

**CENTRO RICREATIVO CULTURALE
"SANDRO PERTINI"**



ASTROFISICA

E

COSMOLOGIA



1. Il fascino del cosmo.

Quando ci si occupa di astrofisica c'è una cosa che subito, di primo acchito, stimola il fascino della curiosità: il fatto che più lontano guardiamo nello spazio più indietro scrutiamo nel tempo.

Pensiamoci: è davvero una cosa incredibile. Se noi vedessimo domani l'esplosione di una supernova in cielo, ebbene lo spettacolo si riferirebbe a un evento accaduto milioni di anni fa!!!

Un'altra cosa affascina in modo particolare: che la forza più debole presente in natura, la gravità, sia in grado di creare oggetti dalle proprietà impressionanti come le stesse stelle, ma ancor di più le stelle di neutroni e i buchi neri.

In natura sono 4 le forze che la fisica ha identificato: la forza nucleare forte, la forza nucleare debole, la forza elettromagnetica e la forza di gravità. Sono tutti argomenti che meriterebbero discorsi molto più ampi, anche dal punto di vista puramente speculativo rappresentano un'autentica miniera, e senz'altro potremo tornarci successivamente. Per ora è sufficiente ripercorrere molto a grandi linee le caratteristiche di questi autentici cardini della materia, del cosmo, dell'universo.

La forza nucleare forte è quella che consente al nucleo atomico (attorno al quale è presente una fascia elettronica di particelle molto piccole chiamate appunto "elettroni") di rimanere unito nonostante sia composto da neutroni, privi di carica elettrica, e da protoni aventi invece la medesima carica elettrica (positiva), che dunque dovrebbero teoricamente respingersi, ed è una forza intensissima ma dotata di un raggio d'azione assai limitato. Protoni e neutroni vengono chiamati "nucleoni" e, generalmente, PIÙ nucleoni formano un nucleo PIÙ esso è instabile. E' come se una massa di detenuti si ribellasse in un carcere: fino a che essi sono 5 o 10, ecco che la polizia penitenziaria (che fa la parte della forza nucleare forte) riesce a controllarli e a impedire l'evasione; ma se essi invece rappresentano l'intera prigione, ecco che i secondini avranno difficoltà a controllare 100 o 200 ribelli e, fatalmente, qualcuno sfuggerà. Questa fuga di ribelli (nel nostro caso particelle subatomiche di vario tipo) è il decadimento radioattivo che avviene quando un elemento è particolarmente instabile.

La forza nucleare debole è una forza meno intensa ma sempre molto potente, e sempre con raggio d'azione piccolissimo, la quale sovrintende un particolare tipo di radioattività, il decadimento Beta, ossia l'espulsione di elettroni e di altre particelle subatomiche prive di massa, nella fattispecie il neutrino, che serve a compensare la trasformazione del nucleone che decade nell'elettrone espulso. Il neutrone si trasforma in un protone e libera un elettrone (una carica neutra diviene positiva perdendo carica negativa, banalizzando al massimo; come dire $0 - <-1> = +1$); ma il bilancio energetico, che deve andare assolutamente in pareggio (principio universale di conservazione dell'energia), è ancora lievemente a favore dell'originario protone e il neutrino è quel quantum energetico che, liberandosi assieme all'elettrone, pareggia il conto. Avendo molto a che fare con gli elettroni, la forza debole è stata ormai quasi

accomunata a quella elettromagnetica, tanto che i fisici spesso parlano non di 4 ma di 3 forze, la forte, la gravitazionale e la “elettrodebole”.

La forza elettromagnetica ci è molto più comune rispetto alle prime due, è quella che agisce tra cariche elettriche (uguali si respingono, diverse si attraggono) e ha un valore immensamente più basso rispetto a quelle nucleari, ma ha un raggio d’azione (o “campo”) teoricamente infinito, che però diminuisce proporzionalmente al quadrato della distanza, e dunque a un certo punto diviene del tutto ininfluenza per l’osservatore. Ciò nonostante il flusso di cariche elettriche (che provoca un campo elettrico e magnetico, da cui il nome di “forza elettromagnetica”) è in grado di far funzionare il nostro mondo tecnologico contemporaneo.

La forza gravitazionale è ancora più debole, molto più debole della forza elettromagnetica, e pure ha un campo d’azione infinito che decresce col quadrato della distanza. Teoricamente qualunque corpo o particella dotata di massa esercita (e risente di) una forza gravitazionale la quale è sempre, per quel che ne sappiamo, attrattiva. Non è escluso che ci siano plaghe dell’universo dove la gravitazione è repulsiva, ma qui andiamo quasi sulla fantascienza.

Ogni massa dunque esercita e risente della gravitazione, ma siccome Einstein ci ha insegnato che massa equivale a energia, dimostrandolo matematicamente in modo molto più semplice di quanto non si possa pensare (sarà per questo che non ha vinto il Nobel per tale intuizione...), la gravitazione è in grado di influenzare anche la luce, che può essere interpretata come onda o come corpuscolo, nella fattispecie il “fotone”, che però è pur sempre una particella priva di massa. Comunque questo è un altro discorso..., caso mai ci torneremo.

E proprio parlando della gravitazione ci inoltriamo lungo un sentiero affascinante, dove cosmologia, fisica e filosofia dialogano tra loro.

Intervista a Franco Lo Presti, utente del Centro Pertini, domande di Francesco Fontana

D: Franco, io ti considero un grande umanista, ma non credo che tu abbia in particolare una formazione scientifica; proprio per questo sono curioso di chiederti un giudizio sulla scienza: come ti poni tu di fronte al “sapere” scientifico, inteso come “sapere” pratico?

R: Se io mi pongo di fronte a una informazione scientifica seria, riconosco che ha un valore assolutamente importante, la accetto più che volentieri e la approfondisco. Parlo degli approfondimenti medici, ad esempio. Insomma, ciò che è scientifico, è assolutamente positivo, io ho fiducia nella scienza.

D: Secondo te scienza e fede sono compatibili o meno?

R: A mio parere non sempre lo sono; la religione, che dalla fede deriva, va avanti a dogmi, che sono per loro natura immutabili, mentre la scienza invece ha dei principi dimostrabili e vive sulla ricerca e quindi sul cambiamento continuo; quindi io credo, ma riconosco che il mio è un discorso di parte, che la scienza sia compatibile con la fede solo quando quest’ultima si sforza di adattarsi a essa in alcune sfaccettature,

altrimenti sono due visioni del mondo che non possono coincidere. Diverso, forse, è il discorso per il concetto più elevato, quello di Dio!

D: Molto interessante: dimmi qualcosa su ciò.

R: L'uomo è limitato per sua natura, a mio parere, e per supplire a ciò io penso che a volte si crei un essere superiore al quale adattarsi e rivolgersi. Quindi, se chi ha la fede dice che Dio crea l'uomo, io dico che in un certo senso è anche l'uomo che crea Dio...

D: Ma mi pare che questo tuo ragionamento sia perfettamente coerente con il tuo "scetticismo positivista", non diverso come prima accennavi...

R: Il concetto di Dio è così elevato che in esso l'uomo quasi si perde...

D: E allora qua prendo la palla al balzo per porti di fronte questi accostamenti: cosa pensi di primo acchito se io ti dico Dio – Cosmo, Genesi (in senso religioso) – Big Bang (inteso come nascita dell'Universo)?

R: La risposta è nella tua stessa domanda: tu accosti parole di fede e parole scientifiche; sono parole, o principi, che possono coesistere, ma con un indubbio sforzo. In sostanza, per me rimangono due interpretazioni della realtà separate, alternative. Mi spiego oltre: i riti religiosi, anche quelli moderni, sono comunque dei gesti che corrispondono ai riti pagani, di una volta, nel senso che ripetono gestualità che non hanno base scientifica.

D: Un'ultima domanda, Franco; e allora, quei grandi scienziati che erano anche grandi uomini di fede?

R: Sono scelte personali. Anch'io posso avere la mia religiosità, che evidentemente si rifà a una certa educazione, a una personale sensibilità, alla mia formazione.

2. Le stelle (1^a parte).

Le stelle si formano a causa della forza più debole ma più diffusa nell'universo: la gravità.

L'universo è punteggiato da enormi ammassi di polveri e gas, chiamati "nebulose"; in seguito ai loro moti spontanei talvolta cominciano a riunirsi attorno a nuclei più pesanti che, fatalmente, iniziano a esercitare un effetto di attrazione gravitazionale sul resto della polvere e dei gas circostanti, attirandoli esattamente come la Terra esercita un'attrazione gravitazionale sulla mela che cade dall'albero o su di noi che rimaniamo coi piedi sul pavimento invece di perderci nello spazio. Ecco che si è allora innescato il meccanismo che può portare alla nascita di una stella.

L'attrazione gravitazionale esercitata da queste concentrazioni gassose, in prevalenza idrogeno (l'elemento di gran lunga più abbondante nell'universo), col passare delle centinaia e poi delle migliaia di anni diventa così forte da attirare tantissima materia; tanta materia significa tanto peso, quindi tanta compressione, quindi un aumento vertiginoso delle temperature (un gas più è compresso più è caldo, a causa dell'attrito più forte che si esercita fra le molecole che lo compongono. È lo stesso meccanismo che fa aumentare la temperatura dell'aria in condizioni di Foehn, cioè di vento discendente che comprime le masse d'aria in caduta lungo i versanti montuosi!

Mentre il meccanismo contrario, la rarefazione del gas-aria con relativa diminuzione termica, è quello che, attraverso processi diversi, porta alla condensazione delle nubi oppure al fenomeno per cui in quota fa mediamente più freddo che al suolo!).

Quando le temperature della proto-stella hanno raggiunto un valore particolarmente elevato, ecco che sono sufficienti a innescare le cosiddette fusioni termo-nucleari: “termo” perchè dipendono dal calore raggiunto, “nucleari” perchè interessano i nuclei degli atomi di idrogeno che, essendo la parte più massiva degli atomi, iniziano a scindersi trasformandosi poi in elio, gas leggermente più pesante.

Ecco che allora ci siamo avviati verso la formazione di una vera e propria stella.

Ovviamente una stella, oltre a essere generata e a generare calore, è anche fonte di radiazione elettromagnetica, cioè di luce, la quale parte dalla sua sorgente e inizia a solcare le profondità dell’universo alla velocità di circa 300.000 km. al secondo facendosi prima o poi notare a distanze sempre più grandi (infatti nel vuoto quasi perfetto degli spazi interstellari l’assorbimento di fotoni da parte di materia è minimo e la luce può farsi vedere a distanze enormi senza attenuarsi completamente come accade invece, per esempio, al fascio luminoso di una torcia elettrica proiettato nella nostra atmosfera la quale brulica di atomi che compongono i diversi gas).

Ma le stelle sono separate da distanze enormi, ecco perchè quelle che noi vediamo nel cielo notturno sono le immagini delle stelle di moltissimi anni fa, non certo delle stelle di oggi.

L’unica stella che vediamo in modo quasi immediato è il Sole, perchè a noi molto vicino; la sua luce ci mette solo 8 minuti per raggiungerci.

3. Le stelle (2^a parte).

Prima di riprendere il nostro discorso sulle stelle, è necessario (il perchè lo si capirà più avanti, quando parleremo di “stelle di neutroni”) ricordare a sommi capi la costituzione fondamentale della materia. La materia è costituita da atomi, termine di derivazione greca che significa “indivisibile”, perchè si credeva che l’atomo fosse la particella più piccola oltre la quale non fosse più possibile dividere qualsiasi elemento presente nel nostro universo. In realtà si è scoperto che l’atomo è a sua volta divisibile in altre particelle, come i quark, ma questo è un altro discorso che non vale la pena di affrontare in questo momento.

L’atomo dunque rappresenta il fondamento della materia ed è composto, schematicamente parlando, da un nucleo nel quale è concentrata gran parte della sua massa e da minuscole particelle che ruotano attorno ad esso chiamate elettroni. In realtà gli elettroni possono essere sì concepiti come pianeti che ruotano attorno a un sole, ma si tratta di una rappresentazione grossolana, come la fisica quantistica ha dimostrato. Tuttavia per i nostri scopi l’idea di un nucleo circondato da una fascia di elettroni è già soddisfacente.

Il nucleo è formato da protoni, particelle portatrici di carica elettrica positiva, e da neutroni, particelle elettricamente neutre. Al numero di protoni presenti nel nucleo corrisponde, di norma, un egual numero di elettroni, portatori di carica negativa,

cosicché l'atomo, di norma, è privo di carica elettrica, elidendosi quelle positive con quelle negative. Ma il numero di protoni costituenti il nucleo ha anche un'altra fondamentale proprietà: dona le caratteristiche chimiche all'atomo! Così un atomo con 1 protone costituisce l'idrogeno, quello con 2 protoni un elemento completamente diverso, l'elio, e così via fino ad arrivare a quello con 92 protoni che è l'uranio, l'elemento con maggior numero di protoni presente in natura. La rappresentazione grafica della collocazione di ogni elemento sulla base dei suoi protoni è la "Tavola di Mendeleev". Insomma, possiamo dire, forzando un po' le cose in senso filosofico, che il protone, decidendo con la sua quantità della qualità di ogni elemento, è il cuore di ogni differenziazione in natura. Il protone ha in qualche modo le caratteristiche per essere definito la "Particella di dio (o di Dio per i credenti)".

Ancora pochi cenni sulla struttura dell'atomo prima di tornare alle stelle: i protoni, cariche positive, dovrebbero respingersi tra loro e far esplodere l'atomo, visto che cariche elettriche uguali si respingono, ma rimangono uniti grazie a una forza chiamata "nucleare forte" e mediata da particelle dette "gluoni" (dal termine inglese per "colla", glue) che agisce attraverso la strutturazione protonica in quark (particella subatomica, anzi, subnucleare, anzi ancor di più: subprotonica). Ma anche gli elettroni dovrebbero essere inevitabilmente attirati dai protoni, dato che cariche elettriche diverse si attraggono; ma la forza centrifuga fornita agli elettroni dalla loro rotazione, o collocazione su fasci o gusci energetici progressivi, evita il loro collasso verso il nucleo. D'altra parte è comune a tutti il principio per cui, ad esempio, la biancheria in lavatrice durante le centrifughe rimane, per così dire, incollata alla periferia del cestello. Ultima notazione: i neutroni con la loro presenza contribuiscono al "peso" dell'atomo, e più un atomo è pesante più è instabile, dunque soggetto a decadimenti radioattivi. Ecco perché, se abbiamo atomi dello stesso elemento (in quanto dotati di ugual numero di protoni) ma con un numero di neutroni diverso, ci attendiamo comportamenti bizzarri da parte di quelli più pesanti, comportamenti legati alla radioattività, caratteristica che al momento comunque non ci interessa. Gli elementi formati da atomi con ugual numero di protoni ma numero variabile di neutroni (il numero di neutroni NON incide sulle qualità chimiche dell'elemento) si chiamano "isotopi", perché situati allo stesso posto (iso-topo) nella tavola di Mendeleev. Così abbiamo, per dire, l'idrogeno e vari isotopi dell'idrogeno (deuterio, trizio), fino all'uranio, e ai suoi vari isotopi.

Ora torniamo all'evoluzione delle stelle.

La relativa "stazionarietà" nel corso della loro esistenza, dipende essenzialmente dall'equilibrio che si crea tra una forza che tenderebbe alla contrazione (la gravità, dipendente dalla massa, dal peso), e una forza che tenderebbe all'espansione (l'energia delle reazioni termonucleari a sua volta causate dall'enorme calore sviluppato dalla contrazione: insomma un cane che si mangia la coda e mantiene l'astro in equilibrio).

Esse, invecchiando nell'arco di milioni e miliardi di anni, bruciano i loro gas trasformandoli, attraverso le reazioni termo-nucleari di cui abbiamo già parlato, in

elementi sempre più pesanti, fino a giungere al ferro. Da ciò dipende la diversa colorazione con cui ci appaiono. Nel momento in cui le reazioni termonucleari avranno bruciato tutto il combustibile a disposizione, ecco che la stella inizia in qualche modo a morire. Oltre il ferro la forza gravitazionale (che tende a far collassare la stella) non viene più efficacemente controbilanciata dall'energia delle reazioni termonucleari, e la stella si contrae.

