

RELAZIONE DI FISICA:
l'enigma della fisica moderna,
la gravità quantistica
ALEX A. SAJA

CLASSE 5° A (2011-2012), Liceo Scientifico L. da Vinci,
Gallarate

INTRODUZIONE

Questa ricerca affronta una questione della fisica moderna, si potrebbe dire contemporanea, la quantizzazione, se esiste, di una forza fondamentale della natura: la gravità. I fisici impegnati in questa ricerca hanno idee diverse, spesso contrastanti, che riguardano la soluzione del problema, proprio perché ad oggi non si è mai ricevuta una conferma sperimentale delle varie teorie elaborate. Il nodo alla base è l'unificazione tra la teoria della relatività generale e la meccanica quantistica, che se considerate insieme, rivelano diverse incompatibilità.

DUE TEORIE RIVOLUZIONARIE

Le due teorie che rivoluzionarono la fisica moderna si svilupparono nel succedersi di pochi anni nei primi decenni del Novecento: Albert Einstein giunse alla formulazione definitiva delle proprie teorie nel 1915 mentre Heisenberg elaborò il principio di indeterminazione della meccanica quantistica nel 1926. La teoria della relatività si fonda sull'omonimo principio, studia genericamente le trasformazioni matematiche che devono essere applicate alle descrizioni dei fenomeni nel passaggio tra due sistemi di riferimento in moto relativo. La teoria si divide in due parti: la relatività ristretta, o speciale, e la relatività generale. La prima ha in oggetto esclusivamente i sistemi di riferimento inerziali e le relazioni che intercorrono con le onde elettromagnetiche; si compone di due postulati principali: l'uniformità delle leggi ottiche, meccaniche ed elettromagnetiche in qualsiasi sistema di riferimento e l'invarianza della velocità della luce indipendentemente dalla velocità dell'osservatore o della sorgente di onde. La relatività ristretta si accorda alle leggi della meccanica quantistica, è stata infatti quantizzata con l'elettrodinamica quantistica. La seconda teoria invece, che riguarda più da vicino il tema di questa relazione, la relatività generale, spiega il comportamento delle interazioni gravitazionali.

LA GRAVITA'

La forza di gravità è tra tutte le forze della natura la più familiare. Già Aristotele aveva affrontato il problema della caduta dei gravi concludendo erroneamente che corpi dotati di massa maggiore, più pesanti, fossero soggetti ad una accelerazione di gravità maggiore. Nel XVII secolo Galileo dimostrò che tutti i corpi in caduta libera hanno la stessa accelerazione. Isaac Newton, oltre che a formulare nei "Principia Mathematica" le basi della meccanica classica, enunciò la fondamentale legge di gravitazione universale e descrisse quantitativamente gli effetti della forza di gravità sia a scala umana come la caduta dei gravi sia macroscopici riguardanti il sistema Solare ed il cosmo,

tuttavia Newton evitò lo studio delle cause della forza di gravità giustificando con la celebre affermazione “hypotheses non fingo” come questo problema attenesse alla filosofia e non alla fisica sperimentale. Ai giorni di oggi è proprio questo il quesito sul quale si interrogano i fisici, capire in che modo la gravità si sviluppi a partire dal mondo così come lo conosciamo. Si cerca un modello che descriva a priori la gravità.

Infine Einstein, con la teoria della relatività generale, stabilì la connessione tra campo gravitazionale e struttura dello spazio-tempo. Tuttavia, ad oggi disponiamo di pochissimi elementi sulle proprietà della forza gravitazionale ed in particolare delle sue caratteristiche in condizioni estreme come quelle che presumibilmente dovevano esserci durante l'esplosione primordiale o durante la collisione tra buchi neri. Contrariamente a ciò che si potrebbe credere, l'interazione gravitazionale è la meno conosciuta fra le interazioni fondamentali. Prima di avventurarci nel labirinto delle varie teorie sulla gravità quantistica, vediamo di che cosa parla la teoria di Einstein che include la gravità.

RELATIVITA' GENERALE

La relatività generale di Einstein studia i sistemi di riferimento accelerati e quindi anche quelli gravitazionali, in questa teoria l'approccio di Einstein alla gravità si basa sul principio di equivalenza. Per un osservatore in moto accelerato o decelerato è impossibile riconoscere se si sta spostando per via di un'accelerazione o per via della forza di gravità. Lo spaziotempo è la struttura dell'ambiente fisico, il “palcoscenico” su cui compare la materia e su cui avvengono le interazioni tra le particelle di materia con scambi di energia. Esso è costituito da tre dimensioni spaziali e da una dimensione temporale, attraverso la quale, come intuiamo dall'esperienza, si può procedere solo in avanti.

Nella relatività generale la gravità è una proprietà, secondo alcuni, una deformazione, dello spaziotempo, che gli imprime la curvatura che varia al movimento della massa. In caso di corpi di massa elevata la curvatura si accentua mentre in assenza di massa lo spaziotempo è piatto. I corpi in transito nello spaziotempo cercano sempre di coprire un percorso il più breve possibile e in una struttura curva questo si traduce non in vie rettilinee bensì in geodetiche.

