que un forat negre podria ser originat per la col·locació d'una partícula dins l'espai Calabi-Yau. Per tant, si aquesta matèria roja fos en realitat una tribrana capaç d'envoltar una de les esferes tridimensionals que es comprimeixen dins l'espai Calabi-Yau, es podria explicar la formació del forat negre. Recordem que una tribrana que ha envoltat una esfera tridimensional, quan aquesta s'ha comprimit, és vista per a nosaltres com a un forat negre.

La tercera opció té a veure amb els forats de cuc practicables. Si la matèria roja fos en realitat una quantitat elevadíssima d'energia que es pogués aplicar a un forat de cuc de l'espuma quàntica, aquest es podria ampliar. D'aquesta forma, la nau hi podria passar. Tot i així, aquesta hipòtesi té un punt a favor i un en contra. El punt a favor consisteix en el fet que, si realment es tracta d'un forat de cuc practicable, desapareix el problema de no poder sortir del forat negre (en el cas dels no practicables). És a dir, es podria canviar d'univers i moure-s'hi lliurement (com passa a la pel·lícula). El punt en contra és que a la pel·lícula citen que es tracta d'un forat negre, així que hi hauria un error igualment. De tota manera, com que no hi ha una explicació concreta a la pel·lícula, podem fer servir la que més ens agradi.

Finalment, pel que fa al viatge en el temps, quan la nau romulana i Spoke viatgen al passat, canvien els fets. És a dir, han canviat d'univers i els fets transcorren diferent. Per tant, es defensa la teoria del Multivers.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

És evident que se citen i hi apareixen o els forats negres o els forats de cuc. Però el problema, a part de les conseqüències del cos (forat de cuc), sorgeix en la representació amb efectes especials d'aquest. S'ha estudiat com hauria de ser un forat de cuc i un forat negre, i difereix enormement del que apareix a la pel·lícula. A part dels efectes especials, si realment es tractés d'un forat negre, segons la relativitat general i les altres teories, aquest deforma l'espai-temps fent que el temps vagi més lent. Quan les naus cauen dins el forat es passen estona dins l'horitzó de successos on la diferència de temps hauria de ser enorme. Per tant, quan les naus es troben entrant o sortint del forat, patirien una alteració del temps tant gran que el seu temps seria diferent del de Kirk i Spoke de la USS Enterprise i segurament l'aventura mai no tindria lloc. També mencionarem que si un cos cau dins un forat negre pateix una atracció gravitatòria tant forta que acostuma a desintegrar-se, però a la pel·lícula no se'n mostra ni el més petit indici.

No sabem quina seria l'explicació que hauria donat el director sobre la matèria roja, però, com hem dit, podem agafar la que més ens agradi, cada una comporta punts a favor i en contra, però el que és segur és que en tots els casos algun error o altre i haurà.

Pel que fa al viatge en el temps, se segueix correctament la teoria del Multivers i no es produeixen contradiccions amb altres teories.

Tot i els errors (i els possibles errors), cal remarcar que és una pel·lícula d'acció amb alguns fets que poden ser explicats amb l'ús de teories molt noves i recents

(encara que segurament el director no pensava en elles a l'hora de fer la pel·lícula). Per això cal almenys felicitar-lo per la introducció d'alguns d'aquests fets (ometent la fatal forma que se li dona als forats negres).

3.5. Mr.Nobody

"I've got the world on a string"

Frank Sinatra

Títol: Mr.Nobody

Director: Jaco van Dormael

Guionista: Jaco van Dormael

Actors: Jared Leto, Diane Kruger i Sarah Polley

Nacionalitat: Bèlgica, Canadà, França i Alemanya

Any d'estrena: 2009

Argument:

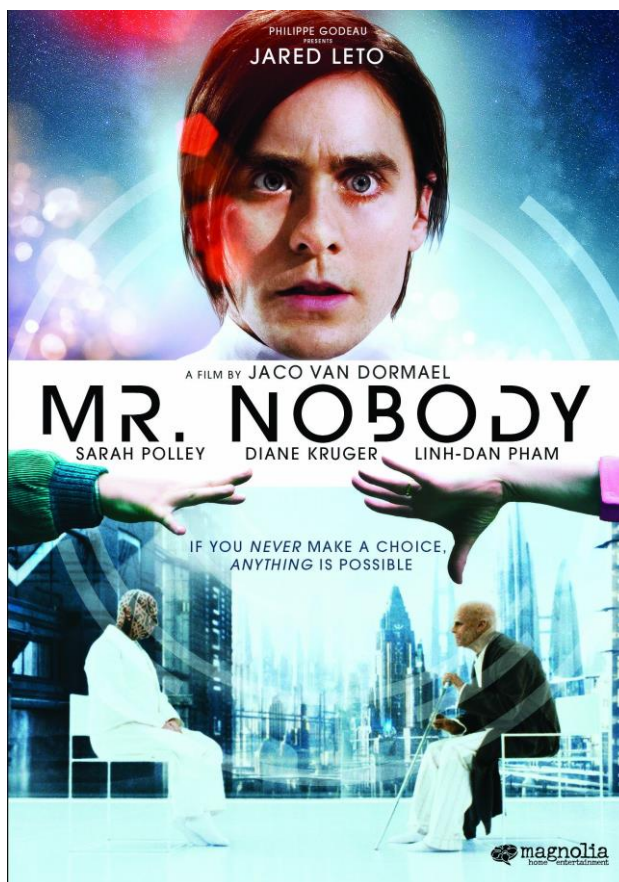
La pel·lícula narra la història de Nemo Nobody, una persona que

de vegades recorda no només el passat sinó també el futur. Es basa en la impossible decisió del nen que intenta decidir si es queda amb el pare o amb la mare quan aquests se separen, i analitza el que li passarà segons si se'n va amb un o amb l'altre.

Resum de la trama:

La pel·lícula és, en si, una narració, és a dir un repàs de tot el que els passa a *tots els Nemos* possibles (ell mateix segons faci una cosa o una altra). A l'inici explica amb un to de fantasia que Nemo recorda també el futur perquè en el món on hi ha els nens abans que neixin (que saben tot el que passarà) els àngels es van oblidar d'esborrar-li els records. Quan és nen, viu feliç amb el seu pare i la seva mare i, a l'escola, coneix a Anna, una nena de la seva edat.

Un dia, somnia que el seu pare produirà un accident i matarà una dona sense voler, ho intenta evitar però no ho aconsegueix. El pare queda profundament afectat i es posa malalt, la mare troba un amant i no triguem a separar-se. Un dia



porten a Nemo a l'estació i li diuen que ha de triar si marxar amb la mare o quedar-se amb el pare. El nen es queda perplex davant del dilema impossible i no sap què decidir, la mare puja al tren. El tren arrenca i Nemo corre darrere d'ell. Aquí és on inicia la "separació de carrils" (amb què les imatges de la pel·lícula fan una analogia), on comença a estendre's la xarxa de possibilitats.

Les separarem per agrupacions i ordre cronològic per fer més fàcil la comprensió, tot i que a la pel·lícula no és així.

Si Nemo arribés a córrer prou com per agafar la mà de la mare i pujar al tren, se n'aniria a viure amb ella. Amb ella viuria infeliçment ja que li presentaria al seu amant, Harry.

A la seva classe arribaria una noia nova que es diu Anna amb qui es farien mirades. Un dia mentre s'estiguessin banyant a un llac i Nemo estigués a la sorra sol perquè no sap nadar, l'Anna aniria a parlar amb ell i li preguntaria si vol anar al llac amb ella i els seus amics. Si Nemo li digués que no vol anar a banyar-se amb ella perquè no li agraden els seus amics, quan en realitat és perquè no sap nadar, ella l'ignoraria i mai serien amics. Anys més tard, es creuarien al metro i Nemo coneixeria els seus fills. Si en canvi, Nemo li respongués la veritat, l'Anna es quedaria asseguda amb ell fent-li companyia. La seva mare un dia li presentaria la filla d'en Harry i resultaria ser l'Anna, de qui Nemo ja estaria enamorat. Els dos adolescents mantindrien una història d'amor apassionada que duraria fins que la seva mare i Harry se separessin. El comiat d'ells dos seria molt tràgic i Nemo li diria a l'Anna que l'esperaria cada diumenge a prop del far fins que ella vingués.

En el cas en que es trobessin, es casarien i tindrien fills, ell treballaria a la televisió fent xerrades científiques i filosòfiques fins que un dia al sortir de la feina tindria un accident i moriria ofegat. Si ella no assistís al far, es trobarien al cap de molts anys per casualitat al metro i passarien una nit apassionada junts, però ella li diria que vol estar un temps sense ell (perquè s'ha d'acostumar a veure'l) i li donaria el seu número de telèfon amb la intenció que el truqués al cap de dos dies. Per mala sort, es posaria a ploure i una gota esborraria la tinta del paper amb el número. Llavors, Nemo es trobaria profundament deprimat i

abatut i acabaria dormint cada dia al banc a prop del far amb l'esperança de trobar-se-la altre cop.

Per tot el contrari, si Nemo no hagués aconseguit pujar al tren, s'hauria quedat amb el pare malalt. No li hauria importat on era la seva mare i hauria estat un nen solitari que cuida del seu pare. Un dia, aniria a una festa i coneixeria a l'Elise, una noia depressiva enamorada d'un noi més gran que ella: Stefano. A la festa, l'Elise, enfadada al ser rebutjada per Stefano, aniria a parlar amb Nemo, i durant la conversa ell li prometria que si es morís portaria les seves cendres a Mart. Nemo s'enamoraria d'Elise i un dia decidiria anar a visitar a l'Elise portant-li una carta d'amor. Si quan arribés veiés a Stefano sortir de casa la noia, tornaria a pujar a la moto i enrabiada, cridant, tindria un accident que el deixaria en coma. Si arribés una mica més tard, aniria a parlar amb ella i li donaria la carta. Llavors Elise li diria que no pot enamorar-se d'ell perquè estima Stefano. Si ell li deixés acabar la frase i no l'interrompés, se n'aniria a casa i a la festa de la nit següent ballaria amb una altra noia: Jean. Ressentit pel rebuig d'Elise, decidiria casar-se amb Jean i es plantejaria un seguit de propòsits estúpids. Si Nemo interrompés Elise quan li està dient la frase, li diria una frase d'amor que la convenceria de quedar-se amb ell. Es casarien i tindrien fills.

Aquí s'obren dos altres camins llargs: Si es quedés amb Jean o si es quedés amb Elise.

Si es quedés amb Jean, seria ric, tindria fills i tindria una piscina (que són els seus propòsits), viuria avorrit sense estimar-la. Seria un home tan avorrit que intentaria cremar-se per notar dolor, es tiraria a la piscina per canviar la rutina...etc. Al final, decidiria deixar la seva vida a l'atzar i prendria les decisions a cara o creu. Es plantaria a l'aeroport i es faria passar per una altra persona ja que l'atzar li ho hauria dit així i aniria a la casa del desconegut. Allí, mentre estigués a la banyera l'assassinarien pensant-se que es tractava del desconegut, seria abandonat al bosc i, posteriorment, incinerat.

Si per contra, es quedés amb l'Elise, s'hi casaria. Pot ser que en el dia de la seva boda mentre anessin amb cotxe tinguessin un accident i morís Elise. En aquest cas ell seria una persona solitària que escriuria una història de ficció en què porta les cendres d'Elise a Mart, com li havia promès. Si no tinguessin aquell

accident, tindrien fills i Elise mostraria atacs de *bogeria* ja que estarà sempre deprimida. Fins que un dia l'abandonarà per anar a buscar Stefano.

Entre la narració de totes aquestes possibilitats, apareix Nemo quan és un vell de 118 anys. En aquell temps futurista, els humans són immortals i ell és l'últim mortal. Nemo vell, recorda totes les seves possibles històries com si les hagués viscut totes per igual i les hi explica a un jove reporter.

Al final, resulta que totes aquestes possibilitats i el món futurista, formen part de la imaginació del nen que coneix el futur i intenta escollir una decisió impossible: quedar-se amb el pare o amb la mare. Davant de que la millor opció és no triar, el nen decideix quedar-se amb la mare però abans bufar una fulla del bosc i deixar que actuï l'efecte papallona que provocarà que anys més tard, mentre ell es troba dormint a prop del far, un corrent d'aire el desperti just quan Anna passa per davant seu i es trobin.

Per últim, en aquest cas, Anna serà una científica que predirà la data del Big Crunch i ell viurà fins als 118 anys. Nemo morirà just un minut abans que iniciï el Big Crunch, en què el temps anirà enrere i tornarà a viure tota la seva vida.

La pel·lícula s'acaba amb la poètica imatge de Nemo vell caminant enrere i rient, fet que podria ser a causa de l'idea de tornar a viure tota una vida al costat d'Anna.