A questo punto, se la stella è sufficientemente energetica e/o massiva, può ricadere su se stessa con tale violenza da provocare, per contrasto, un'esplosione di immane violenza, una sorta di onda d'urto o di rimbalzo che prende il nome di "supernova"; una supernova è in grado di seminare i suoi residui per svariati anni-luce, distanze impensabili verso le quali arriva la radiazione mortale della ex-stella: se ci sono forme di vita nella porzione di universo interessata dalla supernova, ebbene esse vengono distrutte. Ma le supernovae seminano anche nuclei di metalli indispensabili alla formazione di nuovi sistemi planetari e, magari, di colonie viventi. La supernova è dunque latrice di morte e di vita allo stesso tempo. A noi che siamo già vivi non è che sia tanto simpatica l'idea! Ma consoliamoci: è quasi nulla la probabilità che una supernova possa interferire con la nostra civiltà per centinaia di migliaia d'anni...

Alcune supernovae sono apparse nei nostri cieli solo come bagliori pittoreschi, senza riuscire a raggiungerci con radiazioni importanti.

Una stella meno massiva ma dotata di massa sufficiente a creare un ottimo collasso, può diventare una "stella di neutroni", un astro di piccole dimensioni che sotto la propria stessa gravità si compatta così tanto da fare in modo che TUTTI i protoni dei suoi atomi si uniscano a TUTTI gli elettroni, creando un unico fluido (in realtà ben... solido) di neutroni! Queste stelle sono così dense da avere velocità di rotazione parossistiche, dell'ordine di migliaia di giri al secondo! D'altronde basti pensare a come aumenta la velocità di rotazione di una ballerina quando chiude le braccia!

Le nane, infine, sono stelle morenti che non hanno massa sufficiente per seguire le evoluzioni sopra descritte, e si affievoliscono piano piano, raffreddandosi sempre più e spegnendosi come un cerino che si consuma.

Ma abbiamo lasciato per ultima l'evoluzione più stupefacente di alcune stelle, un'evoluzione che si può manifestare quando le masse e le forze gravitazionali in gioco sono le più intense osservabili: in tal caso la stella può evolvere in un "buco nero", uno tra gli oggetti più terribili e affascinanti, anche dal punto di vista filosofico, che l'universo offra a noi, minuscoli osservatori!

Da qui riprenderemo il nostro discorso.

Intervista a Gianni Finotto, chimico industriale, relatore per il Centro Pertini, domande di Francesco Fontana

D: Carissimo Gianni, tu sei un chimico industriale e questa dunque è una domanda d'obbligo: lo studio dell'atomo, secondo te è più fisica o chimica?

R: Lo studio dell'atomo di per sè appartiene più alla fisica. Ma le interazioni tra atomi sono di appartenenza della chimica. E' difficile quindi distinguere quando finisce una e quando comincia l'altra.

D: Banalizzando al massimo, si potrebbe allora dire che l'atomo e le particelle subatomiche sono più oggetto della fisica mentre la molecola è più oggetto della chimica? O è una ingenua bestialità?

R: Sono convinto che il campo scientifico non appartenga nè agli uni nè agli altri ma sia condivisione di saperi, di conoscenze e competenze. Potrei rispondere alla tua domanda che anche le molecole hanno bisogno di studi in campo fisico, biochimico, biologico e via discorrendo... Enrico Fermi, nostro grande fisico, nel proprio gruppo di lavoro aveva un chimico così come molti chimici si avvalgono dell'esperienza dei fisici. Una particolare branca della chimica si chiama appunto "chimica fisica".

D: Atomo significa, dal greco, indivisibile; poi si è scoperto che in realtà l'atomo è composto da particelle più piccole come quelle subnucleari; a tuo parere col progredire delle conoscenze scopriremo ulteriori "suddivisioni" di queste particelle?

R: I limiti di oggi saranno i traguardi di domani. La tendenza è proprio quella di riuscire a "guardare" la materia in modo sempre più "intimo".

D: La cosiddetta conoscenza religiosa, conoscenza teologica o della divinità, ha sempre e dovunque portato a trarre da essa degli insegnamenti morali; è possibile a tuo parere che la conoscenza scientifica generi una morale, un'etica di vita?

R: Gli scienziati restano comunque sempre uomini, con tutti i loro limiti, ma la comunità scientifica ha il dovere morale di imporre regole condivise per il miglioramento dell'uomo in tutti i suoi aspetti.

D: ... cosa questa che, mi sembra, non sempre avvenga; un quesito allora, Gianni, mi viene spontaneo: perchè l'umanità ha saputo costruire, ad esempio, delle Banca continentali, un Fondo monetario internazionale (l'FMI), ma non una "cupola" scientifica mondiale che faccia quanto tu dici?

R: Esiste comunque un codice etico per gli scienziati. Le distorsioni appartengono quindi più ai singoli che alla comunità scientifica in senso lato.

D: Scienza e fede sono alternativi?

R: Vorrei risponderti in questo modo. Quando studiavo termodinamica mi è rimasta impressa questa definizione, trovata in un bellissimo libro: in un sistema isolato come l'Universo l'entropia (ovvero stato di caos, ovvero disordine) è in continuo aumento; per ottenere ciò dobbiamo essere partiti da una condizione di equilibrio che è stata alterata nella sua fase iniziale da un'entità per forza di cose sovrannaturale; i credenti, e anch'io, la chiamano Dio.

4. I buchi neri.

- 11 Km./sec.;
- 600 Km./sec.;
- 100.000 Km./sec.;
- >300.000 Km./sec.

Teniamo bene a mente queste grandezze perchè rappresentano la porta (appena socchiusa...) attraverso la quale possiamo avvicinarci a uno fra i concetti più terribili e affascinanti della cosmologia: il buco nero.

11 Kilometri al secondo è la velocità di fuga dalla Terra.

Noi sappiamo che ogni oggetto massivo esercita una forza, la gravità, che ha effetto attrattivo su tutto quanto a esso esterno. La gravità, anzi, il campo gravitazionale, decresce con il quadrato della distanza, cioè più ci si allontana dalla massa sorgente di gravità più gli effetti gravitazionali diminuiscono; e lo fanno non secondo la distanza, bensì secondo il quadrato di essa, cioè secondo la distanza moltiplicata per se stessa. Si può dunque ben capire come sia intensa la decrescita degli effetti di un campo gravitazionale, cosicché esso, pur teoricamente infinito, a un certo punto cessa praticamente i propri effetti e dunque, in qualche modo, la propria stessa esistenza, anche perchè nelle immensità siderali va a incontrarsi e poi a elidersi con altri campi da lui diversi o addirittura contrari.

La gravitazione è sempre attrattiva, per quanto ne sappiamo. Essa è mediata da particelle, al momento puramente teoriche, definite dai fisici “gravitoni” al modo dei “fotoni”, mediatori dell’energia elettromagnetica o luce, dei “gluoni”, mediatori della forza nucleare forte, etc... Il gravitone, particella priva di massa, non è mai stato osservato e registrato sperimentalmente nella sua singolarità, dunque noi ne deduciamo l’esistenza dagli effetti i quali si propagano attraverso un’altra “entità” di cui supponiamo l’esistenza solo perchè ne osserviamo le conseguenze: l’onda gravitazionale. Certo, sono stati condotti esperimenti accuratissimi con macchinari di estrema precisione che sembra siano in grado di registrare le onde della gravitazione, ma sono frontiere della fisica ancora molto discusse e non da tutti accettate. Quel che conta, comunque, è che la gravitazione esiste, eccome, altrimenti la materia non avrebbe consistenza, incapace come sarebbe di addensarsi e rimanere insieme.

La gravitazione dipende dalla massa. A masse più importanti corrispondono attrazioni gravitazionali altrettanto importanti. A masse risibili corrispondono attrazioni gravitazionali altrettanto risibili; oppure, per i nostri scopi, possiamo tranquillamente dire che non corrispondono affatto attrazioni gravitazionali.

La gravitazione impedisce alla materia di disperdersi, e dunque tiene oggetti minori legati ad oggetti maggiori; la Terra all’orbita solare, la Luna all’orbita terrestre, l’uomo al terreno.

Ma la gravitazione non è una “calamita assoluta” che impedisca a un oggetto di staccarsi dalla massa che la produce; una fuga è possibile, a patto di poter disporre d’un qualcosa contrario e sufficiente a vincere la gravitazione stessa. Questo qualcosa è la “velocità di fuga”. Essa è tanto maggiore quanto maggiore è l’attrazione gravitazionale che deve vincere; per la Terra, la velocità di fuga è, appunto, di 11 Kilometri al secondo. Ciò significa che un corpo lanciato alla velocità di 11 Km./sec. (non di meno!) riesce a svincolarsi dal campo gravitazionale terrestre. Ecco perchè velocità studiate perfettamente a tavolino dai fisici riescono a immettere un grave

(nella fattispecie un satellite) in orbita attorno al nostro pianeta, imprimendogli un'accelerazione che lo faccia staccare dalla superficie ma impedisca anche il suo definitivo perdersi nello spazio: sono i satelliti orbitanti attorno alla Terra, in grado di trasmetterci tante preziose informazioni sull'atmosfera e sullo spazio. Quando la loro velocità di rotazione attorno al pianeta è solidale con quella del pianeta stesso essi prendono il nome di "geostazionari".

Tornando alle velocità di fuga, è chiaro che, dovendo esse vincere una forza, la gravità, proporzionale alla massa, più questa massa è notevole e più la velocità di fuga sarà elevata. Allora un oggetto per fuggire al campo gravitazionale del Sole dovrebbe staccarsi dalla sua (ipotetica) superficie a 600 Km./sec., mentre per fuggire alle "brame" della superficie di una stella a neutroni, corpo massivo densissimo, dovrebbe addirittura viaggiare a 100.000 Km./sec.! Tutto ciò che viaggia a velocità minori e viene a trovarsi nei pressi della sua superficie viene inghiottito e diviene parte integrante della stella stessa.

Ma noi sappiamo che le stelle di neutroni hanno densità elevatissime ma teoricamente superabili. Un compattamento di materia ancora maggiore non è vietato da nessuna legge fisica, e il collasso di alcune stelle risulta agli astrofisici che possa condurre a creare corpi ancor più massivi e densi. Nel momento in cui un corpo arriva ad avere una densità così grande da non permettere più nemmeno alla luce di uscirne, ecco che rappresenta un "buco nero". La velocità di fuga da un buco nero è superiore a 300.000 Km./sec., che è (approssimativamente) la velocità della luce (nel vuoto). Ma siccome le equazioni della relatività di Einstein hanno ben dimostrato che NULLA può superare la velocità della luce, possiamo ben dire che non esiste velocità di fuga dalla superficie di un buco nero, ovvero che NULLA può fuggire da un buco nero.

I buchi neri non si possono vedere proprio perchè non emettono luce. Ma se ne può arguire l'esistenza sia dallo studio dell'evoluzione delle stelle (le più massive) sia dagli effetti indotti dai buchi neri stessi (effetti gravitazionali nelle porzioni di universo a essi limitrofe).

Il buco nero è costituito da una "superficie", chiamata "orizzonte degli eventi" la quale rappresenta il limite oltre il quale nulla può uscire, nè oggetti, nè luce, nè informazioni, nè fatti (o eventi). E il tempo? E lo spazio? Oltre l'orizzonte degli eventi esistono tempo e spazio? Cosa accadrebbe a un astronauta se potesse essere calato dentro a un buco nero (oltre a disintegrarsi subito, ovviamente, ma qui facciamo l'ipotesi che, per intervento divino, riuscisse a mantenere vita e coscienza...)?

Innanzitutto gli accadrebbe qualcosa che noi non potremmo mai sapere, in quanto nessuna informazione può uscire da un buco nero: non esistono informazioni in grado di viaggiare a velocità superiori a quella della luce.

Gli accadrebbe qualcosa che neppure lui stesso potrebbe mai dirci, in quanto nessun oggetto può viaggiare a velocità superiori a quella della luce.

Siccome Einstein ci ha insegnato che man mano ci si avvicina alla velocità della luce tanto più si modificano spazio e tempo, probabilmente questo astronauta (baciato da

un'improbabile, salvifica benedizione divina) uscirebbe dallo spazio e dal tempo, in qualche modo non esisterebbe più, almeno per i nostri canoni correnti. Andrebbe a finire diretto in paradiso, o all'inferno, o in un altro universo?

Ci divertiremo a riflettere su ciò nel prossimo intervento. E saranno proprio e soprattutto riflessioni in libertà, perchè la fisica, quella seria, a questi confini lascia spazio alla filosofia, alla fantasia, all'immaginazione. Ma a volte riflettere può essere tanto importante quanto conoscere.

5. Alle soglie dell'infinito.

I buchi neri dunque rappresentano un estremo oltre il quale, in un certo senso, non è possibile andare. Sì, perchè se essi rappresentano una porzione di realtà dalla quale neppure la luce può sfuggire, è difficile immaginare qualche cosa con caratteristiche fisiche ancora più estreme rispetto a un buco nero, proprio perchè è difficile immaginare qualcosa che possa muoversi a velocità superiori a quella della luce.

Ma perchè non c'è nulla che viaggia a velocità superiori a quella della luce?

Intanto chiariamo subito che molti scienziati non hanno escluso completamente la possibilità che alcune particelle siano in grado di viaggiare a velocità superiori a quella della luce, si tratterebbe appunto di particelle subatomiche prive di massa e dotate della curiosa capacità di viaggiare nel tempo a ritroso, proprio perchè non subluminali come tutto il resto della realtà. Capiamo bene quindi come qua ci si trovi ai confini della fantascienza. E come sia quanto mai opportuno andare con i piedi di piombo nelle nostre riflessioni: il rischio di dire banalità è altissimo, e probabilmente anche il sottoscritto ci cadrà dentro come una pera, cosa per la quale mi scuso fin da subito.

Riflettiamo su una cosa: l'intera realtà fisica che ci circonda giunge a noi alla velocità della luce. Ogni immagine che impressioni il nostro apparato visivo, e la nostra mente, giunge a noi sotto forma di fotoni, cioè di luce. Dunque non ci raggiunge "istantaneamente", ma impiega del tempo per arrivare dalla propria sorgente a noi. Il bagliore sfuocato di un quasar ci mette miliardi di anni (i quasar infatti sono lontani da noi miliardi di anni-luce), quello più nitido di una stella della nostra galassia qualche milione di anni, la luce del sole 8 minuti, l'immagine della mela che sta sul tavolo una infinitesima frazione di frazione di frazione di frazione, etc... di secondo. Quindi le informazioni luminose viaggiano nel futuro, come è normale, viaggiano avanti nel tempo, proprio perchè impiegano del tempo per muoversi da qua a là.

Io, se alle 10 del mattino prendo il treno per andare a Parigi, so già che raggiungerò la capitale francese in serata, dunque in là nel tempo, dunque effettuerò il mio spostamento nel futuro (che poi diventa, istante dopo istante, il mio presente), così come è assolutamente normale per il nostro senso comune, mi sembra chiaro. E più veloce il treno viaggia minore è la porzione di tempo (di futuro) che devo impiegare per raggiungere la mia meta. Infatti, se invece del treno prendo l'aereo, raggiungerò Parigi entro metà giornata, non entro la sera.

Ma se, per ipotesi, potessi montare su un oggetto che viaggia alla velocità di 300.000 Km. al secondo, cioè alla velocità della luce (nel vuoto), ebbene, riflettiamo su questa cosa sorprendente: io impiegherei sì del tempo per spostarmi da qui a lì, ma mi muoverei con velocità solidale a quella di tutte le immagini della realtà che mi si muovono intorno; dunque, mi muoverei in una sorta di eterno presente. Ecco perchè particelle che potessero addirittura muoversi a velocità superluminali, dunque più veloci della luce, in qualche modo viaggerebbero non più nel futuro (come facciamo tutti noi che possiamo apprezzare, istante dopo istante, la “trasformazione” del futuro nel nostro presente) e neppure nel presente (che istante dopo istante si “trasformerebbe” in un eterno se stesso), ma nel passato!

Un passato che si “trasformerebbe”, istante dopo istante, nel loro presente?

Intervista a Gianni Brocca, relatore per il Centro Pertini, domande di Francesco Fontana

D: Dottor. Gianni, subito una domanda birichina: gli atomi vanno d'accordo col Signore?

R: Ma è ovvio!

D: E' anche ovvio che io scherzavo; voglio dire: secondo te esiste una compatibilità tra conoscenza scientifica e fede, che io non voglio definire “conoscenza” o cos'altro e che magari definirai tu...?