La relatività generale è ormai stata provata da molti fatti: dalle raffinatissime misure sperimentali concernenti l'anomala precessione del perielio di Mercurio, dalla deflessione dei raggi di luce da parte di corpi massivi (che possono quindi fungere da lenti gravitazionali e dare più immagini della stessa sorgente), dallo spostamento gravitazionale della luce verso il rosso (che risulta molto difficile da misurare con osservazioni astrofisiche e che fu definitivamente verificato nel 1959 con l'esperimento di Pound-Rebka). La relatività generale prevede altri fenomeni affascinanti e misteriosi come il diverso scorrere del tempo per osservatori a riposo in campi gravitazionali non omogenei (per un osservatore che si trova al centro della Terra il tempo scorre più lentamente di un altro sulla superficie).

Questo fenomeno ha avuto un effetto determinante sul sistema di navigazione satellitare statunitense, il famoso GPS, che sarebbe sottoposto ad errori di alcune centinaia di metri se non si tenesse conto degli effetti della relatività generale. Christian Corda, un fisico italiano, ha dimostrato come le onde gravitazionali siano la prova ultima e definitiva della relatività generale.

Le onde gravitazionali sono una forma di radiazione che dovrebbero emettere teoricamente corpi dotati di elevata energia potenziale gravitazionale. La loro esistenza è prevista dalla teoria della relatività. Tuttavia i vari esperimenti realizzati dagli scienziati fin dai primi anni '50 non hanno mai trovato prove concrete a loro favore. A differenza della relatività ristretta, la relatività generale è piena di calcoli estremamente complicati che rendono più difficile la sua trattazione.

MECCANICA QUANTISTICA

La meccanica quantistica è una teoria fisica che si propone l'unificazione del dualismo onda - particella evidenziato dalla luce o dagli atomi in diverse esperienze sperimentali. Da quando un gruppo di scienziati negli anni Venti ha iniziato ad esplorare la meccanica quantistica, la scienza ha

compiuto numerosi passi avanti e questo si può notare dalle numerose applicazioni tecnologiche: i telefonini, i laser, i microscopi elettronici e le risonanze magnetiche nucleari. Alla meccanica quantistica si arrivò per due strade diverse, una prima, guidata dal francese de Broglie portò alla teoria della meccanica ondulatoria. Contemporaneamente si realizzò una formalizzazione matematica molto complessa, la meccanica delle matrici, che dimostrava come gli atomi si comportassero come onde in determinate situazioni. Schrödinger ebbe il merito di dimostrare come le due teorie avessero lo stesso significato fisico.

La meccanica quantistica studia i fenomeni microscopici, ovvero il comportamento degli atomi e delle particelle che li compongono, con due particolarità. Non è una fisica precisa e definita come la meccanica classica, ma è costituita da modelli probabilistici. Questo poiché obbedisce al principio di indeterminazione di Heisenberg secondo il quale non si può conoscere allo stesso tempo con un grado di precisione grande quanto si vuole sia la posizione di un corpo sia la sua velocità.

La seconda peculiarità della meccanica quantistica è l'introduzione dei quanti, da cui prende il nome. I quanti sono i valori minimi di alcune grandezze fisiche come l'energia o la carica elettrica, di cui non esistono grandezze minori. In altre parole, a scala atomica l'energia viene scambiata a multipli di alcuni piccolissimi valori. Ciononostante i fisici continuano ad utilizzare la meccanica classica, poiché è una teoria che si adatta molto bene a descrivere i fenomeni aventi dimensioni macroscopiche.

Il modello standard, riconosciuto dalla comunità internazionale dei fisici, prevede che esistano soltanto 18 tipi di particelle elementari in natura che, a loro volta, si dividono in due gruppi: 12 particelle di materia che obbediscono al principio di esclusione di Pauli e sono chiamate fermioniche e 6 particelle di forza, di cui 4

conosciute e 2 da scoprire che sono dette bosoniche e non obbediscono al principio di Pauli. Le particelle di materia sono strutturate in tre famiglie di particelle. Inoltre le particelle fermioniche hanno tutte spin nullo o semintero mentre le particelle bosoniche hanno spin intero. Gli scambi di energia di tre delle forze fondamentali della natura (nucleare forte, nucleare debole ed elettromagnetica) avvengono tramite lo scambio di bosoni detti di gauge, caratteristici di ogni forza, che sono le particelle bosoniche del modello standard. Il discorso è molto facile per le due forze che agiscono a livello nucleare. Per definizione, il loro raggio di azione è quello atomico, se non minore e i loro effetti si fanno sentire solo nella meccanica quantistica. Anche l'elettromagnetismo è stato quantizzato con successo per mezzo dell'elettrodinamica quantistica, una teoria che unifica elettromagnetismo, relatività ristretta e meccanica quantistica. Il quanto di questa interazione, il fotone, è responsabile delle forze elettriche e magnetiche che agiscono a grandi distanze.