Teories científiques que se citen: Big Crunch, Teoria de cordes

Teories científiques que no se citen però són presents: Mecànica quàntica, Multivers

Relació entre les teories científiques i la trama:

Pel que a la mecànica quàntica es refereix, es podria relacionar l'experimentació de totes les seves vides possibles, és a dir, el compliment de tots els recorreguts possibles, amb el principi d'incertesa de la mecànica quàntica. Més concretament, es pot crear una analogia entre l'electró que recorre tots els recorreguts possibles (com en el plantejament de les trajectòries sumades de Feynman), amb la persona que els recorre tots. Cal remarcar, que si es fa aquesta comparació, suposa un fet de ficció, ja que el protagonista està format

de moltes partícules i, per tant, s'apliquen les successives anul·lacions que fan que només es visualitzi un dels recorreguts. Aquesta proposta del recorregut de totes les possibilitats també es podria relacionar amb el multivers. Nemo viu totes les possibilitats en tots els universos en què ell hi és present. És a dir, que Nemo va *saltant* d'un univers a un altre. Segons la mecànica quàntica hi ha la possibilitat que un electró desaparegui i també que n'apareguin del no res. No hi ha cap teoria que contradigui que quan un electró desapareix no se'n pugui anar a un altre univers (tractant-se d'un multivers quàntic i no de mons brana). Tot i així, en el cas de la pel·lícula, la probabilitat que una persona sencera canviï d'univers és tan ínfima que no es du a terme.

La pel·lícula ens presenta una qüestió científica molt interessant, en què es pregunta si una de les sis dimensions enrotllades en les quals vibren les cordes o membranes, en realitat es tracta d'una segona dimensió temporal enrotllada. Com s'ha explicat, segons la teoria de cordes, i anteriorment segons els estudis de Kaluza i Klein, hi podrien haver dimensions enrotllades dins les tres espacials que nosaltres coneixem. Però, per quin motiu no podria passar el mateix amb la dimensió temporal que coneixem? És a dir, podria ser que una de les sis dimensions fos temporal? Aquest fet suposaria un canvi en la manera d'entendre el món i la física. A la pel·lícula plantegen la pregunta de què passaria si n'hi hagués una altra: el temps podria anar enrere? Podríem refer el que ja ha estat fet? La veritat és que la física teòrica actual evita aquesta possibilitat i es centra en els estudis de les múltiples formes possibles de l'espai Calabi-Yau. Tot i així a Mr.Nobody es fan certes especulacions i les relacionen amb un altre concepte teòric: El Big Crunch.

El Big Crunch era un concepte que suposava que l'expansió de l'univers s'estava desaccelerant a causa de la gravetat entre astres i que, per tant, arribaria un moment en què s'aturaria i refaria el procés a la inversa. Els astres es precipitarien ajuntant-se i col·lisionant de manera que s'augmentaria la densitat de l'univers i, com a conseqüència, augmentaria la temperatura, és a dir, en certa manera es tornaria a l'estat original de l'univers, tot acumulat en un sol punt, amb l'excepció de que els astres i cossos no serien els mateixos a causa de la col·lisió amb altres cossos.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Com ja s'ha dit, l'analogia esmentada entre el principi d'incertesa i el recorregut del protagonista de totes les seves possibles vides, no és intrínsecament present en la pel·lícula. Tot i així presenta la idea principal de la teoria vist des d'un sector molt més fictici que afavoreix a la ficció i la trama.

Pel que fa a la suposició de que una de les dimensions enrotllades és temporal, es tracta d'una afirmació atrevida que està al corrent dels avenços científics més actuals.

Ara bé, el Big Crunch és un principi que actualment està quasi considerat com a fals a causa del descobriment de la matèria fosca. Els científics van voler comprovar aquesta desacceleració de l'expansió de l'univers i van obtenir uns resultats ben sorprenents: l'expansió de l'univers accelerava. Van atribuir aquest fet a la matèria fosca, una matèria que no emet cap tipus de radiació que podem captar i per tant, no la detectem, però podem notar els seus efectes. Per aquest motiu, quasi es descartà la teoria. Tot i així a la pel·lícula la mencionen barrejant-la amb la dimensió temporal addicional. Una suposició enginyosa en què s'afirma que aquesta dimensió temporal enrotllada seria la que permetria que al arribar el moment del Big Crunch, el temps anés enrere, per tant, tot tornés a succeir en la direcció contrària i Nemo tornaria a viure la seva vida al revés. Si encara es fos més atrevit i s'anés més enllà del que s'esmenta a la pel·lícula, al produir-se el fet que el temps va enrere, es podria dir que la dimensió temporal que entenem per a estesa també podria ser una dimensió temporal enrotllada en que, després de transcórrer tota la seva distància, es tornés a recórrer però en sentit invers. Aquest fet també ha estat contemplat per els científics, de la mateixa manera que s'ha contemplat en les dimensions espacials enrotllades. Tot i així, en el cas de la dimensió temporal, de moment s'ha apartat la idea.

De tota manera, el fet que el temps anés enrere es contradiria amb l'anomenat principi d'entropia o segona llei de la termodinàmica, en què els cossos tendeixen a passar de l'estat d'orde a desordre. Aquesta teoria, que fou

ampliada per Boltzman, és la única que mostra un indicati de “la fletxa de la direcció del temps”, és a dir, l’ordre dels fets de passat a futur. Les ampliacions de Boltzman al principi d’entropia són les úniques que mostren aquesta *fletxa* esmentada, ja que en qualsevol altra operació (en física) es pot fer el procés reversible, és a dir, estudiar els fets de futur a passat.

Llavors, com a conseqüència, aquesta afirmació es contradiria amb el principi d’entropia de Boltzman.

De tota manera, cal destacar que és una pel·lícula recent que no només informa i menciona teories relativament noves, sinó que també especula sobre fets que actualment no han estat estudiats. És a dir, introdueix possibles preguntes de la investigació actual.

Operacions:-

3.6. Edge of tomorrow

"Welcome to where time stands still, no one leaves and no one will"

Metallica

Títol: Edge of tomorrow

Director: Doug Liman

Guionista: Doug Liman

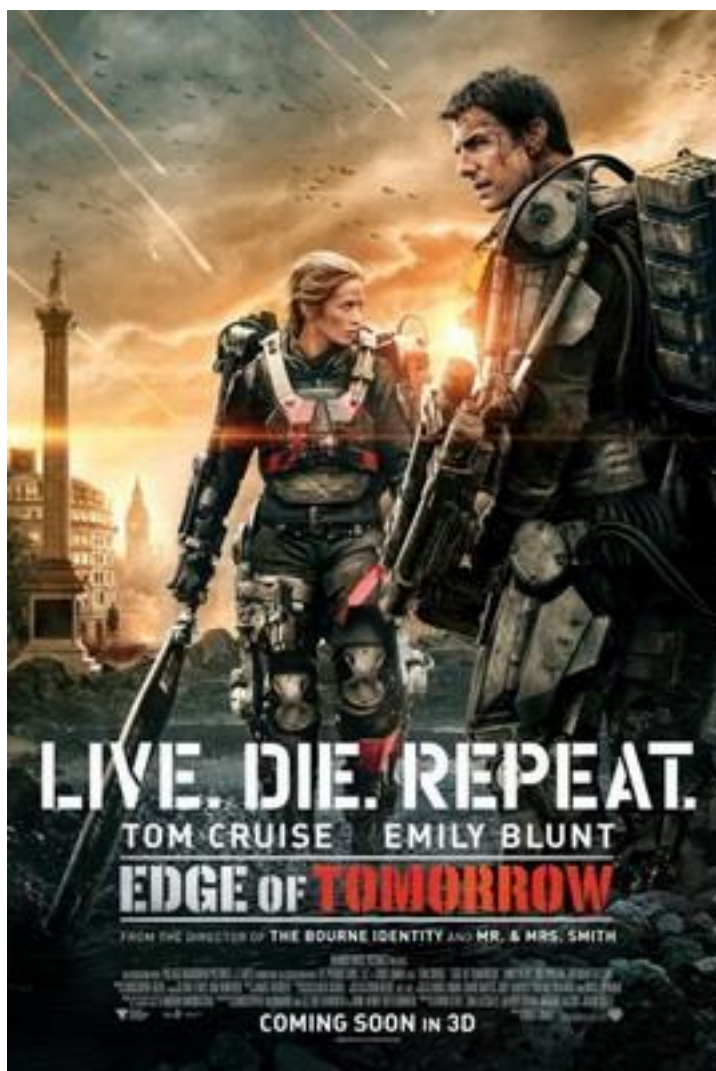
Actors: Tom Cruise, Emily Blunt, Brendan Gleeson, Noah Taylor

Nacionalitat: Estats Units

Any d'estrena: 2014

Argument:

Cage (Tom Cruise) és un oficial de l'exercit que és destinat al front contra una invasió extraterrestre. El primer dia mor, però desperta el matí del mateix dia. Cada vegada que mor desperta el mateix dia. Amb aquest do haurà d'aconseguir guanyar la guerra i evitar la invasió.



Resum de la trama:

Quan Cage és enviat al front i mor, desperta al matí del mateix dia, sempre que mor reviu. Però pot canviar els fets del dia. A través de memoritzar el que ha de fer per no morir (morint moltes vegades) aconsegueix comunicar-se amb la sergent Vrataski (Emily Blunt). La sergent li explica que això li passa perquè quan va morir el primer dia, va quedar impregnat de la sang d'un dels extraterrestres, d'un d'especial: un Alpha. Els extraterrestres resulten ser un sol organisme que

es desmembra i amb una sola ment. Omega és el cervell de l'organisme i té l'habilitat especial de viatjar en el temps. El seu recurs és, quan mor un Alpha, torna a començar el dia. Al quedar impregnat amb la sang de l'Alpha, pot tornar a començar el dia. Memoritzant el que passa i canviant algunes coses aconseguen sortir del front i dirigir-se a París, que és on hi ha l'Omega. Un cop arriben allà tots dos moren però ell aconseguix llançar unes granades a l'Omega. Quan Cage mor té un Alpha que el persegua just a sobre. Amb la mort de l'Omega tots els extraterrestres moren i Cage torna a quedar impregnat de la sang d'un Alpha. Cage es desperta al matí del dia anterior a que l'enviïn al front. Llavors es dirigeix al front com a oficial però els extraterrestres han desaparegut, Omega ha mort.

Teories científiques que se citen: -

Teories científiques que no se citen però són presents: Multivers, Teoria de cordes

Relació entre les teories científiques i la trama:

Cada vegada que Cage mor fa un viatge en el temps. Poden passar coses diferents segons el seu comportament. Com que cada vegada els esdeveniments són diferents, es podria dir que Cage canvia constantment d'univers però que recorda tots els camins possibles perquè és ell el que viatja. També es podria interpretar d'una altra manera. Cage sempre repeteix des del mateix punt, un punt concret del matí d'aquell dia. Per tant, es podria considerar que Cage ha aconseguit entrar a una possible segona dimensió temporal enrotllada. Si aquesta dimensió existís, no se sap el que podria passar. Potser sempre es tornaria a un punt i si fos circular un cop arribat a un cert punt es torna començar el cercle. De tota manera aquesta afirmació és hipotètica i la pel·lícula no comenta aquesta possibilitat.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Pel que fa al multivers, és acceptable: quan es viatja al passat els fets passen diferent. No s'esmenta en cap moment com es produeix el viatge en el temps, sinó que solament es diu que l'Omega pot controlar el temps. Pel que fa a la dimensió temporal enrotllada, tot i que es tracta d'una afirmació que no comenta la pel·lícula, és interessant. És una teoria relativament recent i la ficció actual no l'acostuma a usar. Per tant, que es pugui relacionar almenys alguna de les seves característiques ja és bon senyal. Cal remarcar que si es segueix aquesta afirmació hi hauria un petit problema. Si intentem imaginar una dimensió circular, no té ni un principi ni un final, però en el cas de la pel·lícula, no hi hauria final en la dimensió temporal. Si Cage no mor no torna a començar

el dia. Per tant, el viatge en el temps és independent de si la dimensió temporal és d'una forma o una altra sinó que depèn de si Cage mor o no.

Per últim és important remarcar que tornar a començar el dia una i altra vegada no és una innovació d'aquesta pel·lícula sinó que en una pel·lícula més antiga d'en Bill Murray anomenada *The Groundhog day* també hi apareix, amb la diferència que allí sí que és solament un dia el que es repeteix i és independent de si el protagonista mor o no.

3.7. Source Code

"I'd hate to die twice. It's so boring"

Richard Feynman

Títol: Source Code

Director: Duncan Jones

Guionista: Ben Ripley

Actors: Jake Gyllenhaal, Michelle Monaghan, Vera Farmiga

Nacionalitat: França, Estats Units

Any d'estrena: 2011

Argument:

-*"He seguit el teu consell"*.