R: La necessità è subito chiarire qual è il concetto di “scienza” e qual è il concetto di “fede”. Io chiarisco e distingo la scienza, che è lo studio della natura e dei fenomeni, dalle sue applicazioni che già non sono più scienza. La “scienza” è semplicemente lo studio del creato, dei fenomeni, anche quelli non misurabili; quando poi io applico la scienza questa diventa tecnica. Invece quando io parlo di studio del Creato, allora ecco che sto cercando le leggi che lo regolano. La fede in ciò si inserisce benissimo perchè mi fa capire che lascia spazio al fatto che non tutto riesco a definirlo con delle leggi. Oso dire di più: lo scienziato va alla ricerca delle sue leggi partendo con un atto di fede dato che non ha all'inizio una base razionale; quindi io, scienziato, parto con un atto di fede.

D: Fede in cosa?

R: Di poter scoprire verità o parte di essa.

D: E ciò ha un collegamento con il credere o meno in Dio?

R: Sì. Lo scienziato ateo studia i fenomeni e le loro leggi e si limita a verificarle senza veder nulla dietro. Lo scienziato credente invece vede in queste leggi non solo una logica del Creato, ma il fatto che tale logica è un'impronta del Creatore, avvertendo quindi che il tutto non è figlio del caos o del caso.

D: Dunque, se ben capisco, a tuo parere di credente, lo scienziato ateo porta avanti una ricerca rispettabilissima ma un po' “castrata” nel suo fine. E lo scienziato agnostico, quello che non nega Dio ma neppure lo accetta perchè ritiene di non avere gli elementi nè per l'una nè per l'altra posizione?

R: Per me l'essere agnostico è una posizione di comodo, è volersi dichiarare nè una cosa nè l'altra. E' come se una persona si meravigliasse di un innamorato ma, non essendo mai stato innamorato, non riuscisse a comprendere a fondo quel che ciò significa; l'ateo trova addirittura stolta la posizione e il comportamento, spesso illogico, dell'innamorato. Se io vedessi questa scena dall'esterno dovrei dire che l'ateo si preclude questa possibilità di innamorarsi un domani, e mi dispiace per lui; all'agnostico auguro di incontrare una bella persona di cui innamorarsi, perchè è comunque aperto a questa opzione; all'innamorato dico di vivere il suo amore.

6. Viaggi nel tempo, viaggi nello spazio: un po' di relatività ristretta.

Una volta acclarato sperimentalmente che la luce può essere interpretata come "onda", alle soglie della fisica contemporanea si riuscì anche a comprendere (sempre sperimentalmente) la velocità di questa "onda" luminosa: (circa) 300.000 Km./sec.!

Okay: ma questa luce si muove a 300.000 Km./sec. rispetto a cosa? Una velocità dev'essere sempre individuata rispetto a uno sfondo, a un parametro. Se noi osserviamo dal finestrino di un treno in movimento (poniamo alla velocità di 80 Km./h) un altro treno che viaggia appaiato nella stessa direzione e alla medesima velocità, ebbene per noi questo secondo treno sarà fermo, e non è solo un modo di dire, è un'asserzione fisica vera e propria, verificabilissima: se sul secondo treno (il quale, come già detto, viaggia a 80 km./h, esattamente come il nostro) c'è un finestrino corrispondente al nostro finestrino dal quale si affaccia la nostra fidanzata, (ponendo minima la distanza fra i vagoni) noi possiamo benissimo unire le nostre bocche e darci un lungo, appassionato bacio della durata di 5, 30, 60 secondi, esattamente come se fossimo fermi; perchè noi, rispetto alla nostra fidanzata viaggiatrice, SIAMO FERMI! E lei, rispetto a noi, E' FERMA! Proviamo a baciarci scorrendo l'uno rispetto all'altra a 80 km./h: riusciremmo al massimo a sfiorarci, col rischio di un urto che, per quanto delicato e... permeato d'amore, potrebbe ben farci sanguinare la bocca! Dunque noi su quel treno, rispetto ai binari, al paesaggio, alle case (tutte cose fisse) ci muoviamo a 80 Km./h, ma rispetto alla nostra fidanzata che è sull'altro treno siamo FERMI, con tutte le conseguenze fisiche che ne derivano!

La velocità altro non è che la distanza percorsa (si dovrebbe dire "spazio percorso", ma per semplicità lessicale e per evitare equivoci nei nostri ragionamenti qua useremo il sinonimo "distanza percorsa") diviso il tempo impiegato per percorrerla: d/t . Infatti la mia fidanzata sul treno rispetto a me percorre 0 metri (mi è sempre di fronte che mi bacia, non si sposta di 1 millimetro!) e dunque il risultato della formula sarà sempre 0, visto che una frazione con 0 al numeratore dà sempre risultato 0.

Mi sembra chiaro ormai che la velocità ha senso se riferita a qualcosa. Ebbene: gli esperimenti rigorosamente condotti da fisici molto seri quali Michelson e Morley, così come le equazioni dell'elettromagnetismo di Maxwell, indicavano che la velocità della luce era SEMPRE costante, era SEMPRE di 300.000 Km./sec., a prescindere dallo stato di moto dell'osservatore. A seconda che noi andassimo incontro alla luce o le fuggissimo, o stessimo fermi, avremmo dovuto avere dei valori maggiori, minori o

uguali a 300.000 Km./sec.; invece no, ogni esperimento diceva che la velocità era costante: sempre 300.000 Km./sec. In sostanza: se noi ci fossimo fidanzati con la luce, non avremmo mai potuto scambiare il bacio appassionato sul treno.

Ma allora, ci si chiese: rispetto a cosa la luce ha la sua immutabile velocità? Non rispetto a quella fantomatica sostanza inventata dai fisici per dare un riferimento fisso a tutto e chiamata "etere", della quale non esisteva alcuna prova sperimentale; ma neppure rispetto a qualunque altra sostanza materiale, o corpo, visto che, se queste sostanze o corpi variavano il loro moto, non variava però la velocità della luce nei loro confronti!

Stregoneria? No, ebbe l'intuizione di pensare Einstein. Se la velocità della luce non varia con il variare dello stato (del moto, cioè) dell'osservatore, significa semplicemente che essa deve essere calcolata sulla base di parametri che per ogni singolo osservatore cambiano a seconda del suo "stato di moto".

Esemplifichiamo: ricordando che $v=d/t$, se lo spazio e il tempo sono qualcosa di fisso e immutabile, allora v cambierà sempre al cambiare di d e di t ; se io vedo un'auto che percorre una distanza "d" pari a 60 Km in un tempo "t" pari a 1 ora, calcolerò che $60/1$ è la velocità dell'auto (60 Km. all'ora), e così via. Se l'auto la vedo percorrere 40 km. in 0,5 ore, il rapporto sarà $40/0,5$, ovverosia 80, cioè arguirò che l'auto viaggia a 80 Km. all'ora; e così via ancora... Vedete bene come al variare del numeratore e del denominatore della frazione varia (com'è logico) il risultato.

Ma nel caso in cui io voglia calcolare la velocità della luce, il mio risultato sarà SEMPRE 300.000 Km/sec.; in sostanza, diversamente dai calcoli che posso effettuare per valutare la velocità "v" di ogni altro corpo in movimento, nel caso della luce avrò sempre e comunque dei "vincoli" che mi costringeranno sempre, instancabilmente, fino allo sfinimento, a ottenere solo un risultato: 300.000 Km./sec.

Per quale motivo, che io mi muova o che io sia fermo, avrò sempre lo stesso risultato quando mi occupo di luce? Evidentemente, intuì Einstein, perchè osservatori che si muovono l'uno rispetto all'altro (io che osservo la luce da fermo e tu che la osservi muovendoti) non rilevano valori identici quando misurano distanza percorsa "d" e tempo impiegato per percorrerla "t"! Questa è la conclusione della relatività ristretta di Einstein: la percezione che ha di distanza (o "spazio", adesso possiamo trionfalmente ricominciare a usare questo termine!) e tempo un osservatore in movimento è DIVERSA da quella che ne ha un osservatore fermo!

In sostanza, insegna Einstein, lo spazio e il tempo ASSOLUTI di Newton NON ESISTONO, altrimenti la percezione v della velocità della luce sarebbe diversa per osservatori in moto diverso tra loro. Ciò che esiste, ed è fisso, è lo "SPAZIOTEMPO", l'autentico contenitore in cui tutto l'Universo è racchiuso. E nello "spaziotempo" la luce viaggia sempre a 300.000 km./sec., massima velocità raggiungibile.

Quando io, osservatore, mi muovo nello spazio si altera per me il tempo, e questa alterazione "corregge" il rapporto t/d che io posso trarre osservando un raggio luminoso in modo che il suo risultato v sia sempre pari a 300.000 Km./sec.

E che il tempo si alteri (scorrendo più lento) quando un osservatore si muove rispetto a quando è fermo (e dunque il tempo sia relativo, elastico, in grado di "adattarsi" alla nostra frazione applicata alla luce $v=d/t$ in modo che il risultato sia sempre lo stesso, 300.000 Km./sec.) è dimostrato anche sperimentalmente da orologi precisissimi fatti funzionare l'uno in quiete e l'altro ad alte velocità.

Ecco perchè Einstein voleva chiamare la sua teoria non "della relatività" ma "dell'invarianza" in quanto per lui il concetto cardine era lo SPAZIOTEMPO, invariante supremo in cui tutti siamo immersi e in cui tutto è immerso.

E dalla cui comprensione (molto semplice, peraltro), ci toglieremo qualunque perplessità dovesse averci lasciato questo lungo ragionamento, così lontano per certi versi dal senso comune.

7. Ancora sulla velocità della luce.

Prima di addentrarci come promesso nel concetto centrale della relatività ristretta, lo Spaziotempo, spieghiamo un paio di cose molto importanti e ad esso propedeutiche, che contribuiranno a toglierci alcuni dubbi del tutto naturali quando ci si occupa di spazio e tempo che si distorcono e stranezze simili.

Bisogna chiarire come la distorsione della percezione di spazio "d" e di tempo "t" che avviene tra osservatori fermi e osservatori in movimento si verifichi anche quando abbiamo a che fare con velocità basse; solo che il suo valore è talmente infinitesimale da non avere praticamente alcun effetto sul rapporto $v=d/t$, per cui a velocità "basse" lo spazio e il tempo sembrano due entità "distinte e assolute" e il valore "v" può cambiare di volta in volta al cambiare dei fattori in gioco così come ci insegna la matematica che tutti conosciamo.

E' quando si ha a che fare con velocità molto elevate, vicine a quella della luce, che la distorsione entra in gioco in maniera così importante da "correggere" di volta in volta il rapporto tra i due fattori "d" e "t" in modo che "v" risulti sempre uguale a 300.000 km./sec.!

Per capire meglio, anche con l'ausilio della matematica più elementare, osserviamo e commentiamo queste frazioni (o rapporti) tese a calcolare il valore di "v" (in questi casi, per seguire meglio il procedimento logico, scriveremo le nostre frazioni secondo questo schema, peraltro del tutto equivalente a quello finora usato: $d/t=v$):

1) $300.000 \text{ (km.)}/1 \text{ (sec.)} = 300.000 \text{ (km. al secondo)}$.

Qui abbiamo il caso classico di un osservatore che, DA FERMO, vede un raggio luminoso percorrere la distanza (o spazio) "d" pari a 300.000 km. in 1 secondo e arguisce, ovviamente, che la velocità del raggio è di 300.000 km. al secondo. Mi sembra tutto chiaro! E' ciò che avviene ad esempio quando ognuno di noi, beato sul proprio terrazzo, osserva la luce del sole rallegrare il paesaggio: questa luce si muove dal Sole alla Terra alla velocità di 300.000 km./sec.

2) $150.000 \text{ (km.)}/0,5 \text{ (sec.)} = 300.000 \text{ (km. al secondo)}$.

Qui invece abbiamo un osservatore il quale, correndo ad ALTISSIMA VELOCITA', (non certo umana...) nella stessa direzione di un raggio luminoso, lo vede percorrere,

in 1 secondo di tempo "umano", una distanza "d" pari, poniamo, a "soli" 150.000 km.; ciò avviene, secondo la nostra logica, perchè lui sta correndo nel medesimo senso del raggio luminoso; così come succede nel caso di due auto che corrono solidali per direzione l'una con l'altra, la prima a 80 km./h e la seconda a 50 km./h: per il guidatore della seconda auto la prima viaggia, rispetto a lui, a soli 30 km./h.

Ma torniamo a noi: ecco, si direbbe, in questo caso la luce è più lenta, viaggia infatti a 150.000 km./sec., e abbiamo fregato in pieno Einstein! No! Infatti per questo velocissimo osservatore il tempo scorre più lentamente che per i comuni mortali, a causa della distorsione spazio-temporale indotta dall'altissima velocità; per cui, quel tempo che per l'osservatore dell'esempio 1) (un "comune mortale") era di 1 secondo, per questo osservatore dell'esempio 2) si riduce a 0,5 secondi; e... $150.000/0,50$ è uguale, ancora una volta, a 300.000!

Chiariamo: questo, da un punto di vista numerico, è solo un esempio del tutto arbitrario, essendo la matematica della relatività ristretta ben più complicata. Insomma, l'aneddoto serve solo a esemplificare. Basti solo riflettere sul fatto che per queste velocità entra in campo anche la distorsione delle lunghezze (si parla infatti sempre di distorsione "spazio-temporale") che qui abbiamo per semplicità trascurato ma che è altrettanto importante e spiega, per lo stesso procedimento logico, la costanza (o "invarianza") della velocità della luce anche in caso di un osservatore che si muove in senso inverso, e non solidalmente, a un raggio luminoso.

3) $0 \text{ (km.)}/0 \text{ (sec.)} = \text{indeterminato}$

E' questo il caso limite di un osservatore che viaggia ALLA VELOCITA' DELLA LUCE! Egli vedrebbe il raggio luminoso percorrere 0 km. (se viaggia solidale sia per direzione che per velocità con la luce, per lui la luce è ferma) in 0 secondi (infatti alla sua velocità, che coincide con quella della luce, il tempo è talmente dilatato da non scorrere più); quindi i termini della frazione sono 0/0. Cosa vuole dire? Che finalmente qui abbiamo fregato Einstein, con tutti questi zeri in ballo? Nemmeno per sogno.

La matematica ci insegna che 0/0 dà un valore indeterminato, è un assurdo. Nessun "osservatore" può viaggiare alla velocità della luce (che d'ora in avanti indicheremo con il simbolo canonico adottato dalla comunità scientifica "c"), si tratta quindi di un'esperienza che non può fisicamente realizzarsi, e per tale motivo non è confrontabile con le equazioni di Einstein; e dunque, ancora una volta, le ratifica, proprio perchè "sembra" contraddirle nell'unico caso "non plausibile"! Detto in modo molto semplice: la classica eccezione che conferma la regola!

Ed è anche un'impressionante dimostrazione di come la matematica, anche nei suoi concetti più astrusi (tipo questa stranissima frazione: $0/0 = \text{indeterminato}$) che potremmo battezzare di primo acchito come stramberie partorite da menti genialoidi, in realtà proceda di pari passo col nostro mondo indicandoci cosa può esistere e cosa no!

8. Lo Spaziotempo.

Immaginiamo di percorrere con l'auto una distanza pari a 100 Km.; immaginiamo di fare questi 100 Km. tutti in direzione Nord; il nostro sforzo avrà dunque prodotto il risultato di portarci verso Nord di esattamente 100 km.

Ma pensiamo ora di viaggiare i medesimi 100 Km. non proprio in direzione Nord, ma deviando leggermente a Nordest: ebbene, alla fine del nostro sforzo automobilistico, ci saremo senza dubbio portati parecchio a Nord, ma non di 100 Km., bensì di 95, poniamo, o di 90. Perché? Per il semplice fatto che ci saremo spostati un po' anche verso Est, avendo preso una direzione lievemente deviata verso Nordest. Dunque, dopo i nostri 100 Km., ci saremo spostati in (gran) parte verso Nord e in (piccola) parte verso Est. Dunque, con il medesimo sforzo (il percorrere 100 Km.) avremo effettuato un movimento su 2 dimensioni (Nord ed Est) e non solo su una (Nord); il tutto, ovviamente, a scapito l'una dell'altra. A parità di sforzo (il percorrere i famosi 100 Km.) avremo rinunciato a qualcosa nel nostro spostamento verso Nord per guadagnare qualcosa nello spostamento verso Est.

Ebbene: questo ragionamento ci fa capire esattamente cos'è lo SPAZIOTEMPO intuito da Albert Einstein, e cardine della sua teoria della relatività ristretta (o speciale).