Three generations of matter				Bosons (forces)
	I	II	III	
Mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
Charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Name →	u up	c charm	t top	γ photon electromagnetic force
Quarks	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	d down	s strange	b bottom	g gluon strong force
Leptons	<2.2 eV	<0.17 MeV	<1.8 GeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z weak force
	0.511 MeV	108.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	e electron	μ muon	τ tau	W weak force

Le 16 particelle conosciute, mancano

I GRAVITONI: L'ANELLO DI CONGIUNZIONE TRA MECCANICA QUANTISTICA E RELATIVITA'

Vista la quantizzazione riuscita delle altre interazioni, i fisici per un principio di uniformità e semplicità hanno pensato che lo stesso sistema potesse funzionare con la gravità, eppure tutti i tentativi di introdurre il gravitone, che dovrebbe operare come un fotone, sono incappati in una complicata formalizzazione matematica. Secondo le previsioni teoriche, i gravitoni devono esercitare sempre una forza attrattiva, agire a qualsiasi distanza. Nella teoria quantistica, queste caratteristiche definiscono un bosone con spin pari, più precisamente due e massa a riposo pari a zero. Il gravitone è una particella esistente attualmente solo a livello teorico, in quanto non si è avuta alcuna conferma sperimentale. E' previsto da molte teorie della gravità quantistica, ma non da

tutte allo stesso modo. Ad esempio nella gravità quantistica a loop i gravitoni sarebbero soltanto particelle sinistrorse.

DUE SISTEMI CHE SCRICCHIOLANO, LE INCOMPATIBILITÀ TRA RELATIVITÀ GENERALE E MECCANICA QUANTISTICA

Se si tenta di quantizzare il campo gravitazionale, di rendere la sua struttura da continua a quantica, si entra in conflitto con la relatività generale, imperante in materia. La scala su cui lavora la relatività è enorme, molto maggiore della scala a cui opera la meccanica quantistica che studia le particelle atomiche. Dunque le due teorie che lavorano così bene nel rispettivo ambito quando si trovano insieme combinate nello studio di oggetti molto piccoli, ma anche molto massivi danno luogo a risultati contraddittori. Le differenze non si fermano qui.

- Una delle cause più profonde e insite nel problema è il seguente: il modello matematico della relatività generale descrive il campo gravitazionale come un'estensione del concetto di inerzia ai sistemi di riferimento accelerati. Al contrario, in meccanica quantistica le azioni fra le varie particelle sono mediate da campi di forza, le interazioni sono descritte dallo scambio dei bosoni caratteristici. Ora, se il campo gravitazionale non è una forza, è un compito più arduo quantizzarlo con le tecniche usuali.
- Come ho già detto in precedenza, in meccanica quantistica c'è un aspetto probabilistico o statistico, di cui non si tiene conto nella relatività generale. Einstein affermando "Dio non gioca a dadi" rifiutava questa idea poiché impediva la costruzione di una fisica deterministica sul modello della relatività generale, fatta di difficili calcoli, risolvibili comunque e che davano soluzioni certe e definite. I campi quantistici, ad esempio il campo elettromagnetico, hanno una struttura granulare e subiscono le fluttuazioni quantistiche. E' difficile pensare lo spaziotempo come un oggetto granulare e fluttuante, di sicuro non è questa l'idea di spaziotempo della relatività generale. Qualsiasi teoria della gravità quantistica che voglia dirsi veritiera deve riuscire a conciliare questo dualismo probabilità - certezza e a spiegare come la relatività spieghi benissimo il comportamento di fenomeni a larga scala mentre a piccola scala imperi l'incertezza.
- Secondo alcuni fisici un altro ostacolo è rappresentato dall'entanglement, un fenomeno fisico, che permette che le particelle interagiscano fra loro a distanze enormi istantaneamente, superando quindi la velocità della luce. L'entanglement implica la non località, alcune teorie della gravità quantistica lo prevedono, altre no. La meccanica quantistica lo include, mentre nella relatività tale fenomeno scricchiola, viola infatti il principio secondo il quale la velocità della luce non può essere superata. Entanglement quantistico era stato intuito da Einstein assieme ad altri due fisici con il paradosso di Einstein-Podolski-Rosen.
- In meccanica quantistica l'osservatore occupa un ruolo chiave. Può infatti scegliere di quale delle due grandezze fisiche da misurare occuparsi di più privilegiandola. Invece nella teoria della relatività generale (non la relatività ristretta) l'osservatore non è fondamentale.
- Entrambe le teorie incappano in paradossi e contraddizioni nell'affrontare le singolarità. Ricordo che le singolarità sono oggetti fisici di dimensioni pressoché puntiformi, di volume piccolissimo e densità quasi infinita. Il Big Bang e i buchi neri sono delle singolarità. Studiando masse enormi si dovrebbero utilizzare le equazioni della relatività generale, tuttavia considerando le dimensioni minuscole delle singolarità entra in gioco la meccanica quantistica. Queste due teorie rendono molto quando lavorano indipendentemente l'una dall'altra, combinate insieme garantiscono risultati strani e contraddittori.