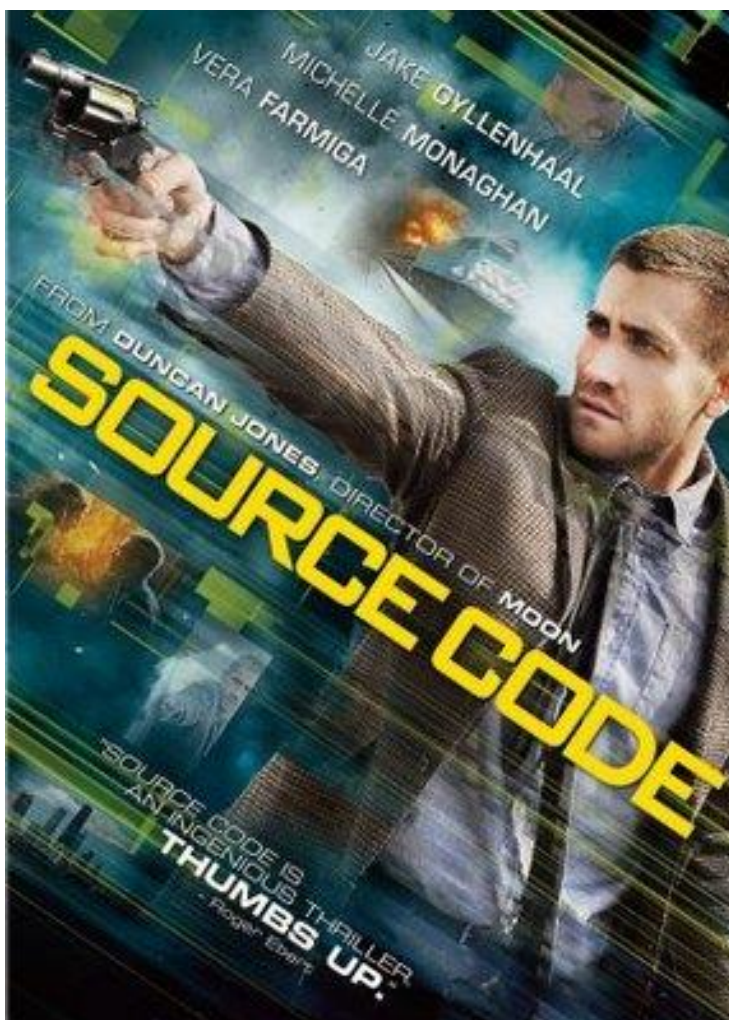
El capità Colter Stevens (Jake Gyllenhaal) es desperta en un tren

sentint aquesta frase. A davant té una noia preciosa (Michelle Monaghan). No recorda com ha arribat allí. Però no té temps de pensar-hi perquè al cap de 8 minuts el tren explota i mor.

Resulta que estarà destinat a repetir aquells 8 minuts una vegada i una altra fins que aconseguixi saber qui ha posat la bomba. Ho suportarà?

Resum de la trama:

Un cop el capità Stevens ha mort al tren, desperta en una sala fosca. Una dona a través d'un monitor li pregunta què ha vist. Ell no sap què respondre-li. La dona



li diu que ha de tornar i descobrir qui ha posat la bomba. Tot dóna voltes i torna a ser allí, al tren, amb la mateixa noia i la mateixa frase. Tot el que passa passa igual però amb la seva actitud canvia els fets. Interroga els passatgers però no aconsegueix res. El tren torna a explotar. Un cop ha notificat que no ha trobat res el tornen a *enviar*. És *enviat* al tren una i altra vegada i mor una i altra vegada. Tot i així, no descobreix què està passant. Al cap de moltes preguntes, la dona del monitor li explica que l'atemptat del tren ha passat aquell mateix matí i que ells, a través d'un programa, l'estan enviant una i altra vegada a la ment d'un dels passatgers, més concretament als seus últims vuit minuts de memòria. Li diuen que no pot evitar l'explosió, però que ha de descobrir el terrorista. Sospiten que tornarà a actuar i el volen aturar abans.

Stevens, que desconfia, investiga sobre ell mateix durant aquests viatges de vuit minuts i descobreix que és mort. Va morir a Iraq. Afectat, li pregunta a la dona i al seu superior què passa, i ells, a contracor, li responen que és mort, però la seva ment encara no, i que poden enviar-lo a la ment d'una altra persona, al passat. Horroritzat, Stevens demana que quan acabi la missió el desconnectin i el deixin morir.

El van enviant una vegada i una altra i, de mica en mica, ell va recopilant informació. Arriba un moment en què ja sap qui és el terrorista i li diu a la dona qui és i on es troba. La policia el deté. Però ell no ha quedat content. Vol que el tornin a enviar al tren, un cop més. S'ha enamorat de la noia i creu que la pot salvar, que pot aturar l'explosió. Stevens demana que un cop hagin passat els vuit minuts, el desconnectin i el deixin morir.

La dona del monitor accedeix i l'envia una última vegada. Un cop al tren, ell fa que tots els passatgers tinguin el millor viatge de la seva vida i siguin feliços. També atura el terrorista i evita que faci explotar el tren. Una vegada han passat els vuit minuts, tot continua, no s'atura i ell pot viure amb la noia. S'adona que no l'enviaven a la ment d'una persona, l'enviaven a un altre univers.

Teories científiques que se citen: Multivers

Teories científiques que no se citen però són presents: -

Relació entre les teories científiques i la trama:

Pel que fa a la possibilitat que el cervell d'un cos mort pugui conservar 8 minuts d'informació i que aquesta es pugui extreure, no és un fet per estudiar en aquest treball. Més aviat interessaria per a un treball on s'estudiés les capacitats del cervell i la memòria. Tampoc podem dir gaire cosa sobre posar algú dins la ment d'una altra persona o mantenir algú viu només amb la seva ment activa, sense cos.

Ara bé, si que podem comentar el gran nombre d'universos paral·lels que el capità Colter Stevens visita. Deixant de banda que el que viatja és la seva ment dins el cos del passat d'una altra persona, suposarem que la manera de viatjar és a través d'un forat de cuc que connecta universos. En aquest cas no se segueix el món brana sinó que se segueix el multivers quàntic, és a dir, amb cada acció la funció d'ona de l'univers es desdobla originant dues possibilitats. Per tant, si poden enviar la ment a un univers paral·lel, el que canviï allí pot originar altres universos. Per aquest motiu Stevens pot quedar-se vivint en un altre univers un cop han desconnectat la seva ment de l'univers del qual prové.

És a dir, el viatge en el temps també aplica la teoria del Multivers perquè els fets passen de manera diferent cada vegada que el protagonista viatja al passat.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Com hem dit, tota la part d'enviar la ment a través d'un forat de cuc no és objectiu d'aquest treball, però la part en què s'aplica el multivers sí que és un dels centres d'interès.

Tots els viatges en el temps que passen a la pel·lícula són correctes des del punt de vista del multivers quàntic. Aquest fet és important ja que es dona la possibilitat de poder canviar constantment el passat. Tot i així hi ha un petit error. Cada vegada que el capità viatja al passat, veu unes imatges estranyes. Un cop ja ha estat desconnectat i pot viure en un altre univers, presencia realment aquelles imatges. És a dir, és com si hagués tingut visions del seu propi futur. Evidentment, això no té sentit, ja que no es poden enviar missatges del futur al passat (amb l'excepció de la gravetat) i per tant es tractaria solament d'un recurs cinematogràfic. Aquest recurs buscava donar a l'espectador una sensació de continuïtat, que tot està lligat. És un recurs utilitzat en moltes altres pel·lícules, potser per, tot i haver utilitzat la teoria del multivers, fer que l'espectador surti impressionat (impressionat per com lliga tot, sense fer-lo pensar que en realitat res ha de lligar perquè s'ha utilitzat el multivers).

3.8. Primer

"The paradox is only a conflict between reality and your feeling of what reality ought to be."

"Angular Momentum"

Títol: Primer

Director: Shane Carruth

Guionista: Shane Carruth

Actors: Shane Carruth,
David Sullivan

Nacionalitat: Estats Units

Any d'estrena: 2004

Argument:

Dos amics aconseguen descobrir una espècie de màquina del temps. Aconseguen fer un bucle en el temps i tornar al lloc d'origen. Intenten no canviar el passat però

ben aviat s'adonen que no és tan fàcil. És inevitable que tard o d'hora algun d'ells dos el canviï. Llavors què passarà? Ben aviat s'adonaran de les conseqüències dels seus actes.

Resum de la trama:

En primer lloc, cal destacar que existeixen tres línies temporals encara que el director no ens les separi durant la pel·lícula. Tot i així, nosaltres l'explicarem ordenadament.

Primer de tot, Abe (el ros) crea una màquina del temps. Però en comptes de construir-ne una en construeix dos i aquesta altra l'amaga a una sala del magatzem diferent i l'encén. Pretén utilitzar-la com a mecanisme de seguretat.



Llavors li explica a Aaron el seu descobriment mostrant-li solament la màquina que no està amagada.

Ara procedirem a explicar com es realitza un viatge en el temps a *Primer*. En primer lloc, s'activa la màquina. Llavors, es marxa tranquil·lament a una habitació d'hotel on s'intentarà estar aïllat i desconnectat del món. Allí s'hi haurà d'estar sis hores i després s'haurà de dirigir altre cop al magatzem i entrar a la màquina. Allí es dormiran 6 hores més i quan soni l'alarma s'haurà de sortir. Quan s'ha sortit, s'haurà tornat al punt en què es va engegar la màquina.

A Aaron li agrada molt la idea de la màquina del temps i decideix fer-se'n una, la col·loca al costat de la d'Abe i es disposen a dur a terme el següent pla: utilitzar la màquina per tal de guanyar diners. Decideixen activar la màquina, anar a l'hotel, mirar quines accions han pujat més al final del dia, anar a la màquina, sortir al passat i comprar aquelles accions. Tot surt molt bé fins que Aaron descobreix la màquina de seguretat d'Abe. Amb el suposat motiu de salvar la novia d'Abe que aquell mateix dia havia estat atacada pel seu ex, agafa les dos màquines, les plega (es poden plegar), i viatja al passat amb elles.

Un cop al passat, inicia la segona línia temporal. Allí Aaron té tres màquines (amb la que ha viatjat i les altres dos). En col·loca dos en un altre magatzem i una al costat de la d'Abe perquè no sospiti. Com que ha viatjat amb la màquina "dispositiu de seguretat" (la que estava activada des del principi) es troba al mateix dia en que Abe li va parlar per primer cop de la màquina. Es dirigeix a casa seva, es droga a ell mateix del passat i el deixa dormint durant dies (el que encara no sap res sobre la màquina). Seguidament tanca a aquell Aaron del passat a les golfes i es fa passar per ell. Aaron grava totes les converses des d'aquell moment per si de cas. Llavors és quan ens ensenyen els jocs a la borsa i la compra venta d'accions. Aaron s'anticipa sempre en tot moment. Però en un moment sorgeix un problema: descobreixen que el sogre d'Abe els està seguint, l'intenten perseguir però es desmaia i entra en coma. Els dos nois acaben deduïnt que el senyor havia utilitzat la màquina del temps per canviar alguna cosa (no se sap què perquè ja ha estat canviada) però que ha utilitzat malament la màquina i és el que li ha provocat el coma. Aquest esdeveniment és el que els convenç de tornar al dia d'inici altre cop, però aquesta decisió la prenen per

separat, de manera que cada un va pel seu compte i no s'adonen que l'altre també ha viatjat.

Aquí inicia la tercera línia temporal. Abe va a casa seva i droga al seu jo del passat mentre dorm, per tant, el substitueix. En canvi, Aaron pretén substituir al seu jo del passat, però aquest és el que ja havia substituït al seu jo del passat (és a dir, és el que havia drogat al que encara no sabia res i s'estava fent passar per ell mateix). Aquest *segon* Aaron decideix abstenir-se i marxar de casa deixant via lliure a l'Aaron del futur, és a dir, al que havia viatjat per evitar que el senyor es posés en coma.

Els dos actuen com si fossin els primers dies però acaben descobrint el pla de l'altre. Llavors Aaron diu que el millor que poden fer és evitar que a Rachel li passi res (la que l'havia atacada l'ex). Aconsegueixen descarregar l'arma i evitar l'atac. Després d'això es troben en un aeroport tot parlant, es separen i no tornen a sortir. Aaron decideix marxar i desaparèixer però Abe decideix quedar-se vigilant als seus jo drogats (el d'Abe i el d'Aaron) que despertaran. Pretén evitar que viatgin en el temps.

Llavors se'ns mostra com l'Aaron que va decidir desaparèixer truca i deixa un missatge a l'Aaron que està drogat i ha despertat a les golfes sense saber què ha passat. La veu del contestador automàtic és la que apareix durant tota la pel·lícula.

Teories científiques que se citen: Mecànica quàntica, Forat de cuc

Teories científiques que no se citen però són presents: Multivers, teoria de cordes

Relació entre les teories científiques i la trama:

Pel que fa al viatge en el temps, s'especifica que no es tracta d'un forat de cuc, que es tracta d'una conseqüència al combinar certs tipus de ceràmica superconductora amb alimentadors que proveeixen energia. S'acaba donant a entendre que el cos de dins la màquina, amb el calor, *rebotava en el temps* i torna al punt d'inici. Quan es duu a terme un viatge en el temps, es torna al punt original. Per tant han viatjat al passat. Els protagonistes, al principi, semblen estar molt preocupats per les paradoxes, però com es pot apreciar més

endavant, en provoquen. Per tant, quan viatgen en el temps, al principi tot és igual, si ells no canvien res tot transcorrerà igual i s'arribarà al mateix punt futur. Per tant *a voluntat* es fa encaminar els fets d'un univers als mateixos d'un altre. Però si canvien alguna cosa aquesta té conseqüències. Per tant, es podria dir que els dos protagonistes porten els auriculars i escolten totes les converses que han de realitzar perquè els interessa arribar a cert punt de la història amb tot intacte i llavors poder canviar el que vulguin. No ho fan perquè tinguin por de provocar una paradoxa.