Einstein afferma (e dimostra sperimentalmente) che quando osservatori si muovono a velocità diverse nello spazio per loro cambia la percezione del tempo, ovvero: il tempo per loro scorre in modo diverso.

Ma esiste anche per noi un semplice esperimento intuitivo capace di farci comprendere questa famosa "dilatazione del tempo"? Certo, è l'esperimento degli orologi. Un orologio è semplicemente un meccanismo che scandisce il tempo. Possiamo decidere noi come farlo funzionare. Supponiamo allora di avere due orologi identici formati da due specchi uguali posti orizzontalmente rispetto al terreno, uno che poggia a terra e uno sito più in alto, mettiamo a 1 metro. Questi specchi riflettono continuamente un raggio luminoso che va, instancabile, dallo specchio superiore a quello inferiore per poi tornare in su e poi ancora in giù, senza mai fermarsi. Siccome la velocità del raggio luminoso è costante, la continua riflessione del raggio rappresenta il trascorrere del tempo. Fino a qua ci siamo: è tutto molto intuitivo; che oscilli una particella di quarzo o che si rifletta un raggio luminoso poco cambia, siamo sempre in presenza di un orologio precisissimo! Ma ipotizziamo che, mentre il primo orologio rimane fermo rispetto a noi, il secondo abbia le ruote e si muova con una certa velocità, continuando ovviamente nel suo funzionamento a luce. Pensateci bene: nell'orologio fermo il raggio luminoso per andare da uno specchio all'altro deve percorrere la distanza minima che separa i due specchi, cioè un metro, perché si muove in verticale. Ma nell'orologio che si muove il raggio, per andare da uno specchio all'altro, sarà costretto a spostarsi leggermente in diagonale; infatti, muovendosi l'intero sistema (cioè l'orologio a specchi), gli specchi possono essere raggiunti dal raggio con un movimento non più verticale ma trasversale, un po' deviato in avanti, poiché in qualche modo "sfuggono"

costantemente l'uno all'altro nella direzione in cui l'orologio si sposta! E così sono costretti a percorrere una distanza leggermente maggiore in quell'operazione, infinitamente ripetuta, della riflessione dal primo specchio al secondo; e siccome la velocità del raggio luminoso non cambia, aumentando la distanza che è costretto a percorrere diminuirà la rapidità con cui scandisce il tempo: sarà insomma più lento; per lui il tempo si sarà dilatato. Dunque: un orologio in movimento scandisce il tempo più lentamente di un orologio fermo! Più un sistema va veloce più per questo sistema il tempo rallenta. Ecco che ora capiamo meglio il concetto per il quale, alla velocità della luce (massima velocità immaginabile in natura), in un certo modo il tempo non scorre più!

Del resto un semplice esperimento intuitivo riesce a farci comprendere anche la contrazione delle lunghezze (cioè dello spazio) che si manifesta con la velocità: come? Immaginiamo che due amici (che chiameremo signor "A" e signor "B") siano uno seduto in stazione (signor A) e uno su un treno (signor B) che passa proprio attraverso quella stazione a velocità costante e senza fermarsi. B, che è sul treno, vuole misurare la lunghezza del mezzo e lo fa in modo molto semplice: si affaccia dal finestrino e fa scattare un cronometro quando la testa del treno passa davanti a un punto fisso, ipotizziamo un pilone; poi blocca il cronometro quando la coda del treno passa davanti allo stesso pilone. Conoscendo la velocità del treno e il tempo misurato dal cronometro, con una semplice operazione (v/t) riesce a calcolare la lunghezza del treno. Nulla vieta anche al signor A di effettuare la stessa operazione, munito di un analogo cronometro: ma otterrà lo stesso risultato? No! Otterrà un risultato molto simile, ovviamente, ma non identico, dato che lui rispetto al treno si sta muovendo (mentre il signor B rispetto al treno è fermo, perchè ci viaggia comodamente sopra) e il tempo per chi si muove scorre più lentamente rispetto a quanto accade per chi è fermo. Il cronometro di B scorre più lentamente rispetto a quello di A! Dunque per i due amici, A e B, uno fermo e l'altro in movimento rispetto al sistema di riferimento "treno", il tempo scorre diversamente, e uno dei dati (il dato "t") dell'operazione v/t che serve a calcolare la lunghezza del treno inevitabilmente cambia, facendo cambiare, com'è naturale, il risultato finale. Insomma: per un osservatore in movimento le lunghezze si contraggono!

Einstein ha quindi intuito che un osservatore fermo nello spazio (un'auto parcheggiata, una persona che dorme, un treno arrivato a destinazione, etc...) in realtà viaggia con tutto il proprio "potenziale di velocità" nel tempo (cosa molto intuitiva: tutti noi veniamo dal passato, siamo nel presente e viaggiamo verso un continuo futuro). Quando invece comincia a muoversi nello spazio (la macchina riparte, la persona si sveglia e va in bagno, il treno si mette in moto per una nuova meta), sfrutta una piccola frazione di questo suo "potenziale di velocità" per spostarsi nello spazio appunto, togliendo questa frazione al suo spostamento nel tempo: esattamente come l'automobilista che, deviando verso Nordest, sfrutta una piccola porzione del suo "potenziale chilometrico" di 100 km. a scapito della direzione Nord per spostarsi un po' anche in direzione Est.

E siccome il "potenziale di velocità" è la velocità della luce, nulla di più e nulla di meno, se parte di questo potenziale lo usiamo per muoverci nello spazio, automaticamente e inevitabilmente lo sottrarremo al nostro muoverci nel tempo. Insomma: il capitale di velocità che abbiamo a disposizione è sempre uguale, e siccome la coperta non puoi tirarla da una parte senza che si accorci dall'altra, ecco che se acceleriamo nello spazio non possiamo che rallentare nel tempo! Ecco cos'è lo SPAZIOTEMPO! E' un "contenitore", un "ambito", un "qualcosa" in cui tutto esiste e si muove con velocità diverse in due dimensioni: quella spaziale e quella temporale, inscindibili tra loro, facce diverse (per noi) di un'unica "entità"!

9. I "quanti", questi sconosciuti.

Un grande fisico del '900 ha affermato che se una persona crede di aver compreso la fisica quantistica (o meccanica quantistica), allora significa che non ha capito proprio nulla! Dunque, in tutta umiltà, non pretenderemo certo noi di essere i primi a sfatare questo mito. Però proveremo quanto meno a entrare nella filosofia di questa nuova fisica "di frontiera" che ha sconvolto la concezione che gli scienziati avevano del mondo (sconvolgendo perfino menti superiori come quella di Einstein...) ma ricevendo, sia ben chiaro, delle impressionanti conferme sperimentali.

Per addentrarci in questa (per forza di cose) superficialissima riflessione sulla meccanica quantistica, vorrei iniziare chiarendo da cosa deriva il termine "quanto". E' una italianizzazione del vocabolo latino "quantum", tant'è che nell'uso del plurale si può usare la forma "quanta" (neutro plurale latino) anzichè "quanti".

Il termine "quanto" deriva dall'intuizione che la luce, fenomeno considerato ondulatorio, si propaga però a "pacchetti" discreti (i fotoni), non dunque completamente "spalmata" come farebbe pensare l'idea di "onda". E lo stesso accade per tutte le particelle atomiche e subatomiche che compongono la materia. Un esperimento che ha avvalorato tale tesi è quello riguardante l'effetto fotoelettrico che è valso il Premio Nobel ad Albert Einstein.

Pacchetti che sono onde e onde che sono pacchetti: bel labirinto! E per complicare ancora di più le cose (in apparenza! Nella realtà ci prepareremo la strada per semplificarle...!) facciamo questa riflessione che ora può sembrare del tutto avulsa dal nostro ragionamento ma che più avanti comprenderemo invece quanto sia a esso funzionale: immaginiamoci come il responsabile di una compagnia d'assicurazioni che opera nel 2010, poniamo, a Milano. Dobbiamo valutare a che età muore mediamente nel primo decennio del 21° secolo il maschio milanese per poi calcolare i premi delle polizze-vita da proporre ai milanesi di sesso maschile.

Dopo l'elaborazione di una quantità immensa di dati, riusciamo a capire che il "maschio milanese" nel primo decennio del 2000 muore mediamente (sono solo ipotesi, sia chiaro) a 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore. Riportiamo i risultati statistici del nostro studio su un bellissimo grafico a punti dal quale notiamo prima di tutto che, nei 10 anni di nostro interesse, NESSUN maschio milanese è morto esattamente a 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore! Però il nostro studio ci dice anche

che il “maschio milanese” per eccellenza negli anni 2000 muore proprio a 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore! Cosa significa ciò? Che più ci avviciniamo al valore fatidico di 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore, più è **PROBABILE** che il “maschio milanese” degli anni 2000 muoia in quei paraggi di età, anche se magari, paradossalmente, nessuno muore esattamente a quell’età.

Osservando il nostro grafico notiamo un incredibile ammassamento di punti attorno al valore di 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore, mentre per età più giovani e più vecchie gradualmente i punti si diradano, fino ad averne molti (ma non più moltissimi) intorno a 82 e 73 anni rispettivamente, un po’ meno intorno a 85 e 69, meno ancora a 89 e 56, pochi a 92 e 34, pochissimi a 97 e 19, quasi nessun caso a 101 e 6, nulla a 110 e 2; no, a 2 anni c’è purtroppo un caso isolato qui, e anche a 110 c’è un caso isolato lì, entrerà nel Guinness, forse. Ma ciò a noi non interessa, ciò che ci interessa è che man mano che ci allontaniamo dall’età di 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore la **PROBABILITA’** di trovare dei punti (cioè dei maschi deceduti) diminuisce sempre più fino a essere nulla, anzi no, **QUASI NULLA**, a età minime e altissime!

Bene, il nostro lavoro di assicuratori l’abbiamo fatto e sappiamo che dovremo calcolare i premi delle polizze **IMMAGINANDO** che il maschio milanese nel primo decennio del 2000 muoia a 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore; è il punto in cui la nostra “funzione d’onda” (in effetti, se guardiamo il nostro grafico a punti, ha proprio l’aspetto di una specie d’onda...) ha la maggiore **PROBABILITA’** di “collassare” tramutandosi in evento! Anche se, magari, lo ripetiamo paradossalmente, nessun uomo milanese nel primo decennio del 2000 è veramente morto a 77 anni, 3 mesi, 24 giorni e 11 ore!

Tiriamo il fiato e metabolizziamo nel migliore dei modi questa riflessione sulle assicurazioni, perchè ci farà capire la filosofia della meccanica quantistica.

10. Stranezze quantistiche (1).

Per quale motivo, al fine di entrare nell’ottica della meccanica quantistica, ci siamo trasformati per alcuni minuti in assicuratori? Per prendere confidenza con il concetto di **PROBABILITA’**.

Tutta la meccanica quantistica si basa sul concetto di probabilità. I più minuscoli componenti della materia sembrano costituire non delle "realtà esistenti" ma delle "probabilità" che al loro massimo livello vengono a "collassare" nell’esistenza; e sembrano anche comportarsi in modo solidale a tutto ciò.

Sono discorsi molto lontani dal nostro abituale senso comune, ma la fisica quantistica li ha dimostrati sperimentalmente superando ogni esame, anche quello più arduo e spettacolare, quello posto dalla teoria della relatività, come vedremo in seguito.

La “probabilità”, dunque: essa ci indica una strada per comprendere l’essere, una strada molto diversa da quella percorsa dai diversi filoni di pensiero (scientifico, filosofico, religioso) occidentale. L’essere non è qualcosa di "certo, sicuro e immutabile"; l’essere è qualcosa che si muove in un limbo e si svela all’osservatore nel momento in cui viene osservato; e si svela ora qui ora lì, con maggiore

probabilità laddove sembra a noi (e ai nostri strumenti di osservazione, ad esempio) esistere davvero, ma senza escludere il fatto che il suo "campo d'esistenza" sia comunque ben più ampio di come ci appare quando appunto lo osserviamo.

Prendiamo una particella (in questa fase del nostro ragionamento non ha importanza se essa sia un fotone o un elettrone, etc...); il nostro comune modo di pensare ci induce a ritenere che una particella, per quanto piccola, sia lì; o qui; o più in là; o qua sotto; o lì in fondo. In fin dei conti se una mela è composta da un insieme di particelle, e la mela sta nella fruttiera, sembra ovvio che le particelle che compongono la mela siano tutte nella fruttiera. Questo è un ragionamento che va benissimo (e chi potrebbe negarlo?) per le grandi dimensioni (ricordate la media calcolata sulla TOTALITA' dei maschi milanesi deceduti nel primo decennio degli anni 2000? Ecco che possiamo iniziare a sfruttare delle interessanti analogie...); nella macrorealtà il nostro modo di pensare è assolutamente funzionale ai nostri scopi che sono comprendere ciò che ci sta intorno, usarlo, viverlo, etc...; ma questo non significa che sia il SOLO modo interpretativo possibile, nè soprattutto che sia CORRETTO a dispetto degli altri! D'altra parte anche la meccanica newtoniana va benissimo per determinati aspetti della realtà, ci consente di progredire nelle scienze, di muoverci nello spazio, di misurare il nostro tempo; ma quando ci si confronta (e la moderna tecnologia lo fa in continuazione...!) con velocità prossime a quella della luce la meccanica newtoniana non serve più, e la stessa realtà che essa prima interpretava così bene dev'essere invece interpretata dalla fisica einsteiniana, altrimenti fallisce, cessa di essere valida, dà origine a equazioni matematiche assurde. Ma torniamo a noi: Werner Heisenberg è stato uno scienziato vissuto sotto il nazismo, regime con il quale non si è compromesso, ma da cui non ha neppure mai preso le distanze in modo netto a differenza di altri suoi colleghi contemporanei quali Einstein e Bohr; ha sviluppato una particolare simpatia verso certe forme filosofiche spiritualistiche che lo ha portato a criticare il positivismo materialista (basti leggere con attenzione la sua splendida opera "Fisica e filosofia", 2008, Milano) distinguendosi in maniera piuttosto netta dalla mentalità dominante all'interno della comunità scientifica del '900. Ciò non toglie che sia stato una delle menti più straordinarie della fisica contemporanea.

Heisenberg, insignito del Premio Nobel, può essere considerato uno dei padri della meccanica quantistica non fosse altro che per l'enunciazione di un principio fondamentale, chiamato appunto in suo onore "Principio di indeterminazione di Heisenberg". In sè questo principio non dice nulla di particolarmente difficile da capire. Ma sconvolgenti sono le sue applicazioni e le sue conseguenze, sia teoriche che sperimentali. Esso può essere così enunciato:

"Non è possibile conoscere contemporaneamente la posizione e la velocità di una particella".

Nelle poche parole che descrivono il principio d'indeterminazione è contenuta tutta la fisica quantistica.

Pensiamoci bene: posizione e velocità di una particella sono le sue due caratteristiche essenziali (abbiamo visto come a livello particellare non esista la "qualità" così come la intendiamo noi, tant'è che le "qualità chimiche" di un elemento non sono date da particelle DIVERSE tra loro ma dal NUMERO di particelle assolutamente eguali, i protoni, presenti nel nucleo atomico); ebbene, Heisenberg ha dimostrato che la nostra possibilità di conoscere una particella è sempre, inevitabilmente "castrata". Se di una particella riesci a conoscere la velocità, ecco che ti sfugge la sua posizione; se invece ne conosci la posizione, non puoi sapere la sua velocità. In ogni caso è sempre e comunque una conoscenza dimezzata. E ciò non dipende dal fatto che i nostri strumenti siano poco sofisticati: dipende proprio dalle caratteristiche intrinseche delle particella stessa. Comunque, anche con il mezzo d'indagine più sofisticato, quando vai a osservare una particella entri in contatto con essa, interferisci, in qualche modo la scuoti dal suo torpore, la obblighi a uscire da un limbo probabilistico e a "precipitare" o "collassare" in quella "manifestazione d'esistenza" che essa ti mostra. Ma interagendo con essa, la influenzi, inevitabilmente, la porti a "realizzarsi" laddove è più probabile che in quell'istante si "realizzi" (ricordate la maggiore probabilità di avere maschi milanesi morti laddove si addensavano maggiormente i punti del grafico?). E se fissi col tuo sforzo conoscitivo una sua caratteristica, ecco che ti sfugge inevitabilmente l'altra. E viceversa.