Tutte queste differenze sono diversi aspetti del medesimo problema, l'unificazione tra le due teorie. La distanza a cui ci si aspetta che le due teorie debbano fondersi è detta lunghezza di Planck, dell'omonima scala. La lunghezza varrebbe $1,6 \cdot 10^{-35}$ metri.

Ogni modello della gravità quantistica prende in considerazione qualcuna di queste differenze e ne dà un'interpretazione. Quello che proporrò ora è un elenco delle principali teorie proposte da vari fisici. Alcune teorie sono simili fra loro, o sono accomunate da alcuni principi, altre sono contrapposte fra loro. Le due teorie principali sono la teoria delle stringhe e la teoria della gravità quantistica a loop. La classificazione non è facile perché spesso alcune teorie si articolano in diversi modelli o finiscono per essere assorbite da teorie maggiori (è il caso della supergravità).

TEORIE DELLA GRAVITA' QUANTISTICA

LA GRAVITA' SEMICLASSICA

E' stata una delle prime proposte di gravità quantistica, in essa i campi di materia possono essere trattati come quanti e il campo gravitazionale come classico.

Nella gravità semiclassica la materia è rappresentata da campi quantistici di materia che si propagano secondo quanto previsto dalla teoria quantistica dei campi nello spazio-tempo curvo. Lo spaziotempo in cui i campi si propagano è di tipo classico ma dinamico (non statico). Questo modello non rappresenta una teoria della gravità quantistica, ma un sistema parziale che descrive il funzionamento di meccanica quantistica e relatività generale sviluppato dai fisici. Viene ai giorni d'oggi usata per comprendere la radiazione di Hawking nei buchi neri e la produzione di perturbazioni nella teoria dell'inflazione cosmica.

GRAVITÀ INDOTTA DI SAKHAROV

Questa teoria, sviluppata da Andrei Sakharov, fisico e attivista per la pace russo (1921-1989), non è una delle più recenti, fu infatti proposta alla comunità dei fisici nel 1967.

L'idea di base della gravità indotta è che non è necessario quantizzare la gravità, si può superare l'empasse constatando che la materia condensata dà origine a fenomeni di natura simili a quelli espressi dalla teoria della relatività generale. Sakharov fece l'esempio dei cristalli, le loro imperfezioni derivano da una torsione. La varietà pseudo-riemanniana utilizzata per descrivere lo spaziotempo non è quella lorentziana scelta da Einstein nella relatività generale, ma è arbitraria. Questo sistema necessita l'introduzione di costanti cosmologiche (ed è anche per questo che la gravità indotta ha perso il sostegno dei fisici) che giustificerebbero la gravità come una proprietà inaspettata o casuale dei campi quantistici.

L'utilità del sistema di Sakharov è dubbia, è criticato da molti anche perché potrebbe infrangere un teorema della fisica moderna, il teorema di Weinberg - Witten sulla composizione delle particelle subatomiche. In particolare questo teorema affermerebbe che i gravitoni sarebbero particelle elementari. Il merito di questa teoria è l'aver portato nella gravità quantistica l'idea di poter considerare la gravità come una proprietà emergente della materia.

TEORIA DEI TWISTOR

La teoria dei twistor, ideata da Roger Penrose, è una teoria matematica che modifica lo spaziotempo einsteiniano con una diversa segnatura metrica cambiandone quindi le coordinate

Per un certo periodo si ebbe la speranza che la teoria dei twistor fosse l'approccio giusto per giungere alla gravità quantistica, ma oggi si considera questa strada poco praticabile, di recente Edward Witten ha tentato di utilizzare la teoria dei twistor per comprendere la teoria delle stringhe. La teoria di Penrose è stata sfruttata da Smolin e Rovelli per formulare la teoria a loop.

LA TEORIA DELLE STRINGHE E LA TEORIA DELLA SUPERGRAVITA'

Con questo nome in fisica si intendono molte teorie della gravità quantistica, pertanto cercherò di fare un minimo di chiarezza. La teoria delle stringhe è nata negli anni '60 del Novecento e per circa venti anni è stata molto popolare, è poi caduta in disuso. E' ritornata in auge sul finire degli anni '90 con la cosiddetta "seconda rivoluzione della teoria delle stringhe" capitanata da Edward Witten, in cui si utilizzò un nuovo approccio alla teoria integrandone molti aspetti con la

supersimmetria, un concetto di fisica teorica che prevede una simmetria tra particelle bosoniche e fermioniche in cui sia possibile associare ad ogni particella di materia una particella di forza.

La teoria delle stringhe nacque nel 1968, quando un giovane fisico teorico, Gabriele Veneziano, risolse le equazioni della relatività del comportamento di alcuni adroni, scoprendo come le due teorie, relatività e meccanica quantistica, aderissero perfettamente, Veneziano notò come le equazioni di questa funzione, la funzione beta, descrivessero una stringa. Alcuni ritengono maggiormente corretto il termine corda, in quanto è una traduzione letterale dell'inglese string.