Cada vegada que viatgen en el temps, s'obren dos camins diferents. És a dir, es defensa la teoria del Multivers.

Per últim, es podria relacionar la forma en què es viatja al passat amb un aspecte que ja s'ha comentat abans en la teoria de cordes: la possibilitat d'una segona dimensió temporal circular o enrotllada. Si existís realment, aquesta forma d'arribar al mateix punt després de passar un temps dins la màquina ens podria recordar tornar al mateix punt temporal un cop s'ha recorregut tota la circumferència de la dimensió temporal enrotllada.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Tot i així, quan s'explica com es viatja en el temps el director utilitza un recurs molt encertat en què mentre un personatge explica com funciona, l'altre va parlant al mateix temps, de forma que no es pot entendre el que explica. Només es capten paraules com mecànica quàntica, mecànica i calor, rebota en el temps... Fins i tot se cita a Richard Feynman. De tota manera, és normal, ja que el viatge en el temps no ha estat inventat i no se sap com es duu a terme.

Tal i com s'ha explicat, se segueix el multivers, però es fa d'una forma diferent a la que es podria pensar. Quan es viatja al passat no es pot tornar al futur, per tant, si es realitzen viatges simultanis, els propis jo conviuen i, com s'explica al final, acaben convivint en el mateix univers dos Abe i tres Aaron.

De fet, la forma de viatjar i la forma d'explicar el viatge en el temps, ja inclou aquest esquema imaginari de *bucle*, de punt tancat on després de passar uns dies es podria tornar. És interessant aquest nou plantejament de viatge en el temps ja que a diferència de moltes altres pel·lícules, on apareixia un forat de

cuc o simplement existia una màquina, planteja una nova forma de poder viatjar: utilitzant la possible segona dimensió temporal enrotllada. Tot i així, no està comprovat ni teòricament i, per tant, és una possibilitat remota. A part d'aquest fet, s'hauria d'esbrinar com entrar en una dimensió temporal enrotllada.

És una pel·lícula molt interessant i amb una trama molt complicada que evita els habituals conflictes entre el multivers i el principi d'autoconsistència. Per tant, s'ha de reconèixer al director que està molt ben pensada i es pot considerar pràcticament una pel·lícula de culte.

3.9. Predestination

"Creation annihilation, creation annihilation- what a waste of time"

Richard Feynman

Títol: Predestination

Director: Peter Spierig,
Michael Spierig

Guionista: Michael Spierig,
Peter Spierig

Actors: Ethan Hawke, Sarah
Snook, Noah Taylor

Nacionalitat: Austràlia

Any d'estrena: 2014

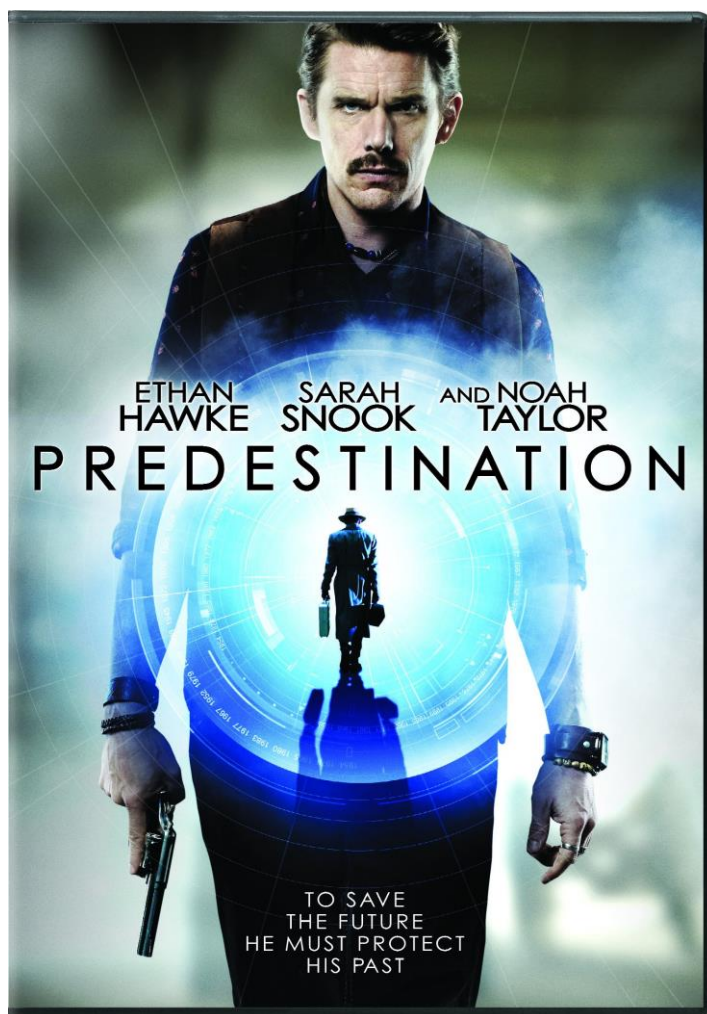
Argument:

Ser agent temporal és molt més que viatjar en el temps, molt més que evitar assassinats, no és una feina fàcil: s'ha d'haver nascut per l'ofici, s'ha d'haver nascut a l'ofici. Es diu que hi ha

persones que estan predestinades. El que no s'espera John és que el seu futur li influenciarà més del que es pensa. Decidirà continuar amb la serp que es mossega la cua?

Resum de la trama:

John és un agent temporal d'una organització en què els agents viatgen en el temps intentant evitar atemptats i assassinats. John es troba enmig d'una missió quan és atacat pel terrorista més temible de tota la història, el "fizzle bomber". A causa d'aquest atac no pot desactivar totalment la bomba que havia de desactivar durant la missió i rep part de l'explosió. Aquesta li desfigura la cara i necessita una operació facial. Un cop s'ha recuperat li ha canviat la veu i la cara. Tot i la catàstrofe, segueix intentant evitar els assassinats i aturar el "fizzle bomber". Un dia que es troba en un bar durant la dècada dels anys 60, comença a parlar amb un jove que li promet que té la història més increïble de totes. Li explica que abans era una



noia d'un orfenat, molt intel·ligent i reservada. Tota la vida havia estat marginada per les altres noies i no havia tingut mai cap relació amb cap noi, però un dia això s'acabà: va conèixer un noi, s'enamorà i quedà embarassada. Un dia, però, el noi va desaparèixer i no va tornar mai més. Dolguda per la pèrdua decidí esperar el dia del part amb consternació, sola. Després de parir el metge li digué que hi havia hagut un problema amb el seu cos. Resulta que tenia tant els òrgans reproductors femenins com els masculins, però que amb el part, els femenins havien quedat inservibles. D'aquesta manera li havia pogut acabar d'implantar totalment els masculins, per tant, d'ara en endavant hauria de ser un noi. Ella queda profundament afectada per la notícia, però es consolà pensant que tenia una filla. Tot i així, la sort no jugà a favor d'ella/ell, ja que aquella mateixa nit un home estrany va entrar a la clínica, segrestà la nena i no se'n tornà a sentir mai més res. Ell es va mudar a la ciutat i va decidir recomençar la seva vida.

John, després d'escoltar la història del noi, li pregunta si odia aquell home que li va esguerrar la vida, la resposta és afirmativa. Llavors li pregunta si el tingués a davant si el mataria, la resposta també és afirmativa. Llavors li diu que el segueixi i el porta al soterrani, on té la seva màquina del temps (una caixa de violí). John porta al noi al dia en què va conèixer aquell home que l'abandonà i li posa una pistola a la mà. El noi es dirigeix al lloc on sap que es van conèixer amb la intenció de matar-lo. Però s'endú una sorpresa: ella del passat es troba amb ell. Ell era aquell home. Un cop es veu a ella mateixa se n'enamora a l'instant.

Mentrestant, John intenta aturar el terrorista però no se'n surt. Frustrat, retorna al temps on es troba el noi. Allí està pensatiu: sembla que sàpiga més del que diu. Té una discussió amb el seu superior sobre si hi ha coses que estan predestinades i sobre si s'ha de seguir el destí. Acaba convenent-se de que sí. Llavors, va a buscar al noi, el convenç de ser agent temporal i el fa abandonar-se a ella mateixa quan era noia. Seguidament, després de deixar al noi al 1985 (seu central de l'organització), va a l'hospital on hi ha la filla del noi/a i l'agafa. Se l'emporta vint anys enrere i deixa la nena a la porta d'un orfenat: el mateix orfenat on havia anat el noi/a. El noi era fill d'ell mateix i ella mateixa. Un cop dutes a terme aquestes accions, dóna per finalitzada la seva feina i es retira, però al desconnectar la màquina del temps hi ha un error i no es queda inservible. Tot i així, mai no notifica l'error a l'organització. Segueix decidit a aturar el terrorista i per això s'ha retirat uns dies abans de la gran explosió que matarà 10000 persones: per aturar-lo. Aconsegueix trobar-lo i es queda sorprès. Qui està allà observant-lo és ell mateix més gran. Ell és el terrorista. Aquest li diu que ara que s'han trobat poden treballar junts i renunciar a tot. Però ell reitera en la idea que no serà com ell. El terrorista li diu que si el mata serà com

ell, ja que és així com passa, que si vol canviar-ho no l'ha de matar. Tot i així, encegat per la ira, l'acaba matant.

Lavors, el noi que s'estava entrenant per ser agent, acaba l'entrenament, duu a terme nombroses missions, fins que en una queda afectat per una explosió i li han de reconfigurar la cara. El nom d'aquell noi és John.

Ell mateix és el seu propi pare, mare, fill, filla i assassí.

Teories científiques que se citen: -

Teories científiques que no se citen però són presents: Principi d'autoconsistència

Relació entre les teories científiques i la trama:

El fet que la vida de John sigui una serp que es mossega la cua podria semblar sense sentit, però en realitat no ho és, sinó que segueix el principi d'autoconsistència. En el moment en què es realitza el viatge en el temps, el motiu del seu viatge ja ha estat influenciat pel viatge en si. De la mateixa manera que la bola de billar és colpejada per ella mateixa per tal d'entrar al forat de cuc, poder-se colpejar al passat i fer-se entrar al forat, John viatja al passat per poder haver nascut i quan ell neix qui l'ha engendrat és ell mateix. Si s'intenta pensar en un inici del cercle no es trobarà. De la mateixa manera que no hi ha una bola que colpeja primer, no hi ha una persona que existeix primer.

Tot i així, segurament per donar més atenció a l'espectador, es fa creure que existeix la possibilitat de canviar el passat com en la teoria del multivers, i que per tant sempre s'ha de vigilar de no canviar fets importants. Durant tota la pel·lícula es podria pensar que això és una simple creença dels personatges i que en realitat l'estructura i les conseqüències d'un viatge en el temps són com en el principi d'autoconsistència. Però al final de la pel·lícula, quan John parla amb el terrorista, aquest li explica que ha comès els assassinats per tal de salvar altres vides. Segons diu, en les explosions que hi ha hagut, si no hi haguessin estat haurien mort encara més persones i que ell les ha salvat. Aquí es deixa una evidència del Multivers.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Com s'ha explicat, la pel·lícula segueix el principi d'autoconsistència al peu de la lletra (deixant de banda el petit comentari a favor del multivers del final), cosa molt interessant ja que no hi ha moltes pel·lícules que ho facin. Altres exemples de pel·lícules que el segueixen completament són "Timeline", "Time crimes", o "Terminator I" (veure apartat de llista de pel·lícules amb viatge en el temps).

La teoria del multivers hi és present en l'última escena, però ja que aquesta afirmació no té molta relació amb la trama general de la pel·lícula es pot considerar un petit error i es pot incloure a la llista de pel·lícules que segueixen el principi d'autoconsistència completament. Evidentment, es pot entendre el motiu pel qual la ficció introdueix en petits aspectes el multivers: per fer creure a l'espectador que tot el que ells s'imaginaven que passarà canviarà, és a dir, per donar emoció. De tota manera, cal reconèixer com de brillant és la història. Tot lliga en un bucle gegant. La pel·lícula està inspirada en una narració anomenada *All you zombies*, però ja sigui al director o a l'escriptor, cal elogiar-lo per aquesta obra que porta al límit una modalitat de viatge en el temps.

3.10. Looper

"The first principle is that you must not fool yourself- and you are the easiest person to fool"

"Cartago Cult Science"

Títol: Looper

Director: Rian Johnson

Guionista: Rian Johnson

Actors:

Bruce Willis, Joseph Gordon-Levitt,
Emily Blunt

Nacionalitat: Estats Units

Any d'estrena: 2012

Argument:

A l'any 2042 la màquina del temps encara no ha estat inventada, però el 2072 sí. Els governs ràpidament la prohibiran i quedarà apartada per a un ús en secret. Les organitzacions secretes del futur envien les persones de les quals es volen desfer al passat, és a dir, al 2042. Allí, una organització d'assassins, els looper, s'encarreguen d'assassinar aquest enviat i cremar el cos. D'aquesta manera el cos desapareix del futur i els looper l'eliminen del present ja que és un cos que tècnicament no existeix perquè no està documentat. Un d'aquests looper és en Joe (Joseph Gordon-Levitt), a qui se li complica la vida al encarregar-se-li un assassinat especial, ell mateix.