Una particella non è analoga a un oggetto macroscopico del quale puoi conoscere le diverse caratteristiche tutte assieme. Di un pezzo di cioccolata puoi conoscere sia il colore, osservandolo, che il grado di dolcezza, assaggiandolo. E sai che quelle due caratteristiche (a meno che non intervenga un fattore esterno, come una colata di latte che lo schiarisce o di zucchero che lo dolcifica) rimangono tali nel tempo. Una particella no. Essa ora ha una posizione, poi ne ha un'altra, poi un'altra ancora. Io posso conoscere solo la posizione ISTANTANEA della particella, ma in tal caso mi sfugge la sua velocità. E se ne calcolo la velocità ($v=d/t$) mi sfuggirà inevitabilmente la sua posizione.

Ecco: la meccanica quantistica ci dice che la realtà è un realizzarsi di PROBABILITA', i suoi fondamenti (le particelle) hanno un campo d'esistenza ampio e vanno poi a collassare laddove è maggiormente probabile che si trovino. Il che non esclude, insegna la quantistica con un famoso aneddoto, che un elettrone facente parte di una roccia sulla Terra non abbia una certa PROBABILITA' di manifestarsi come esistente anche sulla Galassia di Andromeda, ma tale PROBABILITA' è talmente bassa che ciò PROBABILMENTE non avverrà mai, almeno per miliardi e miliardi di anni. E ciò fa in modo che per miliardi e miliardi di anni tale elettrone continui a concorrere alla formazione coerente e compatta della nostra famosa roccia sulla Terra.

L'indeterminazione regna sovrana nei più intimi meandri della realtà particellare (così come il SINGOLO maschio milanese, infima particella all'interno della completa platea dei milanesi maschi, può morire indifferentemente a 0, 100, 110, 120, o forse anche più anni). Ma essa, nella nostra macrorealtà di tutti i giorni, "collassa" nella

rassicurante, compatta, conoscibile esistenza delle cose che ci stanno intorno (così come la realtà MEDIA del maschio milanese ci dice che esso muore a circa 77 anni, dandoci una fotografia più che soddisfacente della situazione affinché noi possiamo proporre le nostre polizze)!

Ciò che va bene per interpretare la macrorealtà non è adatto a capire ciò da cui questa macrorealtà è formata, ossia la realtà delle particelle. Ecco il ruolo della fisica quantistica.

11. Stranezze quantistiche (2).

La realtà particellare come collasso di funzioni probabilistiche: questa è la sfida di fronte alla quale ci pone la meccanica quantistica, questa è la visione (rivoluzionaria e stupefacente, a suo modo) cui ci costringe a piegarci il Principio di indeterminazione di Heisenberg.

L'intera conoscenza scientifica viene stravolta dalla meccanica quantistica, a cominciare dalle sue stesse implicazioni filosofiche.

Ma "probabilità" e "indeterminazione" sono anche in grado di svelarci un orizzonte epistemologico altrimenti del tutto sconosciuto ma, quel che più conta, del tutto inconoscibile.

Se a livello particellare l'imprevedibilità regna incontrastata, se nel micro-mondo scompare dalla scena la "necessità", sappiamo invece che nella macro-realtà questo "caos" quantistico viene a perdere progressivamente importanza. Lo abbiamo già visto a proposito del nostro parallelo con le assicurazioni, laddove per calcolare il valore di una polizza assume rilievo il solo dato dell'età media del "maschio milanese tipo" a scapito della miriade di dati riguardanti i singoli, particolari maschi milanesi considerati individualmente.

Per le "macroscienze" dunque va benissimo la meccanica newtoniana, e questo è il motivo per il quale una scienza come la meteorologia, che in fin dei conti ha a che fare con atomi e molecole, riesce comunque a sfornarci delle previsioni spesso più che accettabili. Ma riflettiamo un momento: se la visione epistemologica newtoniana fosse l'unica valida e sovrana, a TUTTI i livelli della nostra realtà, non dovrebbe esserci alcun limite alla conoscenza scientifica. Io in teoria, come sostenevano le tesi illuministico-positiviste fino ai tempi di Einstein, se potessi conoscere ogni caratteristica di ogni particella che compone l'universo in questo momento, dovrei essere in grado di prevederne l'evoluzione precisa da qui all'eternità.

Ma è così? No!

Ma almeno potrebbe essere così, se io per ipotesi disponessi di strumenti d'indagine scientifica perfetti? Ancora no!

Per quale motivo? Perché il difetto della conoscenza non sta nello strumento d'indagine, sta nell'intima indeterminazione della realtà. Esattamente come ci ha insegnato Heisenberg.

Anche lo strumento più sofisticato, ampio e potente, non sarebbe mai in grado di cogliere una realtà così "precisa" da donarci una conoscenza assoluta. Perché la realtà

"non è precisa". E quindi la nostra bella, amata, affascinante meteorologia quando si accontenta di prevedere il tempo "con un certo successo" e "per un certo periodo" può fregarsene altamente del nostro amico Heisenberg (e della meccanica quantistica); ma se cerca di assurgere a vette di esattezza assoluta e di spaziare col proprio sguardo oltre ogni limite cronologico, ecco che viene castrata, inevitabilmente, dall'indeterminazione che rende impossibile, a un certo punto, ogni asserzione; ogni certezza; ogni previsione. Proprio come accade per il nostro amico assicuratore: se egli si accontenta di stipulare polizze convenienti IL PIÙ DELLE VOLTE raggiunge il successo basandosi sull'età media del maschio milanese; ma se volesse invece stipulare una polizza valida per OGNI milanese e che gli garantisca SEMPRE il successo (cioè il guadagno sulla base della durata della vita del cliente) sarebbe nell'impossibilità di farlo perchè non sarebbe MAI in grado di prevedere la data di decesso di OGNI singolo maschio milanese suo potenziale cliente.

Nessuna scienza è più nobile di quella che conosce i propri limiti. E non perchè siano limiti suoi; perchè sono "limiti" innati in ciò che essa indaga.

12. EPR ed entanglement.

Einstein non amava la meccanica quantistica, anche se paradossalmente contribuì come pochi altri scienziati a fondare, con le proprie indagini e intuizioni, questa branca della fisica (basti pensare al già citato esperimento sull'effetto fotoelettrico).

Ma egli era un positivista troppo onesto e convinto per familiarizzare con i quanti, e dar completamente ragione a chi invece li aveva in grande confidenza. Quindi, con due suoi colleghi, ideò un paradosso che avrebbe dovuto dimostrare l'intima contraddizione alla base della meccanica quantistica: il paradosso EPR, dalle iniziali appunto dei tre scienziati Einstein, Podolski e Rosen.

Andiamo con ordine: esistono processi fisici che conducono all'emissione di particelle tra loro identiche (ad esempio fotoni) le quali, una volta scaturite, si allontanano vicendevolmente in maniera simmetrica.

In quanto particelle elementari (chiamiamole A e B) esse non sfuggono alla regola di presentare determinate caratteristiche in modo "caotico", caratteristiche che possono essere "fissate" (uscendo così dal loro "limbo") solo grazie a una misurazione.

Le particelle in questione (A e B) fluttuano dunque in un "mare magnum" probabilistico dal quale escono ogniqualvolta uno strumento indagatore provoca il collasso della funzione d'onda concretizzandone una proprietà.

Una proprietà da misurare può essere, ad esempio, lo "spin", caratteristica che ci illumina sul modo in cui la particella ruota su se stessa (il discorso è in realtà molto più complesso, ma del tutto inutile ai nostri fini contingenti, per cui possiamo accontentarci di citare lo "spin" anche senza aver compreso esattamente cos'è). Ebbene, è stato abbondantemente dimostrato che, incredibile a dirsi!, misurare lo spin della particella A "costringe" la sua gemella B ad assumere il medesimo spin nel medesimo istante anche in assenza di misurazione.

Per intenderci meglio: io, misurando SOLTANTO la particella A e "costringendola" a collassare in uno spin definito, costringo automaticamente anche la particella B a collassare e ad assumere il medesimo spin nel medesimo attimo pur senza aver minimamente interferito con essa. Ma la cosa più incredibile è che ciò avviene A PRESCINDERE dalla distanza che separa le due particelle. Che esse si trovino a 10 millimetri, 10 metri o 10 anni luce di distanza il fenomeno si verifica sempre! E' il fenomeno chiamato "entanglement" e le particelle in questione vengono appunto definite "entangled".

E' un fenomeno sorprendente (tant'è che ancora oggi, a svariati decenni dalla sua scoperta, la comunità scientifica non lo ha capito completamente, e alcuni studiosi immaginano addirittura spiegazioni mistico-religiose e/o paranormali per venire a capo dell'enigma) perchè dà l'impressione che le due particelle entangled "si parlino", comunichino fra loro. E lo facciano istantaneamente, a prescindere dalla distanza che le separa, dunque a velocità ovviamente superiori a "c", in totale opposizione ai dettami della relatività ristretta.

Insomma, sulla base di tutto ciò, EPR riteneva di poter smascherare la non veridicità della meccanica quantistica, affermando che essa contraddiceva la relatività ristretta in quanto postulava una forma di comunicazione superluminale, mentre nella realtà nulla può superare la velocità della luce "c".

Partendo da questa base, l'allegra combriccola EPR elaborava nei primi decenni del 20° secolo il suo paradosso. Vale la pena di gustarselo:

<La quantistica, sulla base del Principio di indeterminazione, dice che una particella non possiede qualità "in sè" ma fluttua in un limbo probabilistico e mostra tali qualità solo quando noi la sottoponiamo a delle misurazioni. E su ciò costruisce tutto il proprio castello teorico. Bene, l'entanglement ci consente di distruggerlo. Come? In questo modo, dice EPR: se io misuro A, acquisisco conoscenza di una sua proprietà solo perchè ho interferito con essa. Per forza: la quantistica ci dice che solo interferendo con una particella (misurandola, facendola collassare) io le attribuisco delle proprietà. Ma se A è entangled con B, quando io conosco A automaticamente conosco, nel medesimo istante, anche B; e con B non ho minimamente interferito!

Ecco che il seguente cardine della quantistica: "Si possono conoscere le qualità di una particella solo misurandola e facendola così uscire dal limbo probabilistico, ossia facendone collassare la funzione d'onda" viene a cadere. Le qualità delle particelle non si concretizzano solo dopo che io ho effettuato una misurazione, ma esistono A PRESCINDERE dalle misurazioni stesse. Altrimenti io non potrei conoscere le qualità della particella B che non ho mai misurato, con cui non ho mai interferito!>

Insomma, EPR col suo paradosso vuole dire che l'entanglement dimostra il possesso delle proprietà IN SE' da parte delle particelle, proprio ciò che la quantistica invece nega; a meno di non postulare impossibili forme di comunicazione superluminale!

Grande fu lo sconcerto, inizialmente, da parte dei fisici quantistici. Tuttavia il paradosso fu risolto dimostrando intanto che non avveniva nessuna forma di comunicazione "superluminale" tra le due particelle, col che si evitava qualunque

conflitto con la relatività ristretta. Non si riusciva a inviare "messaggi", "informazioni" tramite le particelle entangled, proprio perchè esse uscivano dal loro limbo quantistico in modo assolutamente casuale, non prevedibile dall'osservatore, dunque non vi era alcun superamento di "c" da parte proprio di nessun fantomatico segnale.

Solo accadeva (e accade...) che le particelle entangled presentassero un comportamento identico tra loro. Qui sta l'enigma, che comunque non porta acqua al mulino di EPR, dato che il collasso della particella, vale la pena ripeterlo, è del tutto CASUALE, quindi proprio l'esatto contrario di quanto dovrebbe prevedere il possesso di una proprietà IN SE'! Il nocciolo del discorso non sta nel fatto che B abbia una proprietà in sè; infatti B non ha nessuna proprietà conoscibile "a prescindere"; la proprietà di B io la conosco solo perchè ho fatto collassare A; e A è collassata in modo assolutamente casuale (concetto di funzione probabilistica) e non prevedibile da parte dell'osservatore. Casuale? Certo, è collassata COSI', ma poteva farlo in mille altre maniere. Il nocciolo del discorso (e il relativo mistero) sta nel fatto che A e B, pur lontane metri, chilometri, anni luce, in quanto entangled collassino allo stesso modo quando ne misuro una sola!

E qui siamo giunti al bello del ragionamento: l'allegria (e comunque geniale) compagnia EPR, tentando di far cadere la fisica quantistica su una buccia di banana, in realtà l'ha arricchita di uno dei suoi cardini più importanti e stupefacenti (ma cosa non è stupefacente nella quantistica?). Questo cardine, dimostrato dal paradosso EPR contro la sua stessa volontà, è la "non località" dell'Universo. Ovvero: esistono casi in cui l'origine comune di due particelle ne tiene uniti i destini a prescindere dalla loro distanza; le fa abitare in un universo "non locale" (o, se preferiamo, "non spaziale"). Molto probabilmente (e "semplicemente", per chi sostiene questa posizione, la più "scientifica" tra quelle architettate per risolvere il mistero dell'entanglement) queste due particelle, che potrebbero essere anche 20 o 200 o 2000, fanno parte di un unico sistema fisico, avendo avuto origine comune, e in quanto tali sono destinate ad avere una "vita" comune per sempre; senza trasmettersi alcuna informazione a velocità superiori a "c". Senza possedere IN SE' nessuna proprietà che l'altra riveli solo dopo il collasso probabilistico.

13. Bianco o nero (o una strana forma di telepatia)?

Se l'entanglement vi ha stupito, bè, mettetevi comodi perchè l'esperimento quantistico che stiamo per descrivere vi stupirà ancora di più; e forse, sconcertandovi, contribuirà paradossalmente a farvi davvero entrare nello spirito tutto particolare della realtà quantistica.

Ritengo probabile che siano in molti a considerare la meccanica quantistica una cosa astrusa e affascinante, comunque poco applicabile all'idea che durante la nostra evoluzione cerebrale ci facciamo della realtà. Più di qualcuno sarà poi colpito dalle diverse posizioni assunte sul tema proprio dagli stessi fisici (basti pensare ai dibattiti amichevoli ma spietati fra Einstein e Bohr), e verrà quindi incoraggiato da tali

divergenze a considerare la quantistica solo una geniale interpretazione del mondo, che ogni testa particolarmente fine ed elastica può comunque contraddire, plasmare e modulare sulle note delle proprie personali intuizioni.

D'altra parte lo stesso dibattito intorno al paradosso EPR è stato giudicato più metafisico che scientifico, dunque trovo assolutamente sensata la posizione di chi considera la quantistica una "filosofia" più che una branca della fisica.

Sensata però non sempre significa corretta. La quantistica è scienza; le sue asserzioni riguardano la realtà, non il sesso degli angeli; che poi non si tratti della realtà come siamo abituati a considerarla, non ha nessuna importanza, non siamo mica noi il centro del mondo! E se per credere alla "scientificità" della quantistica volete la descrizione semplice e intuitiva (finalmente!) di un esperimento per nulla astruso, siete prontamente serviti. Basta che leggiate quanto segue, tenendo presente che abbiamo semplificato apposta l'iter del test trascurando passaggi complicati (uso di specchi semiargentati, separatori di fasci luminosi, etc...) ma del tutto ininfluenti per quelli che sono i nostri scopi.

Immaginiamo di posizionare un apparecchio che spara un flusso di particelle quantistiche (possono essere elettroni, ad esempio, ma qui parleremo di fotoni, cioè di luce, perchè la cosa diventa più intuitiva senza mutare minimamente la correttezza dell'esperimento) dietro una barriera sulla quale siano presenti due fenditure vicine, a sua volta posizionata dietro uno schermo. Ricapitolando, da sinistra verso destra abbiamo in successione:

- 1) un proiettore;
- 2) una barriera su cui sono praticate due fenditure vicine;
- 3) uno schermo.

Sparando col proiettore 1) il fascio di luce verso la barriera 2) notiamo che sullo schermo 3) si viene a formare una figura a bande chiare e scure. La cosa è una semplice, intuitiva conferma del fatto che la luce si propaga a onde. Infatti è tipico delle onde che attraversano due pertugi la creazione di aree in cui esse si sommano (o meglio, si sommano i loro picchi, ma qua non ci interessa addentrarci nella specifica questione) e aree in cui si elidono: le prime aree saranno le righe chiare, le seconde quelle scure.

Fino a qua tutto bene, le cose procedono assolutamente secondo logica.

Ora proviamo a diminuire l'intensità del fascio luminoso fino a costringere il nostro proiettore 1) a sparare UN FOTONE alla volta (esistono apparecchi di laboratorio in grado di farlo).