In pochi anni i fisici elaborarono un modello, a partire da questa scoperta, basato sulle stringhe, minuscole particelle di energia (di dimensioni inferiori alla scala di Planck)



Foto di Gabriele

che vibrano come le corde di un violoncello, qui si comprende il nome assegnato a queste componenti, dal loro moto vibratorio. Qualsiasi oggetto presente nell'universo sarebbe composto da questi piccoli anelli, le stringhe, a causare le differenze fra i vari elementi sarebbe il modo in cui vibrano le stringhe come se producessero musica le stringhe formano i vari oggetti. Secondo la teoria, una stringa è un oggetto esteso, può essere di due tipi: aperta o chiusa. Le leggi della fisica sarebbero l'armonia con cui si muovono le stringhe. Le stringhe non vibrerebbero in modo casuale o uniforme a tutte, ma in modo direttamente proporzionale all'energia posseduta. La tensione di una stringa si esprime per multipli di un valore chiamato tensione di Planck, che è invece una misura di questa energia. In questo modo la teoria delle stringhe si rivela una teoria quantizzata obbedendo alla meccanica quantistica. Il valore elementare, il quanto di questa tensione è tuttavia spaventosamente elevato, un'energia che equivale secondo la legge della corrispondenza tra massa ed energia a 10³⁹ tonnellate. Un'energia spropositata per una minuscola stringa. I fisici

ritengono che sarebbe compensata dalle fluttuazioni quantistiche, che controbilanciano l'altissima energia delle stringhe.

Tuttavia i calcoli dicono che le quattro dimensioni in cui viviamo (o pensiamo di vivere) sono insufficienti per spiegare la teoria, sono necessarie delle dimensioni extra, tenendone conto i calcoli corrispondono alla realtà. Le dimensioni sarebbero dieci: nove spaziali più una temporale. Le dimensioni dalla quarta in poi non sperimentabili dall'uomo sarebbero microscopiche, dalle dimensioni di 10⁻¹⁵ metri, quindi nell'ordine di grandezza della scala di Planck. Questa idea fu probabilmente ripresa dalla teoria di due matematici di inizio novecento, Kaluza e Klein, che avevano proposto uno spaziotempo a cinque dimensioni in cui la quarta dimensione spaziale era compattata in uno spazio piccolissimo impercettibile agli strumenti umani. Anche nella teoria delle stringhe le dimensioni spaziali eccedenti sono considerate di scala molto piccola, ma non per questo non manifestano i loro effetti a scala macroscopica.

La teoria delle stringhe non può spiegare il Big Bang, nell'affrontare il problema ci si accorse che si divergeva in cinque diverse teorie. Secondo alcuni fisici solo una delle teorie era corretta, le altre quattro descrivevano universi paralleli.

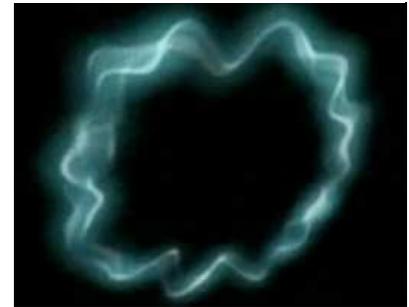
Il problema fu superato con la rivoluzione degli anni '90 da Edward Witten attraverso l'introduzione di una undicesima dimensione, così si giunse alla teoria M che includeva in sé oltre che alle cinque diverse teorie delle stringhe anche la teoria della supergravità e le quattro forze fondamentali. La teoria si arricchì del principio della supersimmetria e per distinguerla dal passato si passò per indicarla con teoria delle superstringhe. Inoltre la corrispondenza ADS – CFT ha confermato la supposta equivalenza tra supergravità e teoria delle stringhe.

La teoria delle stringhe è candidata oltre che a unificare i due sistemi di leggi in contrasto tra loro, anche a divenire una teoria del tutto, ovvero una teoria che spieghi il funzionamento dell'universo nella sua totalità. Il principale problema della teoria delle stringhe è la sua indimostrabilità, gli scienziati non possono realizzare un esperimento fisico il cui risultato sia verificare che esistano

davvero dieci dimensioni nella struttura fisica della materia. Si stima che sia necessario un acceleratore di particelle avente un diametro più o meno grande quanto quello della nostra Galassia!

Ammettendo l'esistenza dell'undicesima dimensione si spiegherebbe la debolezza della gravità in relazione alle altre forze fondamentali. In un mondo a dieci o undici dimensioni potrebbero esistere tranquillamente universi paralleli. Prendiamo un foglio, quindi un oggetto dotato di spessore piccolo quasi nullo, può essere considerato un corpo a due dimensioni. Ponendo il foglio in uno spazio a tre dimensioni si possono porre molti fogli uno in pila all'altro. Immaginando di vivere su uno di questi fogli vivremmo in un mondo bidimensionale, accanto a tante altre persone che potrebbero vivere in altri mondi bidimensionali prossimi a noi. Questo piccolo esempio può fornire una chiave di interpretazione alla difficile idea di dimensioni ulteriori. Esiste una variante della teoria delle stringhe che comprende addirittura 26 dimensioni, è la teoria bosonica delle stringhe.