Resum de la trama:

Al trobar-se amb l'obligació d'assassinar-se ell mateix, dubta, però finalment ho fa. Això vol dir que al cap de trenta anys l'enviaran al passat i l'assassinaran. Un cop s'ha matat ell mateix li queden trenta anys de vida que els passa vivint de luxe amb els diners que ha estalviat i li ha pagat l'organització al retirar-se.

Però, inevitablement, un dia el vénen a buscar i assassinen la seva dona. Abans que l'enviïn, ataca els segrestadors i es posa ell mateix a la màquina deslligat i amb la cara descoberta. Un cop es troba amb ell mateix del passat, evita que el mati i l'estaborneix.



Joe del futur (Bruce Willis) té la intenció de matar un nadó que en el futur, serà el creador de l'organització i, per tant, si ho evita, la seva dona encara viurà. El problema és que en aquella ciutat hi ha tres nadons que van néixer el mateix dia i al mateix hospital que el creador i Joe pren la cruel decisió de matar-los a tots tres. Al Joe del present el persegueixen els de l'organització per haver deixat escapar al seu jo futur. Els dos Joe se citen en un bar i mantenen una discussió en què el Joe present (Joseph Gordon-Levitt) li roba la direcció d'un dels nadons. El Joe del present es dirigeix a aquesta direcció on coneix a Sarah (Emily Blunt) i el seu fill Cid, amb la intenció de matar al seu jo del futur i acabar la missió que tenia. Un cop a la casa, li agafa simpatia al nen i s'enamora de Sarah, de manera que decideix protegir-los d'ell mateix.

El Joe del futur (Bruce Willis), mentrestant, assassina un dels nadons, però mentre intenta assassinar el segon, l'organització el troba i l'agafa. S'aconsegueix lliurar dels grillons i mata a tota la organització. Llavors, es dirigeix on és el seu jo del passat, la casa de Sara i Cid.

Arribada aquesta situació, ja se sap que Cid és el creador, el nen té el poder molt potent de la telecinesi i és capaç de matar algú solament mirant-lo. Aquest poder és el que en el futur li permetrà crear l'organització.

En aquest punt de la pel·lícula es produeix una escena molt impactant en què el nen corre per escapar-se dins d'un camp de blat, el Joe del futur l'apunta amb una pistola per matar-lo abans que hi entri, la mare s'hi interposa i intenta impedir que mori el seu fill, i el Joe del present es troba molt més lluny i no pot fer res més que mirar. De sobte, el Joe del present s'adona que tot és un cercle; al haver mort la seva mare, el nen, amb tot el seu potencial, se sent perdut i sol. Llavors decideix crear la organització i dirigir-se pel mal camí de la vida. És a dir, el viatge que fa Bruce Willis en el temps per salvar la seva dona és el mateix que produeix que la seva dona mori. Si Bruce Willis mata a la mare, el nen crearà la organització però ell creurà que el que està fent és impedir que es creï.

Al adonar-se d'això, el Joe del present decideix canviar-ho, es suïcida i, per tant, el Joe futur desapareix, la mare no mor i el nen pot créixer amb l'ajuda de la mare: pel bon camí, sense crear l'organització.

Teories científiques que se citen: -

Teories científiques que no se citen però són presents: Principi d'autoconsistència, Multivers

Relació entre les teories científiques i la trama:

Durant tota la pel·lícula es defensa que es pot canviar el futur i el passat, és a dir, que al viatjar al passat es crea un univers paral·lel on els fets transcorren diferent de com el viatger en el temps els ha vist. Per posar un exemple, al principi de la pel·lícula, un amic d'en Joe deixa escapar el seu loop, que consisteix en deixar viure el teu jo del futur. L'organització agafa l'amic i li va tallant parts del cos. Com que a qui li tallen parts del cos és al del passat, al seu jo del futur li van desapareixent les parts tallades com si fossin cicatrius. De manera que, si es canvia al del passat, aquests canvis també es produeixen en el del futur. De la mateixa manera, si es canvia el passat, com és aquest cas, el futur ja no transcorrerà com ho hauria fet. L'amic, al tallar-li tantes parts, mor i per tant no viurà tot el que el seu jo del futur havia viscut. Aquest fet es pot relacionar amb el multivers. Cada vegada que es viatja al passat es crea un univers paral·lel on els fets transcorren de forma diferent. Tot i així, com que el del futur canvia és com si el del futur fos el seu jo de l'altre univers paral·lel i això no té sentit. Encara que es canviés el passat ell estaria igual perquè seria el seu jo de l'altre univers que el canviaria, no ell.

Més endavant, a l'escena impactant que s'ha citat, Joe entén que realment no es pot canviar el passat, i que l'intent de canviar-lo és el que produeix que sigui com és. Aquest fet seguiria el principi d'autoconsistència de Novikov. El Joe del futur, és a dir Bruce Willis, viatja al passat amb la intenció de salvar la seva dona però el que realment fa el seu viatge és produir que l'organització es creï i que per tant, mori la seva dona.

Finalment, Joe del passat decideix canviar-ho i se suïcida disparant-se a ell mateix. Com que mor ell, ell del futur desapareix i el nen i la mare se salven. Aquest fet retorna a la teoria del multivers en que es canvia el passat i que per tant, els fets que passen en l'altre univers són diferents dels que haurien passat a l'original.

Avaluació de l'ús de les teories científiques:

Com s'ha explicat, *Looper* segueix dues teories que es contradueixen, una diu que es pot canviar el passat (Multivers) i l'altre diu que l'intent de canviar-lo és el que produirà la voluntat de voler-lo canviar (Principi d'autoconsistència). *Looper* aposta per un cinema lliure de les teories científiques, un cinema que no té uns límits, on el director i guionista escriuen el que els convé per tal de captar l'espectador. En definitiva, la pel·lícula superposa els interessos cinematogràfics davant de les teories científiques deixant aquestes en una posició marginal on el que diuen importa ben poc. És una posició respectable a l'hora de fer cinema ja que sovint les teories o són massa complicades o impedeixen que l'espectador es pugui endur sorpreses. Si la pel·lícula seguís solament el principi

d'autoconsistència, no tindria gràcia ja que quasi se'n podria deduir el final. Si, al contrari, seguís solament el Multivers, es perdria la sensació que es dona a l'espectador de que tot està lligat des del principi. Per tant, s'aposta per seguir les dues teories i rebre els beneficis cinematogràfics que aporten les dues. Es defensa unes pel·lícules de ciència-ficció que realment el que són sigui pel·lícules de ficció. Al cap i a la fi és una forma d'entendre les pel·lícules d'aquest gènere. Tal i com diu el Joe del futur interpretat per Bruce Willis: *"I don't wanna talk about time travel shit. Cause if we start talking about it, then we're gonna be here all day talking about it, making diagrams with straws. It doesn't matter."*

4. Llistat de pel·lícules vistes durant el treball

Seguidament, per acabar el comentari de pel·lícules, hem realitzat una llista de pel·lícules de ciència ficció que hem vist durant el treball. Les hem classificat en dos grups: les que tenen viatges en el temps i les que no. Dins el primer grup, hem distingit les que apliquen el multivers i les que fan servir el principi d'autoconsistència, dins el segon, les que apareix el multivers sense viatge en el temps, i les que tracten de l'espai exterior.

Finalment, hem anomenat només els noms d'algunes de les pel·lícules de ciència ficció que no tracten els temes que interessin a aquest treball però podrien ser molt interessants per a altres àmbits.

4.1. Llista de pel·lícules fent referència a viatges en el temps

4.1.1. Seguint la teoria del Multivers:

-I'll follow you down: En una família feliç el pare marxa un dia en un viatge de negoci, però malauradament no en torna mai, desapareix. La mare queda profundament afectada i es torna depressiva. El fill (Haley Joel Osment), que anys més tard estudia física a la classe que fa el seu avi, intenta no pensar-hi i està preocupat per la seva mare, que un dia es suïcida. L'avi li explica que va trobar el diari del seu pare i va descobrir que va fer una màquina del temps. Els dos intenten fer-la també i al cap de mesos de treball ho aconsegueixen. Ell viatja al passat i parla amb el seu pare. Li diu que ha de tornar perquè tornin a ser una família feliç, que la seva mare no es suïcidi. Com que veu que no l'acaba de convèncer es dispara ell mateix al cap. El pare, per evitar la mort del seu fill, renuncia a fer el que volia fer al passat i torna a casa el dia en què havia de tornar del viatge. Al tornar al passat, ha creat un univers paral·lel en què ell està viu i per tant ni la mare ni el fill moren.

-Déjà vu: Un investigador de la policia (Denzel Washington) investiga un cas terrorista que ha fet explotar un ferri. Es descobreix com crear un forat de cuc que els permet veure el passat amb tota claredat, com si fos una càmera. Finalment ell decideix passar a través del forat i evitar l'explosió. Ho aconsegueix i, per tant, es crea un univers paral·lel on el ferri no ha explotat.

-Back to the future: Un noi viatja al passat amb un cotxe i coneix els seus pares de jove. Té la mala sort que la seva mare s'enamora d'ell i per tant, posa en perill la seva existència, ja que ella no s'enamorarà del seu pare. Comença a desaparèixer perquè està creant una realitat paral·lela on ell no existeix. Tot i així, aconsegueix arreglar-ho fent uns petits canvis del passat que provocaran una vida millor per a la seva vida en família en el futur. Com es pot veure, al

viatjar al passat, es pot canviar el que passarà, per tant s'obre la possibilitat d'un nou univers on els fets són diferents.

-Project Almanac: Un grup de joves descobreix una màquina que els permet viatjar en el temps. Canvien constantment el passat creant universos paral·lels. Tot va bé fins que comencen a descobrir els efectes de l'efecte papallona. Coses que per ells són bones provoquen la mort d'altres persones. Finalment, el protagonista decideix viatjar al passat i destruir la màquina.

-Rewind: Un grup de militars i una científica intenten evitar un atac terrorista a Nova York que matarà a nou milions de persones. El terrorista és un físic que va guanyar un premi Nobel. A través d'un forat de cuc que ha estat descobert, decideixen viatjar al passat, però descobreixen que no poden matar al físic perquè les conseqüències en el present serien catastròfiques. Finalment, decideixen evitar l'assassinat de la seva dona fent que el seu assassí pari de cometre crims i es preocupi més per la seva germana petita. Com que s'evita l'assassinat de la dona del físic, aconsegueixen evitar l'atac terrorista i es crea un univers paral·lel en què no hi ha hagut cap atemptat.

-Star Trek: (veure fitxa *Star Trek*)

-Source Code: (veure fitxa *Source Code*)

-Donnie Darko: (veure fitxa *Donnie Darko*)

-Looper: (veure fitxa *Looper*)

-X-men days of future past: Els X-men fugen d'uns robots preparats per a matar-los a ells: als mutants. S'escapen d'aquestes màquines perfectes per a matar d'una forma complicada, viatjant en el temps. Una mutant té la capacitat d'enviar la consciència d'algú al passat; quan els robots els troben, envien la consciència d'un d'ells al passat per tal d'avisar-los de que canviïn d'amagatall. Decideixen enviar a Wolverine (Hugh Jackman) 50 anys al passat per tal d'evitar que s'inventin els robots. Quan la consciència viatja al passat, el canvia i, finalment, aconsegueix eliminar la creació dels robots.

És un tipus de viatge en el temps especial, ja que el que viatja al passat és la consciència i no el cos com a tots els altres viatges en el temps de ficció. Tot i així, es defensa que es pot canviar el passat i que, per tant, quan es canvia, es crea un univers paral·lel on els fets transcorren de forma diferent de la que els personatges havien conegut. L'únic que recorda l'antic passat, però, és Wolverine, el que ha viatjat en el temps.

-Galaxy Quest: La pel·lícula en si és una paròdia a la sèrie Star Trek. L'argument no té importància pel què al treball interessa, excepte que en les últimes

escenes es produeix un viatge en el temps. L'enemic, un assaltant d'una altra nau estel·lar que pot canviar la seva forma, entra a la sala de comandament de la nau on hi ha els protagonistes amb la forma d'un amic seu i els assassina a tots. El protagonista, però, abans de morir, activa un dispositiu que permet viatjar 13 segons enrere en el temps i, per tant, quan l'enemic entra, li dispara i el deixa fora de joc. En aquest viatge en el temps es pot canviar el passat i s'intueix que els personatges després del viatge viuen en un altre univers amb fets diferents.