Un fotone è un'entità luminosa indivisibile, è un quanto di luce, è una particella. Sicuramente questa particella, sparata verso la barriera 2), potrà attraversarla passando da una o dall'altra fenditura, dunque originando sullo schermo 3) una figura corpuscolare, puntiforme. Invece no! Sullo schermo 3) si riproduce, ancora una volta, incredibilmente, la figura a bande. Il SINGOLO FOTONE si è comportato come un'onda. Il SINGOLO FOTONE è passato contemporaneamente attraverso ENTRAMBE LE FENDITURE!

Se siete sobbalzati sulla sedia, aspettate di sentire questa: okay, il nostro fotone ci ha giocato un brutto scherzo e vuole prenderci in giro comportandosi, lui che è un quanto, da onda. Vuole farci credere di riuscire a passare sia da una fenditura che dall'altra, come se noi a casa potessimo passare contemporaneamente dalla porta della cucina e da quella del bagno!

Ma adesso un brutto scherzo glielo giochiamo noi: è possibile porre vicino alla barriera 2) un piccolo rivelatore di fotoni in grado di non interferire assolutamente col nostro quanto, ma capace solo di "guardare" per dirci che strada prende e quindi da quale fenditura passa effettivamente quel burlone d'un corpuscolo? Sì, è una cosa fattibilissima, e la mettiamo subito in pratica.

Accendiamo allora il rivelatore e vediamo cosa accade. Tenetevi forte: quando mettiamo in funzione il rivelatore (il quale, va ribadito, è un apparecchio che si limita a "guardare"), la figura d'interferenza sullo schermo 3) scompare! Il fotone, sentendosi semplicemente osservato, ha "deciso" di smettere i vestiti dell'onda e di indossare quelli del corpuscolo. Insomma: quando io mi disinteresso del fotone, e volgo il mio sguardo solo sullo schermo 3), vedo comparire la figura a bande di matrice ondulatoria; quando invece dirigo il mio sguardo anche sul fotone in viaggio, ecco che sullo schermo 3) compare la figura di matrice corpuscolare!

14. Richard Feynman: una nuova idea di "storia".

La meccanica quantistica, già alla luce dei "semplici" esperimenti e concetti che abbiamo appena esplicitato, ci costringe a ripensare completamente la nostra visione del mondo; o, per lo meno, ad accettare il fatto che, accanto a un mondo macroscopico, nel quale siamo abituati a vivere, a muoverci, a formare la nostra logica corrente sulla base di leggi fisiche di un certo tipo, ne esiste un altro microscopico nei cui meandri quella medesima nostra logica corrente e quelle medesime leggi fisiche non hanno più lo stesso senso.

Pensiamo al fotone (o all'elettrone) che passa contemporaneamente attraverso le due fenditure, pur essendo un corpuscolo. L'unica spiegazione al fatto che la nostra particella sia in grado di creare sullo schermo una figura di interferenza, tipica delle onde, è che passi da entrambe le fenditure; e dunque che sia, contemporaneamente, anche un'onda. Il nostro fotone è un'onda, ma possiede pure tutte le caratteristiche di una particella, prova ne sia lo strepitoso esito derivante dall'aggiunta del rivelatore nei pressi della barriera a fenditure.

L'onda è una funzione probabilistica, dunque il nostro fotone è una somma di probabilità, le quali nella fattispecie hanno eguale dignità e capacità di manifestarsi; ecco perchè passa contemporaneamente da entrambe le fenditure: perchè PUO' farlo, perchè ha tante probabilità di passare a destra quante di passare a sinistra, e dunque passa sia a destra che a sinistra; da qui la figura d'interferenza risultante!

Il fotone, nel suo esistere, nel suo muoversi all'interno del nostro mondo, non ha una sola STORIA, ne possiede svariate, tutte all'interno della funzione probabilistica, delle quali nessuna emerge a discapito delle altre, e dunque tutte sono in grado di

concretizzarsi, esplicando i loro effetti (nella fattispecie la figura d'interferenza sullo schermo). Se noi spariamo il fotone contro una barriera e questa ha delle fenditure, il fotone PUO' attraversarle tutte, e lo fa, perchè non c'è un suo "passato" che abbia maggiore dignità degli altri passati. Quando il fotone ha superato la barriera a fenditure lo ha fatto in tutti i modi contemplati dalla sua intrinseca funzione probabilistica, in quanto non è disturbato da nulla, non è costretto da nulla a "collassare" decidendo se scegliere una strada o l'altra! Giunto oltre la barriera, esso ha lasciato dietro di sè molti "passati", molte "storie", ognuna delle quali si realizza nella figura d'interferenza, appunto interferendo con le altre.

Questa teoria, perfettamente avvalorata dai dati sperimentali, è stata chiamata dal grande fisico Premio Nobel statunitense Richard Feynman "somma sui cammini" (o "somma sulle storie") e sta proprio a indicare che a livello particellare tutto quanto PUO' ACCADERE, in effetti ACCADE, e lascia traccia di sè (la figura d'interferenza ondulatoria). Una singola entità, a livello particellare, possiede più STORIE che si sommano, che esistono contemporaneamente, fino a quando non vengono costrette a collassare l'una a scapito delle altre (che è poi quanto avviene nella trasposizione macroscopica).

In sostanza, secondo la teoria della "somma sulle storie" di Feynman, la figura d'interferenza altro non sarebbe che la trasposizione nel presente da noi osservabile dei diversi passati, tutti reali, del fotone!

Ma quando noi "osserviamo" (tramite il rivelatore, ad esempio) il fotone lungo il suo cammino, in qualche modo interferiamo con il suo passato, anzi con i suoi passati, cogliendo solo una delle sue possibili storie; ecco che allora, con la nostra osservazione, costringiamo la funzione probabilistica al collasso, a una scelta fra tutte le probabilità; e di conseguenza, nel prosieguo della nostra attività conoscitiva (analisi della figura che si realizza sullo schermo), fisseremo soltanto il "passato" o la "storia" del fotone compatibile appunto con la nostra osservazione. E siccome un solo "passato", una sola "storia" significano una sola probabilità realizzata, ovvero una sola entità, ecco scomparire la figura d'interferenza a bande (figlia della funzione ondulatoria probabilistica) e comparire, quasi per incanto, quella puntiforme (figlia dell'essenza particellare)!

Quindi, a seconda che ci avviciniamo al fotone in un modo o nell'altro, lo vedremo a noi rivelarsi in un modo (onda) o nell'altro (corpuscolo), dato che esso è SIA onda SIA corpuscolo: è onda quando tutti i suoi passati, tutte le sue possibili storie interferiscono tra loro (figura a bande); è corpuscolo quando, dopo un'osservazione "precisa", solo una storia viene portata a compimento fino a esplicare i propri effetti a dispetto delle altre (figura puntiforme).

E' senza dubbio straordinario che un'entità quale una particella subatomica possieda due modi d'essere contemporaneamente e mostri l'uno o l'altro a seconda di come viene osservata. Ma, se riflettiamo un istante, anche nel mondo macroscopico possiamo descrivere, sia pure con grande approssimazione, fenomeni analoghi. Pensiamo ad esempio al "windchill", ovvero all'effetto di temperatura percepita in

caso di vento sostenuto. In una giornata fredda noi ci imbattiamo in un vento, il quale altro non è che una massa d'aria in movimento; questa massa d'aria ha una temperatura, poniamo, di +2 °C. Infatti, se noi effettuiamo una misurazione termometrica leggeremo sul nostro strumento esattamente +2 °C; ma se esponiamo una parte del nostro fisico a questa corrente d'aria senza protezione, noi percepiremo una temperatura, poniamo, di -8 °C! E subiremo tutti gli effetti fisici (arrossamenti cutanei, problemi respiratori, ipotermie, fino a sintomi di congelamento, etc...) tipici dei -8 °C, non certo dei +2 °C indicatici dal termometro! A seconda di come ci avviciniamo alla corrente d'aria noi potremo coglierne gli effetti su una colonnina di mercurio e arguire che ci sono +2 °C oppure su una parte del nostro corpo e arguire che ci sono -8 °C.

Certamente noi, per convenzione, diciamo che la temperatura di -8 °C è solo un'impressione, un valore non "reale" ma solo "percepito" in seguito alla forte ventilazione. Ma siamo proprio sicuri che il valore di +2 °C abbia "maggiore dignità" del valore di -8 °C solo perchè è indicato da uno strumento? Forse il nostro cervello ci suggerisce di sì (e molto giustamente, anche perchè si fa presto poi a fare i conti con il mancato congelamento dell'acqua e con altri fenomeni fisici capaci di indicarci inequivocabilmente che non ci troviamo sottozero); ma andiamo a dirlo alla nostra guancia arrossata o a un nostro arto semicongelato che non fa poi così freddo, che i -8 °C sono solo un'impressione!

Certo, quello del windchill è solo un esempio molto tirato per i capelli, però ci aiuta a entrare nell'ottica della quantistica: uno stesso evento può avere molte storie e dipende da come noi lo avviciniamo perchè tutte, una sola o nessuna di queste storie ci facciano l'onore di manifestarsi attraverso i propri effetti.

Intervista a Francesco Fontana, dipendente del Centro Pertini nonché curatore dell'opuscolo, domande di Flavia D'Agostino, coordinatrice del Centro

D: Scienza e conoscenza sono strettamente correlate... pensi che la scienza sia l'unica forma di conoscenza possibile?

R: E' una questione semantica, se vogliamo; comunque possiamo distinguere tra "scienza" intesa come indagine sperimentale su quanto accade e altre forme di approccio alla realtà come l'intuizione di un sentimento ad esempio, che sono una conoscenza altrettanto importante ma non strettamente "scientifica". Per sgombrare il campo da ogni dubbio, ti dico subito che per me la "fede" non è conoscenza, ma è "abbandono" a qualcosa che può essere desiderio, rapimento mistico, consolazione, intuizione; ma non dà, almeno a me, alcuna garanzia di "verità".

D: Lo studio del naturale ha portato più volte gli scienziati a stupirsi di fronte a una implicita intelligenza della materia... nella mia grande ignoranza a riguardo, mi basta pensare a come l'intelligenza connaturata alla materia la organizza in vita! Come ti poni tu di fronte a tale mistero grande?

R: Appunto come di fronte a un mistero troppo grande per la nostra piccolezza; insomma, credo non sia possibile dire nulla di “certo” sull’origine di determinati processi: sono davvero “intelligenti” o così “appaiono” a noi? Sapessimo ciò sapremmo tutto, ma non sapremo mai tutto! Anche qua sgombro il campo dai dubbi: io credo che non saprò mai se c’è un “Dio intelligente, pensante e dotato di volizione”! E confesso che mi dispiace, ma non posso farci nulla, se voglio rimanere onesto con me stesso. Comunque, anche se alla ricerca dei “massimi sistemi” e degli “ultimi destini”, io un Dio riuscissi a intuirlo (magari, ne sarei felice!), non capirei comunque perchè dall’esistenza di questo Dio dovrebbero discendere precetti morali, del tipo che divorziare non va bene, che l’omosessualità è un “peccato”, che è bene nascere, vivere e financo morire come insegna una certa gerarchia di sacerdoti, e così via. Insomma, anche se io “intuissi” Dio, terrei sempre ben distinta la sua “percezione” dalla mia morale. Poi, fatalità, io credo di avere comunque una morale talvolta vicina all’etica cristiana, ma questa coincidenza origina da punti di partenza assolutamente diversi.

D: Tu che sei in parte anche filosofo, pensi che la “ricerca del primo motore” (come in Aristotele nella Metafisica) possa andare all’infinito? Tutto ciò non ti crea un senso di “perdita”?

R: Ho solo studiato (anche) filosofia, ma non sono filosofo. Un “primo motore” la nostra intuizione ci porta a pensare che deve esserci, ma altrettanto ci porta a intuire che anch’esso dovrebbe venir mosso da qualcosa, col che non sarebbe più “primo”. E un “primo motore” che, a differenza di tutti gli altri motori, non è mosso da nulla, è un dogma, nulla di più e nulla di meno. E io dei dogmi non me ne faccio niente. Insomma, è sempre lo stesso concetto: non siamo nessuno, secondo me, per dire cose definitive sull’infinità fisica, temporale e spirituale. E’ ovvio che tale orizzonte mi crea un senso di “perdita”, ma non è che per combatterlo posso crearmi delle “verità” da me stesso. Caso mai posso solo ipotizzare, ma non avere certezze.

D: Cosa pensi del darwinismo? Perchè nelle nostre scuole ancora non lo mettiamo in discussione e non raccontiamo ai nostri figli che la scienza è fatta di più teorie a riguardo?

R: Non conosco Darwin a tal punto da potermi esprimere senza rischiare di dire emerite sciocchezze; così, di primo acchito, per come la sua teoria è da me conosciuta, mi sembra una buona intuizione; ma, ripeto, non posso esprimermi per manifesta ignoranza sul tema. Quanto alla scuola, credo che essa sia così poco “pluralista” perchè è un apparato mastodontico che, nonostante la bravura e l’impegno davvero eroico di molti suoi addetti, fatica a muoversi anche solo di 1 cm., e so lo fa le riesce più facile andare indietro piuttosto che avanti... Io rabbrivisco pensando che si impiegano ore e ore a parlare dei Romani e dei Greci (cosa doverosissima, per carità), e poi nella maggior parte dei casi non si spende una sola parola o quasi per il ‘900, le Guerre mondiali, il Vietnam, l’Afghanistan, etc... (almeno a me è successo così...), perchè “non si fa in tempo”. Cosa vuoi pretendere da una istituzione del genere?

D: Secondo una visione scientifico-sperimentale è possibile una definizione del tuo “essere”? Quello non composto di materia ma di sensazioni, sentimenti, pensieri...

R: Mio “essere” in che senso? Se intendi mio come “personale”, preferisco che a definire l’essere “Francesco” ci pensino gli altri, magari quella meraviglia della mia bambina che adoro e che desidero si senta sempre amata dal papà, dalla mamma e da tutti. Se intendi invece il “mio concetto di essere”, bè, io sono sostanzialmente un materialista e credo che quelle cose di cui parli (pensieri, sentimenti) siano una nostra filiazione, non giungano insomma da una dimensione “divina” che non percepisco, anche se (ri)confesso che mi piacerebbe riuscire a farlo.

D: Pensi che il progresso ricercato tanto nell’Illuminismo (che ancora si respira nella nostra società, per certi aspetti) sia raggiungibile solo attraverso l’uso corretto della ragione in termini scientifici? (E che cosa vuol dire uso corretto della ragione?)

R: Guarda, intanto è tutto da dimostrare che in una società dove furoreggiano ancora maghi, tarocchi, astrologi, oroscopi, etc... si respiri davvero, come tu dici, l’Illuminismo. Magari così fosse! Poi ti dico che per me il progresso, inteso come il massimo della felicità comune (che non vuole dire essere tutti “felicissimi”, cosa ingenua e impossibile, ma stare tutti il meglio consentito dal non far stare male gli altri rubando, prevaricando, etc...) è raggiungibile intanto con onestà d’animo e d’intelletto, poi con intelligenza ovvero uso corretto della ragione. Il che, molto semplicemente, è cercare di “capire” il più possibile, capire “scientificamente” (ad esempio: io, mettendo una pentola sul fuoco e usando un termometro, sperimento, cioè “capisco”, che a livello del mare l’acqua bolle a 100 °C) e capire “intuitivamente” (ad esempio: io, riflettendo sul mio lavoro, intuisco, cioè “capisco”, di avere due colleghe adorabili).

15. Divagazioni sul tema (e fuori dal tema) (1^a parte).

Dopo questo ampio (anche se necessariamente superficiale) viaggio nella meccanica quantistica, mi piace dedicare una breve pausa nella nostra trattazione ad alcune riflessioni dal sapore più speculativo-filosofico.

Si tratta di riflessioni che non dico derivino direttamente da quanto abbiamo visto nelle pagine precedenti, ma che possono senza dubbio essere stimolate dagli argomenti trattati.

La quantistica sembra aver messo decisamente il "caso" davanti alla "necessità"; ha dimostrato come nella realtà particellare non esista la possibilità della "previsione"; ha smascherato come chimera la velleità di "conoscere" l'intero universo futuro a patto di conoscere in modo completo quello presente. Neppure "conoscendo" tutto ciò che è ORA noi possiamo conoscere (o prevedere) tutto ciò che sarà POI. L'incertezza, l'arbitrarietà, il caso trionfano nella dimensione quantistica, e rendono impossibile la conoscenza perfetta e totale.