Un'immagine futuristica di una stringa chiusa.



I principali avversari di queste teorie le criticano per dedicare troppa attenzione ad aspetti quasi metafisici o filosofici, o per l'assoluta mancanza di alcun tipo di prove sperimentali che possa portare argomenti a sostegno. Lee Smolin, fondatore della LQG, ha pubblicato un libro "L'universo senza stringhe" in cui critica pesantemente non soltanto la teoria delle stringhe, ma anche l'ambiente scientifico americano in cui essa è germogliata.

GRAVITÀ QUANTISTICA A LOOP (TEORIA LQG)

Insieme alla teoria delle stringhe, la teoria dei loop (in inglese "Loop Quantum Gravity") vanta molti sostenitori tra gli esperti del settore. Sviluppata per la prima volta dal fisico indiano Abhay Ashtekar, poi appoggiato da Carlo Rovelli e Lee Smolin, questo modello quantizza lo spaziotempo per mezzo di un formalismo matematico complesso simile a quello della relatività generale con alcune peculiarità come l'utilizzo della scala di Planck che gli consentono di adattarsi alla meccanica quantistica. La teoria appartiene ad una famiglia di teorie chiamata gravità canonica quantistica che hanno in comune la divisione della struttura matematica dello spaziotempo in una dimensione temporale e in una tridimensionalità spaziale (Einstein aveva trattato nella relatività lo spaziotempo come un tutt'uno); ognuna di queste fette scandite in successione rappresenta lo spazio in cui ci muoviamo visto a differenti istanti di tempo. L'evoluzione temporale viene ora vista come il passaggio da una fetta all'altra. Le variabili con cui dividere la successione temporale possono essere scelte con una certa arbitrarietà; una volta in possesso di queste nuove variabili si riscrivono le equazioni di Einstein. Il vantaggio di questa formulazione risiede nel fatto che è possibile riscrivere la relatività generale in una forma matematica simile alle altre interazioni fondamentali, tecnicamente si ridurrebbe la teoria della relatività generale ad una teoria di gauge. Le variabili usate da Rovelli e Smolin sono a loop ovvero dei cammini chiusi.

La gravità quantistica a loop, essendo una teoria canonica, conserva molti aspetti della relatività generale, come l'invarianza per trasformazioni di coordinate. I maggiori successi della gravità quantistica a loop sono una quantizzazione non perturbativa dello spaziotempo, l'inclusione del calcolo dell'entropia dei buchi neri e l'utilizzo di un formalismo matematico rigoroso (a differenza di altre teorie).

La teoria ammette anche una formulazione covariante, ovvero una trasformazione in cui cambia il sistema di riferimento, chiamata a "schiuma di spin" (spin-foam). Un altro merito della teoria è il suo essere indipendente dallo sfondo, come la teoria topologica dei campi.

Essenzialmente, la teoria sostiene che lo spazio è un tessuto di anelli unidimensionali (i loop).

Questo tessuto apparirebbe regolare ad un primo sguardo, ma se ingrandito rivelerebbe la sua struttura. I fili dovrebbero essere estremamente piccoli, infatti in un centimetro quadrato di spazio si avrebbe un numero elevatissimo di fili: 10^{66} . I loop non sono inseriti nello spazio, ma costituiscono

lo spazio che è rete di loops che si intersecano fra loro. Attualmente, la LQG non è completa: la principale questione aperta è la ricerca delle soluzioni della versione quantistica del cosiddetto “vincolo scalare”.

Un fatto scoperto di recente (gennaio 2012) e che sembrerebbe essere a sostegno della teoria LQG è una particolare emissione di radiazione dei buchi neri, diversa da quella descritta dal celebre Stephen Hawking. I due tipi di radiazione sarebbero cioè caratterizzati da differenze nello spettro dell'energia emessa, in particolare da dei notevoli picchi a certi livelli energetici. Il merito dello studio va ad un gruppo di lavoro franco-statunitense guidato da Aurélien Barrau. Naturalmente il risultato è da analizzare con le pinze perché gli scienziati non sono mai riusciti a rilevare qualsiasi tipo di radiazione proveniente da un buco nero in evaporazione. Dunque le difficoltà nella ricezione di queste onde sono ancora molte. Questa prima verifica della gravità quantistica a loop, potrebbe essere accompagnata da una verifica sempre di tipo cosmologico, leggermente diversa, l'analisi della radiazione cosmica di fondo che consentirebbe di portare prove a carico della teoria LQG. La teoria LQG non può, a differenza della rivale teoria delle stringhe, candidarsi a diventare una teoria del tutto, dato che non riesce a descrivere il comportamento delle altre interazioni fondamentali. Inoltre la teoria dei loop non si avvale di due concetti: la possibile esistenza di dimensioni oltre la quarta e della supersimmetria. Un vantaggio è comunque il formalismo matematico preciso della teoria. In entrambe le teorie si ha un oggetto di dimensioni minuscole ma non puntiformi, con la differenza che il ruolo occupato è diverso. La stringa è un componente elementare della materia, i loop sono variabili geometriche dello spaziotempo.