-Ticking clock: El protagonista (Cuba Gooding Jr.) és un reporter especialitzat en casos criminals. Un dia va a casa la seva amant i la troba morta, ha estat assassinada. Veu l'assassí i el segueix corrents, però aquest desapareix oblidant-se del seu diari personal on apuntava el nom de les seves víctimes. Ell el troba i descobreix que aquest assassí ve del futur, ja que té retalls de diari d'assassinats de gent que encara viu. Decideix intentar evitar-los. A través de l'estudi de les empremtes dactilars de l'assassí en un dels retalls, s'adona que corresponen a les empremtes d'un nen orfe. En l'escena final s'encaren l'assassí i el protagonista i el nen apareix, sense voler l'assassí tira el nen, que és ell mateix, daltabaix de l'edifici. Quan el nen mor, l'assassí desapareix i es torna enrere en una realitat on l'assassí no ha pogut viatjar mai al passat ni matar ningú. Màgicament el protagonista recorda l'altre realitat i viu content en aquesta on el nen encara està viu i no es convertirà en assassí perquè portarà el bon camí. Tot plegat és una concepció força fantasiosa del viatge en el temps, ja que barreja fets que s'han pogut canviar i d'altres no. És evident que es deixa a intuir que quan algú canvia el passat s'obre un altre *recorregut*, és a dir, un altre univers paral·lel. Fins aquí es podria acceptar però com pot tindre l'assassí retalls de diari de víctimes que encara no ha assassinat i que si ell no hagués viatjat en el temps encara serien vives? En quina realitat ha aconseguit els retalls? En l'univers del qual prové les víctimes estan vives i no s'ha imprès tal retall i en el que ha viatjat encara no les ha assassinat. Un altre fet fantasiós és: com es pot recordar els fets d'un altre univers paral·lel que teòricament en l'univers en què estàs no han passat mai? I encara que es poguessin recordar, com és que només els recorda el protagonista? En definitiva, és un exemple de pel·lícula que es pren els viatges en el temps tal i com li convé només citant algunes característiques de certes teories perquè l'espectador es quedi tranquil i pensi que ho ha entès tot.

-The girl who leapt through time: Una noia d'institut un dia troba una espècie d'objecte que li permet viatjar al passat i canviar fets. Per tant, un cop ha viatjat i canviat alguna cosa, tot és diferent i s'està a un univers paral·lel. Sempre intenta ajudar els altres però sempre acaba esdevenint perjudicial per algú altre,

ja que fets bons per ella suposen fets dolents per altres fent referència a l'anomenat efecte papallona.

-Prince of Persia: Pel que fa a l'argument és poc rellevant. El que a aquest treball interessa és un fet concret: el protagonista té un punyal capaç de tirar enrere en el temps, uns segons. Es tracta evidentment d'un viatge en el passat en què aquest es pot canviar. Per tant, com en els casos anteriors es tractaria de canviar d'univers. Tot i així, en aquest cas es produeix un fet curiós: quan el protagonista va al passat viu les imatges d'aquests pocs segons del revés i a càmera lenta. Aquest podria ser un fet relacionat amb una segona dimensió temporal enrotllada com s'ha comentat per exemple a la fitxa de *Edge of tomorrow*.

-Terminator II: (Llegir primer *Terminator I* a l'apartat següent)(pàgina 122) Després d'evitar que Sarah Connor morís, s'envien dos terminators, un enviat pels rebels (Arnold Schwarzenegger) amb la missió de protegir John Connor que ja és nen, i un altre amb la missió d'eliminar-lo enviat pels robots. Sarah, John i el terminator planegen un pla per evitar l'hegemonia dels robots, pretenen eliminar la fàbrica on s'han creat i eliminar el seu creador. Després de nombrosos enfrontaments amb el terminator *dolent*, aconsegueixen el seu propòsit i canvien el futur. Un altre clar exemple de viatge en el temps segons el Multivers.

-The Butterfly Effect: En aquesta pel·lícula s'explica la vida d'un nen, té lapsus de memòria i de vegades no recorda el que acaba de fer. El psicòleg li recomana escriure un diari cada dia i el nen ho fa. Quan és més gran (Ashton Kutchner) troba aquests escrits i s'adona que si els llegeix pot viatjar al passat, concretament al moment del qual parla l'escrit. Quan ho fa, torna a ser un nen i pot canviar les seves accions d'aquell moment, ell canvia fets decisius en la seva vida. Mentre viatja està inconscient i quan desperta (si ha canviat el passat) tot és diferent. Sempre intenta fer el millor pels altres i que tothom sigui feliç, però s'adona que és impossible, d'una manera o altre algú pateix. Finalment decideix fer que tot sigui d'una manera en què tothom és feliç menys ell (que no ha aconseguit l'amor de la seva vida) i crema els diaris.

És perfectament apreciable que, quan es viatja al passat, es canvia d'univers en el present. El títol de la pel·lícula indica que canviant solament un fet en un moment del passat es pot canviar tota la teva vida. El que és curiós d'aquesta pel·lícula, és que per una banda es canvia el passat, és a dir es passa a un altre univers, i per l'altre en alguns viatges dels que fa no el canvia. En alguns moments viatja als moments en què tenia els lapsus i s'adona que el lapsus li venien del viatge en el temps que havia fet de gran. Dit d'altra manera, quan ell

era petit el lapsus li va venir perquè el seu jo del futur havia viatjat en aquell moment, fet que corroboraria el principi d'autoconsistència en què no es pot canviar el passat. Però apart dels viatges en el temps, el que pretén ensenyar la pel·lícula és el concepte de què el que fem en cada moment té una vital importància per a la nostra vida futura i fins i tot per a la vida dels altres.

-Terminator V: (Llegir *Terminator I* apartat principi d'autoconsistència) Quan Kyle Reese és enviat al passat per salvar Sarah Connor, es troba que el passat ha estat canviat i que un altre terminator havia estat enviat quan Sarah era una nena. Però els rebels n'havien enviat un altre que l'havia salvat. En aquest passat canviat, Kyle Reese es troba amb una Sarah Connor combativa que lluita al costat d'un terminator (Arnold Schwarzenegger) contra el terminator que es va enviar quan ella era petita. Aconsegueixen escapar-se'n i viatgen al futur per tal d'evitar l'explosió. En aquest passat canviat, l'explosió és més tard i per tant, Kyle ha tingut una infància feliç. Màgicament ell recorda aquesta infància encara que no l'ha viscuda. Gràcies a aquest passat canviat, ell recorda unes paraules de quan era nen que li indiquen que l'explosió serà més tard.

Un cop arriben al futur, acaben descobrint que John Connor ha estat convertit en un terminator i que afavoreix l'explosió.

Finalment, després de nombroses persecucions, aconsegueixen evitar l'explosió i Kyle, que es troba amb ell mateix de nen, li diu les paraules que recordava i li havien permès saber l'any en què havien de viatjar.

Pel que fa al fet que ell recordi el passat d'un altre univers, no té sentit, perquè ell és una persona diferent de la que és el nen que ha viscut l'altre univers. No pel fet que ell hagi canviat d'univers significa que pugui recordar el passat d'aquest.

Al final de la pel·lícula, quan ell li diu al nen les paraules que ha de recordar, es produeix un altre fet sense sentit. El nen, com que ells han evitat l'explosió, no la viurà i no hi haurà un altre ell que hagi de recordar-les, perquè han canviat d'univers i, en aquell univers, el nen, quan sigui gran, no farà cap viatge en el temps. Seria com un intent de posar el principi d'autoconsistència per donar la sensació que tot està lligat. És un exemple de pel·lícula com *Looper*, que fa que els viatges en el temps de la pel·lícula siguin com el guionista creu i com li va bé a la trama.

-Frequency : John, un policia, viu frustrat i nostàlgic pensant en la mort del seu pare 30 anys enrere. Una nit en què hi ha unes aurores boreals molt espectaculars, es posa a jugar amb l'antiga màquina de comunicacions del seu pare i entra en contacte, per casualitat, amb ell, 30 anys en el passat. El convenç

del seu futur accident en un incendi i el salva. En aquest moment han alterat el passat i les coses passen de forma diferent. La nit en què Frank (el pare) hauria d'haver estat mort i la mare a casa, ell arriba a l'hospital, que és on treballa la seva dona i la visita. La mare de John aquella nit salva la vida d'un pacient que sense saber-ho és un assassí en sèrie que dos setmanes després la mataria a ella mateixa. Com que ha salvat la vida d'aquell home, s'ha tornat a canviar el passat i la mare de John desapareix del futur on viu John. Quan s'adonen del seu error, pare i fill intenten aturar l'assassí en els seus altres crims d'abans de la seva mare però un a un fracassen. En un dels intents, l'assassí estaborneix a Frank i li roba el carnet de conduir. Quan se n'adona, John li demana al seu pare que deixi la cartera que ha tocat l'assassí en un lloc en què estigui segur que ningú tocarà en els pròxims 30 anys. Miraculosament la cartera apareix al futur i John analitza les empremtes dactilars. Descobreix que corresponen a un policia. Frank, que al aparèixer sempre involucrat en tots els casos de l'assassí en sèrie, passa a ser sospitós i és detingut. Un cop a comissaria, el policia que en realitat és l'assassí entra a l'habitació on es troba Frank i es barallen. Frank aconsegueix deixar-lo inconscient i es dirigeix cap a la casa de l'assassí per demostrar que aquell home és el culpable. Un cop a casa de l'home, Shephard (l'assassí) se'l troba i es tornen a barallar. Frank aconsegueix deixar a un lloc visible les fotografies que ha trobat de totes les víctimes i fuig. Shephard el persegueix fins a una fàbrica abandonada. La policia, que ja ha trobat les proves que incriminen a Shephard, arriben també allí, però Shephard ha desaparegut sota l'aigua i Frank no l'ha pogut trobar.

Un cop a casa, mentre parlen pare i fill, Shephard entra a la casa: a la del futur i a la del passat. Tan el Shephard del futur com el del passat ataquen a pare i fill, un a cada temps. Quan tot sembla perdut Frank li dispara a la mà al Shephard del passat i al del futur li desapareix la mà. Llavors, al haver evitat la mort de Frank en el passat, Frank apareix al futur, ja que no ha mort, i dispara al Shephard que amenaçava al seu fill.

Es tracta d'una pel·lícula en què no hi ha cap viatge al passat sinó una connexió entre els dos temps. No s'especifica perquè es produeix aquest fet, s'atribueix al fenomen rar de l'aurora boreal amplificada. És evident que la pel·lícula mostra que es pot canviar el passat, quan Frank fa una acció diferent de la que hauria d'haver fet perquè el seu fill l'avisava, el futur canvia. Tot i així, és estrany, ja que al canviar el passat es podria dir que John viu a un univers paral·lel i Frank també, és a dir, la connexió que estableix la màquina de ràdio només els permet comunicar-los sinó canviar-los als dos d'univers, d'altra manera no es podrien seguir comunicant. En aquest cas, però, no es produeix com, per exemple a *Butterfly Effect*, on el protagonista es despertava en una línia temporal diferent.

El futur canvia davant dels seus ulls, la mà desapareix, la cartera apareix... En definitiva, una altra forma fantàsica de veure el canvi del passat.

-About time: Tim Lake (Domnhall Gleeson) és un jove a qui el seu pare li revela el major secret que s'ha explicat mai. Els homes de la seva família tenen la capacitat de viatjar en el temps. Simplement s'han de col·locar en un lloc tancat i es transporten. El seu pare li adverteix de no usar aquest do per aconseguir fama o diners i ell decideix usar-lo per millorar la seva vida amorosa. Coneix a Mary (Rachel McAdams) i se n'enamora. Gràcies al seu do aconsegueix casar-se amb ella i tenen fills. Després de nombrosos viatges en el temps, Tim decideix que és millor no viatjar més i viure la vida com si cada dia fos únic i no el pogués repetir.

En els viatges en el temps s'hi aprecia el multivers, ja que un cop viatja, les coses poden canviar i significa que s'ha entrat en un univers diferent. Però, tot i així, hi ha certs errors. En alguns viatges les coses no canvien quan ho haurien d'haver fet, Tim ja no ha de tornar a viure tot el que ha viscut un cop viatjat, sinó que pot tornar altre cop... En fi, la pel·lícula més que una pel·lícula per explicar i donar una teoria sobre els viatges en el temps, els usa com a un recurs per transmetre un missatge. Prefereix ensenyar que és millor aprofitar cada dia com si fos l'últim. És un tipus de tractament de viatges en el temps interessant tot i que diferent de les pel·lícules que intenten explicar-lo realment.

4.1.2. Principi d'autoconsistència:

Comentarem que a les marcades no es pot apreciar si es canvia el passat o no i per tant no es pot determinar si es tracta d'una teoria o de l'altre.

-Timeline: Un grup d'arqueòlegs troba una cripta enterrada en un monestir que no s'obria des de feia més de 600 anys. Dins, hi troben les ulleres del seu professor i una carta demanant ajuda, des de l'època medieval. Es dirigeixen on havia anat el professor i descobreixen que hi ha una màquina del temps que els pot transportar a l'època medieval. Allí passen aventures vivint fets històrics importants i intentant no canviar-los. Finalment, s'adonen que, als fets històrics que coneixien, ells ja hi estaven inclosos i que per tant, no podien canviar res. Es podria tractar d'un cas de principi d'autoconsistència, ja que al fer el viatge al passat, aquest no es pot canviar, sinó que el que ells intentaven no canviar, havia estat originalment provocat per ells.

-Interstellar: (veure fitxa *Interstellar*)

-Minority Report: En un indeterminat futur ha sorgit una eina del govern que permet veure crims futurs. Aquesta eina són els precoc, humans mutats amb la capacitat de somniar en el futur. Aquesta organització utilitza aquests somnis

per evitar els crims i detenir l'assassí abans que cometi el crim. Un dels millors agents de l'organització (Tom Cruise) s'adona que, en un dels somnis que està tenint un dels precoc, hi apareix ell cometent un assassinat. Sorprès, fuig i intenta evitar l'assassinat tot i que no coneix la víctima. Es produeixen una gran quantitat de persecucions i, al final, tot el porta a l'habitació de la víctima que sembla ser el que va segrestar el fill del protagonista fa anys. Finalment, s'adona que ell no és el que el va segrestar, sinó que l'han contractat per fer-li-ho creure. Tot i així, l'home provoca que ell el dispari, perquè li han promès que si ell mor, la seva família viurà feliç. El que ha contractat aquell home resulta ser el creador de l'organització, que, gràcies al protagonista, acaba sent descobert.