Certo, a livello macroscopico il collasso delle funzioni probabilistiche rende molto meno evidenti o addirittura ininfluenti queste fluttuazioni, ma ciò avviene in quelle

contingenze regolate da leggi fisiche ben precise che noi riusciamo ad arguire dall'osservazione della macrorealtà. Noi sappiamo ad esempio che, in ossequio alle leggi sulla coesione dei corpi, una particella che concorre a comporre un oggetto sulla Terra, pur avendo un'infinitesima probabilità di manifestarsi anche sulla Galassia di Andromeda, è praticamente certo che continuerà a manifestarsi, da oggi all'eternità, presso il medesimo oggetto situato sulla Terra del quale oggi fa parte (sempre che non intervengano, è ovvio, fattori in grado di distruggere, smembrare o modificare l'oggetto in questione; ma lo stesso sarà ben difficile che la nostra particella inizi a manifestarsi L', su Andromeda, anzichè QUI, sull'oggetto terrestre).

Ma proviamo a pensare quanto, anche nella macrorealtà, il caso intervenga a decidere dei nostri destini, quei destini che noi pensiamo di avere così saldamente in mano. E' impressionante. Ed è impressionante come a noi sfugga sempre, attimo dopo attimo, questa dinamica satanica e affascinante.

A tale proposito io non potrò mai dimenticare questo fatto: qualche anno addietro un mio buon conoscente è morto in un banalissimo incidente stradale. Egli, a piedi, in pieno centro, è stato urtato appena e leggermente, ripeto "APPENA E LEGGERMENTE", da un mezzo in lentissima manovra, cadendo a terra e perdendo incredibilmente la vita. "Grossa tragedia, ma succede" si potrà dire. Certo! Ma l'aspetto per me impressionante di quell'evento è che quello stesso pomeriggio, poche ore prima, io lo avevo incontrato ad alcuni chilometri di distanza dal luogo del sinistro e, non so bene per quale motivo, non mi ero fermato a fare due chiacchiere con lui o almeno a salutarlo; lui, dal canto suo, non mi aveva visto, pur essendomi passato accanto. Se io con due parole, o almeno con un saluto, avessi modificato i suoi comportamenti successivi di pochi secondi, o anche di qualche frazione di secondo, egli non sarebbe certo andato incontro alla morte, a quella morte che solo un banale quanto improbabile (al nostro razionale modo di pensare) concatenarsi di situazioni ha provocato. Io ho esaminato le circostanze che hanno condotto all'impatto fatale; davvero sarebbero bastati pochi centimetri, o forse millimetri (e dunque secondi o frazioni di secondo, trasferendoci nella dimensione temporale), affinché nulla avvenisse e il mio conoscente potesse proseguire beatamente la propria esistenza. Non ho dubbi sul fatto che il mio mancato saluto di un solo secondo (circostanza già di per sè improbabile, visti quelli che erano i nostri rapporti cordiali e quasi camerateschi) abbia concorso a provocare la cessazione di 50 anni di vita poche ore dopo! Di tutte le "storie" (o i "cammini") possibili per il mio conoscente, è "collassata" proprio quella che lo ha condotto alla morte.

E come non pensare che nella nostra esistenza (e nell'intero regno del "reale") tutto sia regolato (anche) da simili "fluttuazioni" casuali seguite da conseguenze altrettanto "casuali" e quindi "imprevedibili" da parte del nostro comune raziocinio? Se io quel pomeriggio avessi salutato il mio conoscente avrei "sparigliato" la sua storia futura rendendo impossibile, con un banalissimo e velocissimo atto, il suo fatale incidente; ma forse, chi può negarlo, avrei "sparigliato" anche la mia, di storia futura, e avrei magari incontrato un matto che mi avrebbe accoltellato, o sarei inciampato su un

gradino sconnesso e mi sarei rotto il cranio, o ancora avrei notato un bel biglietto della lotteria luccicante sulla vetrina di un bar e, compiendo un atto che finora non ho quasi mai compiuto, lo avrei acquistato e sarei divenuto milionario... Chi può dirlo? Chi può negarlo?

E se il CASO che, con un anagramma quanto mai felice, possiamo accoppiare al "CAOS" (quantistico?) sovrintende a ogni atto della vita, a ogni aspetto del reale, cosa ne è della nostra libertà? Cosa ne è della nostra capacità di influenzare il "destino"?

16. Divagazioni sul tema (e fuori dal tema) (2^a parte).

Causalità e casualità sembrano alternarsi con un'eterna mania di protagonismo sulla scena del reale, insinuando anche il dubbio, nelle nostre umili, limitatissime menti, di rappresentare l'una la faccia dell'altra, in un subdolo, inafferrabile gioco di ruoli senza fine.

Non è la casualità soltanto una causalità che noi non riusciamo (ancora) a comprendere?

O, viceversa, non è la causalità nient'altro che un nostro peccato di presunzione, costituendo piuttosto una casualità cui noi ci "convinciamo" di dare un senso, senso che nella realtà è invece un'assoluta chimera?

Sono discorsi spiccatamente filosofici e, in quanto tali, ci aiutano a ragionare ma, fatalmente, lasciano spesso il tempo che trovano. E' tipico della filosofia promettere molto e mantenere poco.

Certo la scienza, che si basa su osservazioni e non su opinioni, su dati e non su congetture, alla riflessione filosofica può dare una grossa mano, limitandola, guidandola e quindi valorizzandola; nel nostro caso la meccanica quantistica ci aiuta a vedere la realtà sotto una luce veramente straordinaria.

Se il mio casuale "mancato saluto" ha sparigliato le infinite "storie possibili" della vita del mio amico facendole collassare in quella più tragica, nell'incidente fatale, se insomma un atto che non ha alcun legame logico, consequenziale, "causale" con i propri "seguiti", riesce a partorire conseguenze ben più grandi di lui, come possiamo non ipotizzare che l'indeterminazione quantistica emerga di tanto in tanto (o sempre...?) anche nella macrorealtà fisiologica, etica, comportamentale? Come possiamo escludere che una fluttuazione quantistica possa essere all'origine di una trasformazione cancerosa all'interno di un nostro polmone che abbiamo sempre cercato di proteggere non fumando? O del nostro fegato che abbiamo sempre cercato di proteggere non bevendo? Come possiamo escludere che all'origine di un atto terroristico non ci sia una fluttuazione quantistica all'interno del cervello di un uomo che lo trasforma da persona normale in mostro? E così via...

Adesso basta, però: filosofia, non allargarti troppo! Le riflessioni sopra descritte non possono in alcun modo far considerare inutile la prudenza sulle strade, la prevenzione delle malattie o ancora la condanna delle ideologie violente! Qui è ancora una volta la scienza che interviene a limitare le iperboli della sua "cugina" filosofia, di quella

speculazione pura ed estrema che rischia fatalmente di sconfinare nell'assurdo; e nel messaggio etico-culturale deleterio.

La scienza, statistiche alla mano, ci dice chiaramente che se si è prudenti sulle strade si corre minor rischio di subire incidenti; se non si fuma e se si mangia correttamente si corre minor rischio di ammalarsi; se si cresce in un ambiente sociale giusto, libero e democratico si rischia di diventare terroristi in minor misura rispetto a chi viene bombardato da messaggi violenti e irrazionali. E ce ne spiega anche i motivi, coniugando l'osservazione al procedimento logico. Dunque non avrebbe alcun senso negare la validità di determinati comportamenti solo perchè c'è... l'indeterminazione quantistica!

Però la scienza, in accordo con la speculazione sulla quantistica, ci dice pure che si può morire in strada anche se si è prudenti, ci si può ammalare anche se si è campioni della prevenzione, si possono lanciare bombe anche se si è cresciuti in ambienti aperti e illuminati.

Che ne è del libero arbitrio? Che ne è della nostra stessa libertà? Delle nostre facoltà di scelta? Forse, molto banalmente, quella che noi consideriamo la nostra "libertà" non è nient'altro che una particolare fluttuazione quantistica che fa collassare le nostre possibili "storie" in quella che noi "crediamo" di aver scelto? Non siamo proprio nessuno per saperlo!

Ma intanto, nell'incertezza, vediamo di "fluttuare" verso la saggezza, e cerchiamo di "scegliere" sempre per il meglio...

Un meglio che per me può essere "bianco" e per te può essere "nero"? Eh sì; ma così il tormentone ricomincia...

Adesso però noi questo tormentone decidiamo, con un orgoglioso ed efficace atto d'imperio, di farlo cessare e torniamo a occuparci di scienza vera e propria, in particolare catapultandoci nei fascinosi misteri della cosmologia. Senza fumare sigarette; senza ubriacarci; senza essere imprudenti per la strada; senza ammazzare i nostri simili. Okay...?

17. Galassie (e ambulanze) in fuga.

Edwin Hubble, astronomo e astrofisico americano, avrebbe meritato di vincere il Premio Nobel se non altro per una scoperta a dir poco rivoluzionaria: il redshift (spostamento verso il rosso) delle galassie.

Ma andiamo con ordine e partiamo descrivendo, in modo molto semplice e intuitivo, un effetto acustico in grado di condurci poi verso altri lidi... cosmologici: l'effetto Doppler.

Tutti sappiamo come, man mano che un'ambulanza si avvicina a noi, il suo sibilo divenga sempre più acuto; appena essa ci è transitata accanto, ecco che invece il suono si fa via via più grave. Il motivo risiede nella diversa frequenza delle onde sonore che ci raggiungono. Intendiamoci: la sirena emette onde sonore con la medesima frequenza durante tutto il viaggio, tanto che se un osservatore corresse accanto all'ambulanza alla sua stessa velocità percepirebbe sempre il medesimo

suono (a proposito, che bel parallelo con la relatività ristretta di Einstein!); ma per un osservatore fermo, la sirena in avvicinamento emette onde che si comprimono costantemente (e ciò avviene in misura proporzionale alla velocità del veicolo!), assumendo quindi sempre maggiore frequenza: esattamente come la pressione esercitata su un'estremità della molla comprime vieppiù la spirale che costituisce la molla stessa! Queste onde con frequenza più alta verranno dunque percepite dal nostro orecchio sotto forma di un fischio sempre più acuto. Appena la sorgente di onde sonore (la sirena) ci passa davanti e si allontana, ecco che la frequenza delle onde crolla, e noi percepiamo un suono sempre più grave.

La stessa cosa avviene (su per giù) anche con la luce. Quando un oggetto che emette luce si avvicina all'osservatore il suo spettro si spinge sempre più verso l'alta frequenza, ossia il violetto (fenomeno del blueshift, deviazione verso il blu); viceversa, quando l'oggetto luminoso si allontana il suo spettro si orienta verso la bassa frequenza, ossia il rosso (fenomeno del redshift, deviazione verso il rosso); e tanto più veloce è l'allontanamento dell'oggetto tanto più marcata è la deviazione del suo spettro verso il rosso.

Hubble, durante le sue osservazioni, effettuate con mezzi pionieristici in confronto a quelli d'oggi, si accorse che praticamente tutte le galassie (pochissime le eccezioni, tutte confinate nelle nostre "vicinanze") presentavano un redshift più o meno marcato. E, notizia ancora più fondamentale, il redshift delle galassie era tanto più estremo quanto più queste galassie erano da noi lontane.

Cosa poteva significare tutto ciò? Una cosa molto semplice ma, a suo modo, grandiosa: che ogni galassia si allontana dal nostro punto di osservazione con velocità tanto maggiore quanto più essa è distante; e, siccome il nostro punto di osservazione non è certamente il centro dell'universo, ciò significa che l'intero universo è in espansione e che questa espansione appare sempre più rapida man mano che si osservano regioni più lontane e "vecchie". Non dimentichiamo infatti che quanto più in là spingiamo la nostra osservazione nello spazio, tanto più indietro la spingiamo nel tempo, visto che le immagini degli astri (stelle e galassie) non ci arrivano istantaneamente bensì alla velocità della luce. Dunque, quel che vediamo oggi di una galassia situata a 10 milioni di anni luce dalla Terra è il suo aspetto 10 milioni di anni fa, mentre quel che vediamo oggi di una galassia situata a 100 milioni di anni luce dal nostro pianeta è il suo aspetto 100 milioni di anni fa!

18. Il redshift: le conseguenze.

La scoperta di Hubble ha portato a conseguenze davvero epocali per la cosmologia (ma, in perfetta armonia con lo spirito del nostro studio, possiamo dire anche per il pensiero scientifico e filosofico in generale).

Riflettiamo un momento: è davvero straordinario che gli oggetti più lontani siano anche quelli più vecchi. E' straordinario che spingerci in là nello spazio significhi anche andare indietro nel tempo.

Ma non si fermano qui le meraviglie della cosmologia; la scoperta di Hubble ha consentito di formulare quella che oggi come oggi appare la più autorevole ipotesi sulla nascita dell'universo: la teoria della "singolarità" e del Big Bang.

Molto semplicemente, se l'universo è in espansione, non c'è alcun motivo di carattere né fisico né logico per pensare che abbia iniziato a comportarsi così solo da un certo momento in avanti; se l'universo si sta espandendo, evidentemente lo fa da sempre. Di conseguenza, percorrendo la freccia del tempo all'indietro, noi possiamo immaginare un universo nel quale le galassie si avvicinano sempre più, un universo il cui spazio è sempre più compresso, fino a diventare la metà, un quarto di quello attuale, fino a diventare grande come la nostra Via Lattea, poi come il Sistema Solare, quindi come un pompelmo, un pisello, un atomo, un quark, e poi meno, meno, sempre meno, fino a un livello in cui la totalità è concentrata in un solo punto; ma non si tratta di un punto vero e proprio, si tratta di un qualcosa talmente concentrato da trascendere i nostri normali canoni d'immaginazione, un qualcosa con cui deve aver avuto inizio tutto, compreso il tempo. Questo qualcosa prende il nome di "singolarità". La "singolarità" è l'inizio; al di là della singolarità non c'è nulla (perde di significato dire "non c'era", è molto più corretto dire "non c'è"), per questo motivo ha perfino poco senso dire "prima della singolarità"; confermiamo allora la nostra affermazione che "al di là della singolarità" non c'è nulla, aggiungendo che non ha dignità logica la domanda "cosa c'era prima?" semplicemente perché il "prima" non può esserci.

E' un concetto difficile da digerire, certo, ma esiste un'analogia che forse ci consente di trovarlo un po' meno duro: la temperatura. Per quanto ne sappiamo non c'è alcun limite massimo alla temperatura; infatti la temperatura altro non è che una conseguenza della velocità con cui si muovono le particelle che compongono la materia, ovvero una misura dell'energia cinetica: più rapide e ravvicinate sono le oscillazioni delle particelle, più alta sarà la temperatura (ecco ad esempio il motivo per cui un gas più è compresso, più è caldo: perché gli atomi e le molecole che lo compongono sono costretti in spazi più stretti e dunque soggetti a movimenti più frenetici l'uno contro l'altro). Ma esiste invece un limite minimo alla temperatura: lo zero assoluto, corrispondente a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. A questa temperatura l'energia cinetica è nulla, le particelle sono ferme; e se, quando una particella si muove, è possibile immaginare che si muova "più veloce", quando invece è ferma è impossibile pensare che sia "più ferma". Se è ferma è ferma, punto e basta. A questo "stato limite" corrisponde la temperatura di $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Più in basso non si può andare. Più in alto sempre, più in basso (di $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) mai!

Così come non ha alcun senso né fisico né logico pensare a una temperatura inferiore a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (magari, che ne so, $-290,50\text{ }^{\circ}\text{C}$...), non ha alcun senso pensare a un momento "prima" della singolarità. Dopo sì, prima no, esattamente come per la temperatura.

19. Il Big Bang e le anatre.

Certo che è difficile pensare a una singolarità iniziale che racchiuda tutta la materia: in fin dei conti il nostro universo non è punteggiato da molte “piccole” singolarità, i buchi neri, che rappresentano casi limite oltre cui le leggi della fisica sembrano perdere colpi e al di fuori dei quali l’intensissimo campo gravitazionale nulla fa uscire? E allora, come può il “tutto” essere scaturito da qualcosa di ancora più compatto rispetto a un semplice buco nero il quale già, con tutta la propria “modestia”, è capace di bloccare addirittura la luce?

Insomma, come ha potuto originarsi il Big Bang, la grande esplosione da cui tutto è nato, se la singolarità iniziale era una “compressione” di materia così straordinaria? Per quale motivo la gravità, e che gravità!, non ha fatto la sua parte impedendo qualsiasi espansione?