CALCOLO DI REGGE

Un altro scienziato italiano, Tullio Regge contemporaneamente a Veneziano negli anni '60, elaborò un nuovo formalismo matematico che semplificava le equazioni della relatività generale, in particolare il calcolo delle soluzioni dell'equazione di campo. Il metodo utilizzava la triangolazione in semplici. Il calcolo di Regge garantisce soluzioni approssimate a diverse equazioni e la sua più grande applicazione si ha proprio nella gravità quantistica.

GRAVITÀ QUANTISTICA EUCLIDEA

La gravità quantistica euclidea è una teoria della gravità quantistica, formulata come una teoria quantistica dei campi. Questo approccio, reso famoso da Stephen Hawking, si basa sull'idea che lo spaziotempo emerge da una media di tutte le combinazioni quantistiche possibili. Pone lo spazio ed il tempo allo stesso livello.

GRAVITÀ QUANTISTICA DISCRETA LORENTZIANA

In questo modello, lo spazio è considerato come un reticolo in modo che si conservi l'invarianza di Lorentz. Ha in comune con la gravità quantistica a loop, il fatto di essere indipendente dallo sfondo. Come il calcolo di Regge, si avvale della triangolazione in semplici.

ALTRE TEORIE DELLA GRAVITA' QUANTISTICA.

- Teoria perturbativa
- Quantizzazione asintotica
- La teoria del dilatone di Robert Mann e Tony Scott
- Quantizzazione asintotica

LE PROSPETTIVE PER IL FUTURO

Nonostante l'impegno di molte generazioni di scienziati a diversi decenni di distanza da Einstein siamo ancora bloccati davanti a teorie troppo difficili da dimostrare sperimentalmente. Gli esperimenti sono pochi e richiedono alta precisione da parte degli strumenti di misura.

L'analisi della radiazione cosmica di fondo

La radiazione fossile è la prima forma di radiazione, in quanto è stata emessa dall'universo con l'esplosione primordiale. Nella singolarità del Big Bang la gravità non aveva la solita debole intensità, per questo le onde gravitazionali interagirono con la luce. Due fisici, Magueijo e Benincasa, sostengono che dall'analisi della radiazione di fondo dell'universo, in particolare dalla polarizzazione dei fotoni, è possibile verificare la presunta chiralità del gravitone. La chiralità è una proprietà delle particelle in fisica, se sono chirali le particelle dopo una trasformazione di parità, da destrorse a sinistrorse o viceversa mantengono le stesse caratteristiche. La ricerca sarà effettuabile a partire dal 2013, non appena l'Osservatorio Planck avrà analizzato in modo approfondito la radiazione fossile. Lo studio si basa anche sul presupposto che l'inflazione abbia progressivamente "stirato" gli effetti dell'interazione tra la luce e la gravità prima del disaccoppiamento, rendendoli analizzabili oggi alla scala astronomica. Oltre che a confermare l'inflazione, l'analisi verificherebbe la natura quantistica della gravità e qualora i gravitoni fossero solo sinistrorsi, la LQG riceverebbe delle conferme sperimentali. In caso contrario, se i gravitoni fossero di duplice forma, si avrebbe una scossa per il modello a loop.

Un esperimento che sfida il principio di indeterminazione

Un altro gruppo di fisici dell'Università di Vienna e dell'Imperial College di Londra ha ideato un esperimento che potrebbe consentire di testare in laboratorio alcune previsioni ricavabili dalle teorie della gravità quantistica. L'idea di fondo dei ricercatori è utilizzare un impulso laser che interagisca quattro volte con uno specchio mobile in modo da testare la differenza esatta che si ottiene misurando la posizione dopo aver misurato il momento e la misurazione del momento dopo aver misurato la posizione. Con una precisissima definizione dei tempi e progettazione delle interazioni è possibile mappare l'effetto conseguente sull'impulso laser usato e successivamente "leggerlo". I ricercatori hanno pubblicato un articolo su "Nature Physics" in cui hanno dimostrato che le differenze tra posizione e quantità di moto possono essere rilevate con sistemi quantistici di laboratorio molto massicci, sfidando il principio di Heisenberg.

Secondo i ricercatori, la chiave per testare la gravità quantistica sta proprio nella misura di questa differenza: la meccanica quantistica ne predice infatti un certo valore, ben noto e fisso, mentre le teorie di gravità quantistica, che prevedono una modifica del principio di indeterminazione, ne danno ognuna un valore diverso. Anche se questa discrepanza è minima, le attuali tecnologie dovrebbero essere in grado di rilevarla e indicare quale teoria della gravità quantistica si avvicini di più ai risultati della ricerca.

La possibile scoperta delle onde gravitazionali?