En el cas de l'assassinat que comet el protagonista es pot apreciar que no es pot canviar el futur, acaba fent-ho igual. El fet de veure el futur és el que provoca que el compleixi i el dugui a terme, per tant es podria dir que es compleix el principi d'autoconsistència. Tot i així, en els casos d'assassinats que se suposa que s'han aturat, el futur s'ha canviat, per tant els fets han passat diferent i es podria dir que s'aplica el multivers. Però llavors perquè els precoc poden veure una de les possibilitats i no totes dues? També es podria discutir sobre la possibilitat de veure el futur. Però ja que no se'n donen explicacions no en farem comentaris.

En definitiva, és bàsicament una pel·lícula favorable al principi d'autoconsistència, però que obre la possibilitat, en alguns casos, del multivers per dotar a l'espectador del dubte de si el protagonista se'n sortirà o no, és a dir, per donar expectació.

-Terminator I: Un robot (Arnold Schwarzenegger) és enviat des del futur per matar a una noia, Sarah Connor. Ella serà en un futur la mare de l'home que aconseguirà vèncer els robots. Aquest home, John Connor, capità dels rebels, envia a la seva mà dreta, Kyle Reese, per evitar l'assassinat. Després de nombroses accions i lluites, hi ha una escena en què Kyle i Sarah tenen relacions sexuals en un motel mentre fugen del terminator (el robot), en aquesta escena, encara que els personatges no ho saben, Sarah queda embarassada. El dia següent el terminator els troba, mata a Kyle però Sarah l'aconsegueix aturar. John sabia que Kyle era el seu pare i per aquest motiu l'havia enviat a ell. Es pot apreciar que s'aplica el principi d'autoconsistència, ja que el viatge de Kyle és el que provoca que hagi pogut ser enviat. Per tant, teòricament, si John sabia el que passaria no hauria hagut de patir per res. Evidentment aquesta informació es reserva pel final per no treure expectació.

-The Jacket*: El protagonista (Adrien Brody) és un boig en un manicomi. Allí és tancat unes hores com a càstig dins una caixa. Però un dia s'adona que quan és

a la caixa viatja 20 anys al futur. Allí s'enamora d'una noia (Keira Knightley) i a partir d'aquell moment desitja ser tancat a la caixa per veure-la. No s'especifica com es viatja i es deixa intuir, en un moment, que es pot canviar el passat, però en la majoria de la pel·lícula intuirem que no es pot. El viatge en el temps no té importància a la pel·lícula, simplement la relació entre els personatges i el que li passa al protagonista.

-Predestination: (veure fitxa *Predestination*)

-Time Crimes: El protagonista és atacat per un home estrany al bosc i fuig a una casa, on troba una màquina del temps que li permet viatjar a aquell mateix matí. Té un accident amb el cotxe i es fereix el cap, se l'embena i no se'l pot reconèixer. Resulta que ell mateix és l'home estrany que s'havia atacat. Mentre resol uns assumptes amb una noia que havia estat involucrada, aquesta s'escapa, concretament a la casa del protagonista. Allí, hi ha una persecució i, al final, ell acaba pensant que ha matat la seva dona. Decideix fer un segon viatge en el temps per evitar-ho. Ell mateix és el que provoca l'accident de cotxe i fa que la noia es talli els cabells per tal de confondre el *segon ell* i fer-li pensar que ha matat la seva dona. Llavors, la dona arriba, seuen a la gespa i escolten silenciosament com el segon es dirigeix a fer el seu segon viatge.

És un clar exemple del principi d'autoconsistència i, com a *Predestination*, no es dóna un motiu concret per al viatge en el temps, ja que la motivació de viatjar ve del futur i la motivació de fer que es vulgui viatjar ve del passat. És un cercle que no té inici.

-Midnight in Paris*: Un home casat (Owen Wilson) està de viatge amb la seva dona (Rachel McAdams) a París. Un dia, es perd pels carrers a les dotze de la nit, apareix un taxi antic i hi puja. Llavors s'adona que està al 1920 i coneix a una noia (Marion Cotillard). Ella vol viure 20 anys abans i no en aquella època i esperen el taxi al mateix lloc. Finalment, arriben a aquesta època però ell acaba tornant a la seva.

No s'especifica com es viatja en el temps ni tampoc si es canvia o no el passat.

-Looper: (veure fitxa *Looper*)

-Contact*: Una científica (Jodie Foster) treballa a connexions alienígenes. Un dia rep un senyal de l'espai exterior, cert tipus d'intel·ligència. Amb un grup de científics acaben desxifrant el missatge i descobreixen que són les instruccions per fer una espècie de nau. Un cop construïda, ella és escollida per pujar-hi. Quan s'encén la nau, ella es troba en una càpsula que teòricament ha de passar per un forat de cuc. Llavors, la protagonista comença a fer un enorme viatge on veu tot tipus de meravelles. Finalment, arriba a un lloc fantasiós que sembla ser

una espècie de *regne dels morts* on troba el seu pare. Quan torna, li diuen que la nau no ha desaparegut en cap moment i no la creuen. Es tracta d'un forat de cuc amb viatge en l'espai i no s'especifica si també és en el temps o no.

-The time traveller's wife: Henry DeTamble (Eric Bana) és un bibliotecari de Chicago que pateix una disfunció genètica important que li permet fer viatges aleatoris en el temps. El problema és que no pot controlar ni el moment en què els fa ni on va. Quan viatja, apareix sense roba. Al principi li és difícil però després s'hi acostuma, només ha d'esperar a tornar al seu temps normal, com si fos un efecte que passés.

Un dia coneix a una noia, Claire Abshire (Rachel McAdams). Ella sembla reconèixer-lo. Li diu que ell és l'amor de la seva vida i que l'ha estat esperant molt de temps. Ell encara no ho sap però el primer cop que aquella noia el veurà serà quan ella tenia 6 anys i ell va fer un viatge en el temps i se la va trobar (un viatge que encara no ha fet). Tots dos s'enamoren i inicien una relació. Tenen problemes amb l'estranya condició de viatge en el temps de Henry però ho aconsegueixen superar. Un dia, apareix ell mateix del futur al rebedor de casa seva, té una ferida de bala a l'estomac. Agonitza, es mor. Ells queden afectats, ja que saben que en un dels seus viatges ell serà assassinat i no saben quan. Finalment el temps passa i ell acaba descobrint quan serà. Un cop arribat el dia, diu adéu a Claire i els seus amics i espera la mort. Apareix enmig un camp gelat, enmig d'uns arbres. Sent uns caçadors que criden i un tret. Apareix ferit al passat i torna a aparèixer on hi ha la seva dona. Allí mor en mans dels seus éssers estimats.

La pel·lícula segueix el principi d'autoconsistència, ja que no es pot canviar el passat. Quan ell du a terme les accions d'algun dels seus viatges en el temps, aquestes ja han estat dutes a terme pel seu jo del futur. No pot canviar res. En aquest cas no hi ha un motiu de viatge en el temps perquè és aleatori, però igualment, res del que es faci en un temps diferent serà un canvi.

-12 Monkeys: La raça humana va ser exterminada el 1996 per un virus mortal. Només un 1% de la civilització va sobreviure. James Cole és un presoner del futur, pertanyent a aquesta minoria. Els científics l'envien al passat perquè recopili informació sobre el virus. Cole intenta aconseguir informació sobre aquest, però la seva creença i la seva realitat trontollen. Comença a creure que està boig. Recorda una imatge de quan era petit en un aeroport. Un home corria darrere un altre i era abatut a trets per un policia, una dona s'hi apropava i plorava.

Mentre està al passat, coneix a una psicòloga, amb la que investiguen la suposada organització que va iniciar la plaga: els 12 Monkeys. Intenten aturar-

la, però al final resulta que simplement són una organització (que defensa els animals) que va alliberar tots els animals d'un zoo i els va deixar lliures per la ciutat.

Alleujats per la descoberta del malentès, es dirigeixen a l'aeroport: James ha decidit quedar-se al passat i no vol tornar. Un cop allí, s'adonen de qui era realment el que va transmetre el virus: un ajudant del premi Nobel en biologia. El persegueixen allí dins. El culpable vol repartir el virus per tots els continents, i intenta fugir d'ells. Aconsegueix creuar el detector de metalls i Cole no pot. James ho intenta i persegueix a l'home amb una pistola, però un policia el dispara. La psicòloga corre darrere d'ell i plora. De cop, la noia es gira i veu a un nen que la mira, s'assembla a Cole.

L'avió amb el virus s'enlaira i no poden fer res per aturar la plaga.

La pel·lícula segueix el principi d'autoconsistència, ja que no s'ha pogut canviar el passat. El cas més evident és el de quan James és un nen i presencia l'escena de l'aeroport. Realment aquell és ell mateix però no ho sap. Quan fa el viatge al passat, no pot fer res per canviar el destí tràgic de la humanitat. Tots els seus intents de canviar la història són els que provoquen que la història sigui com és.

4.2. Llista de pel·lícules en què no apareix un viatge en el temps

4.2.1. Seguint la teoria del Multivers:

-Groundhog day: Phill Connors (Bill Murray) queda atrapat en un lapse temporal del qual no pot sortir. Viu una i altre vegada el mateix dia. Aconsegueix escapar-se'n canviant la seva personalitat i sent més amable amb tothom. Segueix la teoria del Multivers ja que cada dia és un univers diferent.

-Another Earth: Una noia que havia matat a una família per accident de cotxe surt després d'uns anys de la presó. Al cel s'hi pot distingir la lluna i també la terra, una altre terra. Cada vegada s'acosta més. És seleccionada per viatjar allà dalt, a l'altre terra. La pel·lícula s'acaba quan es troba amb ella mateixa de l'altre terra que ha viatjat cap a la seva. Dos universos paral·lels s'han creuat.

-Mr.Nobody: (veure fitxa *Mr.Nobody*)

-Coherence: La nit en què passa un cometa, un grup d'amics es troben en un sopar, tot va molt bé fins que comencen a passar coses estranyes. La llum se'n va i dos d'ells van caminant a una altra casa que veuen que té els llums oberts. Quan tornen un ha estat atacat amb un cop al cap. Decideixin sortir els altres i amb sorpresa es troben a ells mateixos a l'altre banda del carrer mirant-los. Tornen corrents a la casa. Al cap de moltes entrades i sortides veuen que hi ha moltes còpies d'ells mateixos. Decideixen marcar la casa on es troben posant-hi un objecte característic i certs números a unes fotografies. Continuen intentant visitar les altres cases amb ells mateixos a dins. Al final, la protagonista descobreix que cada vegada que algú surt de la casa no torna mai a la casa de la qual havia sortit, sinó que entra a una altre. De manera que la gent que hi ha a la casa on es troba no és la gent amb la que ha començat la nit. Embogida, decideix matar tots els seus jo. Al intentar assassinar la tercera, rellisca després d'haver-la colpejat al cap i perd el coneixement. Es desperta que ja és de dia i tot sembla un somni, es troba amb el seu novio i hi parla. Surten al carrer i de cop el novio rep una trucada, qui truca és ella mateixa.

S'han creuat durant aquella nit molts universos paral·lels i, al final, ella ha entrat a un altre i no en pot sortir. Hi ha dos persones iguals en un mateix univers.

-Cube II: Un grup de persones es troba tancada a una espècie de cub amb moltes sales, van canviant de sala i s'adonen que hi ha una quantitat molt gran d'aquestes. Allà dins, però, no estan sols, ells en altres universos també hi són i es creuen entre ells. Representa que el cub uneix molts universos paral·lels.

-Edge of tomorrow: (veure fitxa *Edge of tomorrow*)

4.2.2. Sobre l'espai exterior:

-Gravity: Un grup d'astronautes es troba en una estació espacial, tenen cura d'un satèl·lit. De cop, s'adonen que un satèl·lit proper ha estat destruït per raons no explicades i que trossos de satèl·lit es dirigeixen a tota velocitat en la seva direcció. Intenten protegir-se dins el satèl·lit però no ho aconsegueixen. Els membres van morint un a un i al final només la protagonista (Sandra Bullock) aconsegueix arribar a la terra. A la pel·lícula es mostren algunes de les condicions a les quals s'està exposat a l'espai exterior però no es tracten els temes analitzats en aquest treball.

-2001: A Space Odyssey: Es tracta d'una obra mestra i d'un gran referent en tota la ciència ficció. Pertany al cinema de culte i és una pel·lícula molt especial. Tracta sobre la possible evolució de l'ésser humà a través de l'acció de vida exterior a la terra, vida extraterrestre. Els objectes que representen el símbol de rastre alienígena són una espècie de monòlits de color negre.

El primer va aparèixer quan la terra encara estava poblada de simis. Aquest monòlit va donar intel·ligència a alguns espècimens i aquests són els que van evolucionar en els humans actuals.

El segon apareix en un panorama futur en què es fan expedicions a la lluna. Es detecta una forta alteració del camp gravitatori provinent d'un punt concret de la lluna. Allí troben un monòlit enterrat a 4 kilòmetres de profunditat que llença una radiació d'ones cap a Júpiter. Els humans envien una expedició de la qual, per motius diferents, només sobreviu un tripulant. Aquest tripulant arriba prop de Júpiter i es troba amb un tercer monòlit. Aquest monòlit es tracta d'una espècie de *transportador espacial* que el porta a un lloc llunyà. El porta a una habitació tancada. Es podria relacionar el tercer monòlit amb un forat de cuc i aquesta habitació tancada amb una de les branques explicades. El protagonista queda tancat en aquella habitació tota la seva vida fins que el dia en què mor, se li apareix un quart monòlit que representa que el fa evolucionar a una entitat superior representada per un nadó gegant amb intel·ligència sobrehumana. Aquest nadó té consciència d'on prové i pot viatjar lliurement per l'espai exterior.

Es tracta definitivament d'una gran obra mestra que va trencar amb tots els esquemes que hi havia de la ciència ficció i va condicionar el desenvolupament d'aquesta fins als nostres temps. Actualment podem relacionar alguns dels seus fets amb teories avançades però està clar que l'any en què es va fer la pel·lícula, 1968, encara no havien estat realitzades.

-Guardians of the Galaxy: Es tracta d'una típica pel·lícula de superherois en naus estel·lars. Evidentment es podria comentar la tecnologia que hi apareix i la forma de viatjar però en aquest treball no entrarem en detalls. La trama no és d'interès, però el *dolent* principal, té una arma poderosa que prové d'una singularitat. És a dir, es tracta la singularitat del forat negre com a una arma poderosa ancestral que té poders que un forat negre en realitat no té.

Un altre exemple de pel·lícula que adapta algun coneixement científic i el converteix en un element fantàstic.

-Star Wars: Tots coneixem la mítica saga de Star Wars. Està inclosa aquí per el gran nombre de viatges espacials i les condicions d'aquests viatges, com ara viatjar més ràpid que la llum. De fet ja s'ha comentat alguna de les seves escenes durant la teoria.

-Sunshine: Un grup de científics es dirigeix al sol amb una missió: tornar-lo a activar. Volen llençar-li un explosiu. Bàsicament, els temes pels quals seria interessant la pel·lícula serien l'estudi de la calor i els explosius suficientment potents. S'hauria d'estudiar si realment un cos pot apropar-se tant a la superfície d'una estrella.

-Star Trek: També hem comentat moltes aventures d'aquesta saga a la teoria i, per tant, ens interessa per més o menys els mateixos temes que *Star Wars*: viatges per l'espai, la bombolla de distorsió, més ràpid que la llum... Temes que ja hem comentat a la teoria i les seves conseqüències en les pel·lícula també.

4.3. Pel·lícules vistes de ciència ficció en què no es tractava el tema:

Ara citarem algunes pel·lícules més i explicarem els temes als quals interessaria cada pel·lícula. Cal remarcar que, en aquest cas, només hem posat alguns exemples i se'n podrien trobar moltes més. Bàsicament, pel que l'autor d'aquest treball ha trobat, les dividirem en dos grups: les que interessarien a la biologia i les que ho farien a la filosofia i física quàntica. En aquest segon cas, solament a les parts que es basen en el coneixement de la realitat.

4.3.1. Interès pel que fa a la biologia

-**Blade Runner:** Ètica (fent relació a com tractar diferents robots i humans), i biologia fent referència a la forma de fer aquest tipus de robots.

-**The man from earth:** Biologia (com es pot ser immortal)

-**Moon:** Ètica (com tractar els clons), i biologia (com crear-los)

4.3.2. Interès pel que fa al coneixement de la realitat (Filosofia i física quàntica)

-**Matrix:** Filosofia i física quàntica pel que respecta al coneixement de la realitat que no s'ha tractat en aquest treball

-**Inception:** Mateix tema que Matrix, ampliant a què signifiquen els somnis i si hi pot haver una realitat dins d'ells

-**Total Recall:** Filosofia, Física quàntica pel mateix motiu que Matrix i Inception

-**Repo Man:** Mateix motiu que Matrix

-**Birdman:** Coincideix en gran mesura amb Matrix i Inception però també afegeix temes de felicitat o realització personal.

5. Conclusió

Com hem vist, la ciència ficció s'interessa per determinades teories científiques i per alguns dels recursos que poden aportar. Cada una de les teories dota a la pel·lícula d'alguna característica. Ara ens disposarem a fer la conclusió d'aquest treball explicant cap a quin camí es dirigeix la ficció contemporània i per quines vies de la ciència es podria dirigir.

Hem vist una gran quantitat de teories i les hem explicat més o menys per ordre cronològic. Hem començat per la física clàssica, però aquesta no dóna cap tipus de recurs interessant al cinema. Simplement expressa el món tal i com el veiem en el nostre dia a dia. Quan comencem a introduir-nos en la teoria d'Einstein, la cosa canvia. Des de la relativitat especial es dóna la perspectiva que el temps no és una presó tan fixa com la que havíem imaginat, pot passar de diferent manera per a diferents persones. Llavors apareixen pel·lícules de caire de l'espai exterior com ara *The Planet of the Apes*, en què apareixen naus espacials viatjant a la velocitat de la llum i persones envellint més lentament. També van aparèixer fets com a *Superman*, en què el protagonista es posa a donar voltes a la Terra més ràpid que la velocitat de la llum de manera que el temps va enrere. Totes aquestes pel·lícules tenen un aire d'alliberament, és a dir, després de tants anys de creença que tot era tal i com es veia, de sobte les barreres es trenquen i es pot viure relativament 400 anys, fer viatges al futur, viatjar amb naus intergal·làctiques... Va ser tot una descoberta per a la ficció. El mateix passa en el cas de la relativitat general, tot i que normalment la ficció es centra en les seves conseqüències com ara els forats de cuc i els forats negres. Es presenten els forats negres com a objectes horribles que suposen un gran perill per a les naus espacials i als forats de cuc com a fàcils mètodes de viatge en el temps. Però, en certa manera, el resultat per a la ficció és el mateix que amb la relativitat especial, amb excepció que s'afegeix la possibilitat de viatjar molts anys al passat o a èpoques llunyanes.

Però llavors sorgeix la mecànica quàntica. Quines conseqüències té? No gaires, de sobte, la mecànica quàntica i la física quàntica es converteixen en una excusa per a la ficció. Ara bé, la majoria de fets no es corresponen a la teoria. És evident que també hi ha algunes excepcions com ara *Mr.Nobody* que ja hem analitzat. Però, quan els científics es comencen a plantejar el conflicte entre les dues teories (mecànica quàntica i relativitat), la ficció ja no sap per quin camí seguir.

En aquest panorama arriba la teoria de cordes, moltes pel·lícules la citen parlant d'una gran innovació com ara *Mr.Nobody* i *Interstellar*, i algunes altres també

n'utilitzen les seves conseqüències, encara que potser sense adonar-sen, com ara *Star Trek*.

Però definitivament, els aspectes que interessin més a la ficció són el Multivers i els viatges en el temps. El Multivers obre un gran món de possibilitats, ja sigui com a realitats paral·leles (*Coherence*), vides possibles (*Mr. Nobody*), repetició del mateix dia una i altra vegada amb fets diferents (*Groundhog day* i *Edge of tomorrow*), o fins i tot invenció de mitologies fantàstiques com ara a *Donnie Darko*. Tot i així, el Multivers sense usar el viatge en el temps no li arriba ni a la sola de la sabata als viatges en el temps.

El viatge en el temps és un dels temes claus de la ciència ficció contemporània. Potser perquè està relacionat amb el desig innat de la raça humana de sortir del temps, de reviuir fets, de canviar el passat, de viure el futur, de corregir errors... S'apliquen en una quantitat enorme de possibilitats. Un viatge en el temps, com hem vist, pot seguir dues teories. Cada una té també les seves conseqüències per a la ciència ficció. Les pel·lícules que segueixen el Multivers són d'un to molt alegre, moltes d'elles transmeten el tòpic literari "Carpe Diem", aprofita el moment ja que ho has fet tot perquè sigui com és. També tenen missatges més sentimentals com ara : "Viu cada dia com si fos l'últim", o "No pots fer feliç a tothom canviant el passat, així que no ho intentis". Hi ha un nombre enorme de pel·lícules que segueixen el Multivers amb viatge temporal, com hem vist. Però el principi d'autoconsistència també hi és present, cal dir, però, que en més petita mesura ja que és més complicat. Curiosament, les pel·lícules que usen aquest principi tenen un aire més gris, de consternació, acceptació de la realitat tal i com és, no de llibertat... Aquest recurs s'usa per impressionar l'espectador i fer-li veure que tot està lligat, que res és tant fàcil com diu el Multivers... Aquest tipus de pel·lícules són les que fan pensar a la gent i, al contrari del Multivers, no acostumen a donar missatges sentimentals o de companyerisme. Alguns exemples són *Predestination*, *12 Monkeys*, *Terminator I*... Cada una de les dues teories és usada, però la que predomina per damunt de l'altre és la del Multivers.

Cal afegir que, apart d'aquests dos tractaments sobre el viatge en el temps, la ficció n'afegeix un que combina les dues teories. Un exemple en seria *Looper* on es combinen les dues teories encara que siguin contradictòries. Aquest fet es duu a terme segurament per donar les parts positives de les dues teories: donar sensació de continuïtat i de que tot lliga, i donar la sensació de llibertat en què tot es pot canviar.

Però, si el que ens preguntem és cap on va la ciència ficció contemporània, ja és una pregunta més difícil. Hem vist que la física actual avança cap al

desenvolupament de la teoria de cordes, però, ¿la ficció també seguirà aquest camí? Li interessa? Ara donarem una opinió encara que no pugui ser justificada.

Evidentment, el Multivers dóna unes grans avantatges, i el principi d'autoconsistència, en mesures molt reduïdes, també, però, ¿se seguiran realitzant pel·lícules amb viatges temporals? L'opinió de l'autor d'aquest treball és que sí, ja que el viatge en el temps il·lustra la voluntat de l'ésser humà de controlar-ho tot, de veure-ho tot, de canviar-ho tot. Segurament, aquest aspecte no canviarà i, tot i que s'hagin fet una gran quantitat de pel·lícules sobre viatges en el temps, se'n seguiran fent, de la mateixa manera que no es deixaran de fer pel·lícules d'amor.

L'opinió personal de l'autor és que augmentaran les pel·lícules de ciència ficció que segueixin l'exemple d' *Interstellar*, la humanitat buscant un nou planeta quan se n'adonen que la terra ja no els serveix. Per tant, per il·lustrar els viatges a l'espai, se seguiran utilitzant les teories de la relativitat d'Einstein. Hi ha la possibilitat que s'intenti introduir, com es fa a *Interstellar*, les teories científiques actuals, com ara la Teoria de cordes o la Teoria M.

En definitiva, l'autor d'aquest treball té una visió optimista i, avaluant els resultats obtinguts de la anàlisi de les pel·lícules, creu que la ficció contemporània farà un apropament a les teories científiques, un esforç per a seguir-les. Segons la seva opinió, *Interstellar* ha estat una pel·lícula que ha marcat el curs d'aquesta evolució cinematogràfica i es podria començar a considerar la possibilitat de col·locar-la al nivell de *2001: A Space Odyssey*. Però, aconseguirà la ficció seguir el ritme tant accelerat de la investigació teòrica? Aquesta resposta només la podríem saber amb un viatge en el temps, ja que pertany al futur. Per tant, el millor que podem fer és esperar.

“And all those moments will be lost in time... Like tears in rain”

Rutger Hauer (Nexus 6), Blade Runner

6. Bibliografia

Pàgines web i vídeos:

- B. GREENE, Brian. *El universo elegante. Teoría de cuerdas 1, 2, 3, 4*. Natgeo, 2001. <https://www.youtube.com/watch?v=9SbFgFsHPmc&list=PLvgO0TdEZ9mXMTLXNI9f_wY4Jhau8ieVX> [Octubre 2014, Diciembre 2014, Juliol 2015]
- B. GREENE, Brian. *Más allá del cosmos. El Multiverso 01, Un salto cuántico 02, Odisea en el espacio 03, El túnel del tiempo 04*. Natgeo. <https://www.youtube.com/watch?v=NA0rIH67Aw&list=PLmjo_C-TBZdKyKmdYQMAIbdPn8wGnzC8A> [Març-Maig 2015]
- *¿Quién teme a los agujeros negros?* <<https://www.youtube.com/watch?v=DrOJ10sa470>> [Març-Maig 2015]
- *El universo de Stephen Hawking*. Discovery. 2010. <<https://www.youtube.com/watch?v=BT15nuWw1zo>> [Diciembre 2014]

Llibres:

- B. GREENE, Brian. *El universo elegante. Supercuerdas, dimensiones ocultas y la búsqueda de una teoría final*. Booket, 2001
- RANDALL, Lisa. *Universos ocultos*. Acantilado, 2005
- KAKU, Michio. *La física de lo Imposible*. DEBOLS!LLO, 2010
- KAKU, Michio. *Universos paralelos*. Atalanta, 2008