Negli ultimi anni sono stati finanziati alcuni progetti di ricerca delle onde gravitazionali, alcuni fisici pensano che trovando le onde gravitazionali si potrebbe avere una prova dell'esistenza del



gravitone e forse conoscere anche le sue caratteristiche e proprietà. Questo sarebbe molto utile, perché ci permetterebbe di escludere alcune teorie (magari la teoria a loop) o di rivalutarne altre. Un progetto nasce dalla cooperazione tra l'INFN italiano e il corrispettivo CRNS francese e si chiama "Virgo". È stato costruito un interferometro, ovvero uno speciale misuratore di onde che dovrebbero provenire dall'ammasso della Vergine, da cui prende nome il progetto. Virgo può captare onde di frequenza compresa tra 10 e 10.000 Hertz, stupisce l'estrema precisione dell'impianto. Se giungessero onde gravitazionali, esse dovrebbero alterare lo spazio di 3 km compreso tra i due specchi rivelatori di pochissimo. Il progetto LIGO dovrebbe essere l'equivalente statunitense del progetto italo-francese. Mentre LISA, nome di un

Panoramica dell'impianto "Virgo", a

dispositivo sempre preposto per captare onde gravitazionali, sarà montato su un satellite dell' Agenzia Spaziale Europea nel 2017.

CONCLUSIONI

I formalismi matematici erano molto complessi anche per questo ho evitato di inserire formule. Dopotutto si parla di un tema di importanza capitale, la gravità quantistica, se completata permetterebbe l'unificazione della fisica. Secondo me, il problema dei fisici è doppio, trovare una rigorosa struttura matematica che armonizzi in sé le due teorie contrastanti e dopodiché trovare una sperimentazione fisica del fenomeno. Tra i due filoni prevalenti in ambito teorico, tra le stringhe ed il modello a loop, dovendo scegliere opterei per la prima teoria. Nonostante le sperimentazioni scarseggino, molti fisici sono fiduciosi, dopotutto la storia della scienza è un continuo progresso e soprattutto negli ultimi duecento anni questo processo ha subito una brusca accelerazione che ci avvicinerebbe sempre più alla teoria del tutto, ognuna di queste teorie, la meccanica classica, la meccanica quantistica sarebbero dei piccoli gradini verso la teoria del tutto. Personalmente sono scettico a riguardo, mi sembra un fatto troppo fantascientifico l'esistenza di una teoria del tutto, starebbe a dire che l'uomo potrebbe conoscere con un'equazione o tutt'al più una serie di equazioni l'intero funzionamento dell'universo, tuttavia il rischio in cui si incorre è di sprofondare in una discussione filosofica che non è l'obiettivo di questa relazione. Credo che la teoria che un giorno verrà provata come aderente alla realtà includerà in sé diversi elementi da più teorie, come è accaduto per la teoria delle superstringhe. E' stato un lavoro molto interessante, ricco di aspetti affascinanti. Speriamo che la fisica si sviluppi ulteriormente e che si possa giungere a dei risultati concreti in questo settore il più presto possibile.

FONTI

<http://lascienza.forumcommunity.net/?t=33001103>

<http://www.discutere.it/showthread.php?27618-II-quot-Graal-quot-della-Scienza-la-Teoria-del-Tutto>

<http://www.stukhtra.it/?p=5323>

http://www.lescienze.it/news/2012/03/19/news/gravit_quantistica_einstein_controllo_delle_teorie-912404/

<http://www.galileonet.it/articles/4f6b2f9e72b7ab309200000e>

Su gravità e relatività:

<http://www.fmboschetto.it/tde/Index.html>

<http://www.df.unipi.it/~fabri/sagredo/varie/carpi-2009b-short.pdf>

<http://www.fmboschetto.it/tde2/Introd.htm>

www.ego-gw.it/virgodescription/italiano/pag_1.html

Sulla meccanica quantistica:

il volume 3 del libro di testo <<Fisica, percorsi e metodo>> edito da "Principato". Autori: J.D. Wilson e A.J. Buffa.

Sulle onde gravitazionali:

<http://scienzapertutti.lnf.infn.it/risposte/ris269.html>

<http://www.lnf.infn.it/edu/materiale/nautilus.pdf>

Sulla teoria delle stringhe:

<http://scienzapertutti.lnf.infn.it/concorso/banzibazoli/miglioredeimondi/ipertesto/stringhe-intro.htm>

<http://www.youtube.com/watch?v=3vV8b5UIhmc>

<http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=sNroHvF3o34>

Sulla teoria LQG:

http://www.lescienze.it/news/2012/01/09/news/gravit_quantistica_relativit_buchi_neri_hawking-778713/

http://it.wikipedia.org/wiki/Gravit%C3%A0_quantistica_a_loop

<http://www.link2universe.net/2012-01-05/fisici-propongono-un-test-per-la-gravita-quantistica-a-loop/>

<http://etd.adm.unipi.it/theses/available/etd-09052008-171348/>

Sulla radiazione cosmica di fondo:

<http://www.stukhtra.it/?p=5551>