Ci torneremo non prima di aver preso un minimo di confidenza con un altro concetto molto importante per la fisica e la cosmologia: il campo di Higgs.

“Perchè esiste la realtà e non il nulla?” Non è una barzelletta, nè un paradosso, ma una domanda che ha fatto pensare per secoli le menti di scienziati, teologi e filosofi. Certo, da un punto di vista puramente logico-semantico la risposta che possiamo dare è molto semplice: “Perchè ‘realtà’ è il nome che noi diamo a ciò che è, mentre a ciò che non è attribuiamo il nome di ‘nulla’ ”. Tutto questo però puzza di tautologia lontano un miglio. E la fisica ci insegna che forse esiste una spiegazione scientifica al perchè la realtà (almeno intesa in senso “materiale”) esiste, a differenza del nulla o del non-essere.

Semplificando (e fatalmente, ancora una volta, banalizzando), diciamo che per spiegare la realtà della materia il grande fisico inglese Peter Higgs ha ipotizzato l’esistenza di una particella (detta “bosone di Higgs”) in grado di fornire massa alle altre particelle attraverso il proprio campo, detto “campo di Higgs”, che permea l’intero universo.

Così come il fotone è il mediatore della forza elettromagnetica o il gluone della forza nucleare forte, così il bosone di Higgs è il mediatore della massa.

Questa particella non è finora mai stata osservata direttamente in laboratorio, però i calcoli effettuati dai fisici non sembrano lasciare dubbi sulla sua esistenza.

Ma come fa il campo di Higgs a dare massa alle particelle? Per capirlo usiamo ancora una volta l’arma dell’analogia. Immaginiamo uno stagno al di sopra del quale svolazzano delle anatre. Se chiudiamo gli occhi, fino a che le papere si muovono nell’aria, noi non ci accorgiamo della loro esistenza (postulando che i volatili non starnazzino e non facciano rumore con le ali...). Ma avete mai osservato cosa succede quando queste bestiole planano verso lo specchio d’acqua? Si comportano come veloci, silenziose frecce fino al momento in cui non impattano la superficie della gora, momento nel quale subiscono una brusca decelerazione a causa della resistenza opposta dall’acqua. Allora si levano schizzi, si sente rumore, insomma la presenza degli animali si fa notare anche da chi ha gli occhi chiusi.

Lo stesso accade per il campo di Higgs (nella fattispecie il nostro stagno): esso è quel qualcosa di onnipresente (nell'universo) in grado di opporre resistenza all'accelerazione delle particelle (nella fattispecie le nostre anatre), di tutte le particelle. E opponendo loro resistenza conferisce loro massa. Le rende "esistenti", così come per noi, che abbiamo gli occhi chiusi, diventano "esistenti" le anatre solo quando vengono decelerate dalla resistenza dell'acqua.

Tutto qui? Sì, tutto qui; ma badiamo bene che l'intuizione di Higgs è di un'importanza incredibile: siccome Einstein ha ben dimostrato che massa ed energia sono solo due facce della stessa medaglia, non dobbiamo dare troppo per scontato il fatto che l'universo contenga la realtà massiva di cui anche noi siamo fatti. Nulla vieterebbe all'universo di manifestarsi solo sotto forma di energia. Nulla a parte il campo di Higgs.

Ma, e qui viene il bello, i calcoli effettuati dai fisici indicano che il campo di Higgs, come ogni altra cosa, è sensibile al calore e, al di sopra di una certa temperatura (molto ma molto elevata...), esso evapora, sparisce, non è più in grado di esplicare la propria funzione: esattamente come una medicina che si conserva bene fino a 25 °C, ma se viene passata a 200 °C in forno anche per un solo minuto perde tutta la sua efficacia; o proprio come l'acqua del nostro stagno che a 100 °C diventa vapore...!

Ebbene, la temperatura "infinita" della compattissima singolarità iniziale era talmente elevata da far evaporare il campo di Higgs; quindi si può ipotizzare che la singolarità iniziale, quella che ha dato origine al Big Bang, non fosse massa (sia pure una massa così densa da essere senza dimensioni, una "singolarità" appunto), ma solo energia; e che per tale motivo abbia poi potuto "esplodere", buttando fuori l'universo a differenza dei buchi neri i quali, pur assai più modesti, trattengono anche la luce!

Se noi comprimiamo una molla elicoidale a livelli elevatissimi è fatale che a un certo punto essa si scateni in una sorta di pressione negativa e si espanda all'improvviso, liberando tutta la sua energia potenziale e magari scagliando lontano quell'imbecille che si era cimentato in tale atto eroico ma parecchio masochista.

Ciò è quanto dev'essere accaduto al momento del Big Bang, circa (e con "circa" intendiamo prenderci un margine d'errore del 10 – 15%) 14 miliardi di anni fa!

E prima? Il prima non ha alcun senso.

E dopo? Lo vediamo subito.

20. Il Big bang e l'inflazione.

Riassumendo un po': circa 14 miliardi di anni fa tutto era concentrato in una "singolarità" di pura energia, a temperatura talmente elevata da impedire la stessa esistenza del campo di Higgs, e dunque della materia avente massa. Non è un'eresia ipotizzare che la non esistenza della materia avente massa, e quindi della forza gravitazionale (attrattiva), abbia fornito una sorta di "nulla osta" (diversamente da quanto avviene nelle singolarità a noi più familiari, i buchi neri, dove la gravità invece esiste, eccome!) alla manifestazione di questa immensa quantità di energia

attraverso un'esplosione, originatasi dall'immane pressione negativa (repulsiva), che noi chiamiamo "Big Bang".

Questa immensa esplosione ha dato origine a tutto. E questa frase può considerarsi forse la più importante e totalizzante dell'intero nostro studio. Teniamolo a mente.

Dal Big Bang ha avuto origine l'universo la cui espansione è ancora in corso. Tuttavia, nei primissimi istanti dopo il Big Bang, e parliamo di frazioni di frazioni di frazioni, di frazioni, etc... di secondo, l'espansione del cosmo dev'essere stata assolutamente rapida e spettacolare, tanto che in un singolo istante grandezze paragonabili a quella di un pisello devono essere divenute simili a quella della nostra galassia! E' qualcosa di francamente inconcepibile per i nostri canoni mentali.

Questa espansione travolgente prende il nome di "inflazione". Si tratta di una dinamica che travalica addirittura la velocità della luce, dunque le stesse leggi della relatività ristretta

Ma cosa ci porta a capire che nei primissimi istanti del tempo è avvenuta l'inflazione cosmica? Due considerazioni.

La prima, puramente teorica, ci suggerisce che una "singolarità" talmente "singolare" (chiedo scusa per il gioco di parole) da non rendere più valide nel proprio ambito neppure le stesse leggi fisiche che ora governano l'universo, non può che avere avuto una manifestazione eccezionale.

La seconda, molto più pratica e sperimentale, prende invece spunto dalla RFCM (radiazione cosmica di fondo a microonde). Un evento quasi casuale nello sviluppo della radioastronomia ha condotto durante gli anni '60 i futuri premi Nobel Penzias e Wilson a rintracciare una radiazione di fondo che porta un marchio di riconoscimento assolutamente preciso: la propria temperatura, poco superiore allo zero assoluto.

Questa radiazione di fondo pervade l'intero universo, il che, considerando l'estensione dello stesso, appare una cosa sbalorditiva. L'unica spiegazione fisicamente accettabile è che solo un'iniziale espansione inflattiva, velocissima, parossistica, possa aver "spalmato" il calore primordiale in maniera uniforme, cancellando le altrimenti inevitabili disomogeneità termiche. La distribuzione del calore richiede tempo, e questo tempo non avrebbe permesso alla temperatura dell'universo di armonizzarsi, così com'è in effetti avvenuto, se non avesse usufruito di un input iniziale tanto veloce da annullare praticamente ogni irregolarità termica: l'inflazione, appunto.

Solo così si riesce a spiegare per quale motivo la RFCM sia in grado di "presidiare" ogni singolo anfratto del cosmo.

Dopo l'iniziale, enorme, brevissima espansione inflattiva, l'universo ha cominciato a raffreddarsi gradualmente; e la temperatura oggi così modesta della radiazione di fondo altro non è che la traccia residua del Big Bang.

Ma il crollo della temperatura ha portato, negli istanti immediatamente successivi al "grande botto", alla condensazione del campo di Higgs, ovvero alla nascita della materia avente massa, quella che tutti noi conosciamo e di cui siamo composti.

Se il campo di Higgs non condensasse al di sotto di una certa temperatura, noi non ci saremmo, perchè non esisterebbe la materia massiva.

Se il campo di Higgs non evaporasse al di sopra di una certa temperatura, ugualmente non ci saremmo, in quanto non sarebbe forse mai avvenuto il Big Bang. Infatti la concentrazione di materia massiva avrebbe originato una sorta di enorme buco nero la cui gravità (attrattiva) avrebbe impedito il trionfo della pressione negativa (repulsiva). Insomma: siamo figli di un bel colpo di fortuna!

Detto sottovoce: a qualcuno questa affermazione non è che ricorda un po' la meccanica quantistica?

21. Firme quantistiche nel cielo.

Se si pensasse all'universo come a un gigantesco pallone in espansione si commetterebbe un grave errore.

Io stesso, ripercorrendo la storia del cosmo all'indietro, ho parlato, per riferirmi ai primi istanti, del sistema solare, poi di un pompelmo, di un pisello, etc... evocando sempre immagini piuttosto sferiche. Sbagliatissimo: nulla ci porta a dare per scontato che la curvatura dell'universo sia stata in passato e sia ancor oggi positiva (cioè di tipo sferico); in realtà potrebbe essere anche negativa (simile a una sella, per intenderci) oppure neutra, eventualità in cui lo spazio sarebbe piatto.

Solo per inciso, dato che questo argomento meriterebbe una trattazione di qualche centinaio di pagine, precisiamo che i calcoli effettuati dagli scienziati sulla base del rapporto fra velocità di espansione del cosmo e quantità di materia (palese e oscura) presente nell'universo farebbero pendere la bilancia verso una curvatura dello spazio neutra.

Comunque, che lo spazio sia una palla, una sella o a una distesa piatta, sembra proprio assodato che abbia avuto origine (assieme al tempo) dal Big Bang verificatosi 14 miliardi di anni addietro. E che l'immane esplosione di energia abbia provocato una pressione negativa così forte da causare per alcuni "istanti cosmici" il fenomeno dell'inflazione.

Ma perchè, se la fase inflattiva ha avuto la forza di "spalmare" in modo così efficace la RFCM, e se ha esercitato la propria "spinta" in una maniera che non c'è alcun motivo di immaginare disomogenea nelle varie direzioni, oggi l'universo non è un unico enorme ammasso di materia coerente? Perchè presenta invece un'alternanza fra spazio vuoto (la regola; teniamo presente comunque che il "vuoto" non è mai completamente vuoto, anche se noi continueremo a chiamarlo, per brevità, "vuoto") e materia massiva (l'eccezione, comunque importante, visto che di questa eccezione tutti noi siamo figli)? In fin dei conti, se io immetto aria in un palloncino (facciamo lo sforzo di riferirci ancora una volta alla forma sferica, solo per comodità analogica), questo non si gonfia in maniera uniforme?

Certo, il ragionamento sopra effettuato è corretto: non si è in effetti mai visto un palloncino (che nella nostra analogia fa la parte del cosmo) rispondere alle sollecitazioni dell'aria pompata (che fa la parte della pressione negativa, della forza

esplosiva) in maniera irregolare, gonfiandosi un po' qui e un po' lì, ospitando al suo interno sacche di vuoto alternate a isole di aria compressa!

Però non dobbiamo mai dimenticarci, quando parliamo di materia, che non esiste solo la macrorealtà, quella con la quale abbiamo a che fare tutti i giorni, quella che ci porta a evocare il palloncino gonfiato progressivamente per riprodurre un Big Bang in miniatura. La materia è anche microrealtà, come ci insegna la quantistica. E la quantistica ci dice che a livello particellare vigono leggi del tutto estranee al "mega-mondo". A livello particellare la materia (che, lo ricordiamo, ha potuto iniziare la propria manifestazione massiva non appena si è condensato il campo di Higgs) vive sulla probabilità, sull'indeterminazione, sulla fluttuazione, sulla discontinuità.

Ebbene: nel momento in cui la materia ha fatto la propria comparsa come massa, figlia dell'energia primordiale e della condensazione del campo di Higgs, non era immune dalle fluttuazioni (o irregolarità, o discontinuità) quantistiche, esattamente come non lo è oggi. E nella fase inflattiva e post-inflattiva queste fluttuazioni quantistiche hanno fatto in pieno il loro dovere, quello stesso dovere che compiono oggi determinando le "somme sui cammini" di un fotone, di un elettrone, di una vita umana, di una polizza assicurativa... Queste fluttuazioni, scagliate verso l'infinità dalla parossistica espansione cosmica, e amplificate oltre ogni immaginazione, hanno "sparigliato" la neonata materia facendo in modo di condensare gli ammassi gassosi, le nebulose, le galassie, le stelle, etc..., alternandoli al vuoto cosmico.

Senza dimensione quantistica probabilmente l'omogeneità trionferebbe, e noi non saremmo qui a constatarlo.

La materia avrebbe sì la massa donatale dal campo di Higgs, ma sarebbe estremamente rarefatta e "spalmata" attraverso l'infinità dello spazio, proprio come lo è la radiazione cosmica di fondo; si espanderebbe in maniera regolare e coerente, cristallizzata nel proprio monotono divenire esclusivamente "quantitativo" (inteso in termini di sempre maggiori dimensioni, sempre minore densità e sempre minore temperatura), ma assolutamente priva di ogni parvenza "qualitativa".

Invece, per fortuna, con il pensiero possiamo capire di esserci anche noi, l'uno diverso dall'altro; di vedere un mondo splendido e variopinto; di trovarci in balia d'un continuo divenire. E, alzando gli occhi al cielo, possiamo ammirare, incastonate nel vuoto siderale, stelle e galassie, quasar e nebulose, autentiche "firme" della meccanica quantistica sullo sfondo dell'infinità cosmica, come dice il grande fisico contemporaneo Brian Greene.

22. E nella pratica...? Due esempi contrapposti.

Ma se dalla dimensione speculativa verso la quale ci hanno condotto gli splendidi argomenti fino ad ora trattati volessimo trasferirci su una dimensione pratica, per capire in sostanza come la fisica può concretamente cambiare la nostra vita, avremmo soddisfazione oppure no? Certo, ne avremmo moltissima. La fisica, la relatività, l'astrofisica, la quantistica si prestano ad applicazioni incredibili, in ogni campo della nostra esistenza, ci danno insomma strumenti atti a modificare il mondo in maniera

spesso sostanziale e sbalorditiva, a iniziare dalle nanotecnologie per finire con la produzione in grande scala di energia.

Ma per fare due esempi, se vogliamo anche banali, di come le conoscenze fisiche ci consentano di modificare a nostro piacimento la realtà, dedichiamoci brevemente all'analisi di due applicazioni assolutamente contrapposte: una malvagia e terribile, le bombe nucleari, l'altra virtuosa e di enorme utilità, il procedimento galvanico.

Le bombe nucleari.

Atomo significa, dal greco, "indivisibile"; in realtà l'atomo si può dividere, essendo composto da un nucleo centrale attorno a cui ruotano gli elettroni. E a sua volta il nucleo stesso si può spezzare in altri nuclei aventi un numero di protoni (numero atomico) inferiore: è la "fissione nucleare". Questa fissione può avvenire in modo spontaneo, in natura: è il fenomeno della radioattività; ma può anche essere indotta artificialmente, dall'uomo, lanciando neutroni a mo' di proiettili contro i nuclei da dividere: è la "bomba atomica".

Nel momento in cui si riesce a creare una reazione per cui, dopo un primo lancio di neutroni contro un nucleo, esso si perpetua, cioè dopo ogni rottura nucleare altri neutroni derivanti continuano a spezzare altri nuclei e così via, ecco che si innesca un meccanismo terribile capace di liberare immense quantità di energia. Energia distruttiva. Energia letale.

Non dimentichiamo infatti che Einstein ha ben dimostrato l'equivalenza tra massa ed energia ($E = mc^2$). Quando avviene una fissione all'interno di nuclei molto pesanti (per la precisione dal ferro-nichel in poi, ma generalmente si utilizzano uranio o plutonio), i nuclei risultanti dalla fissione hanno massa leggermente inferiore a quella originaria; dove finisce questa massa "perduta"? Diventa energia, quell'energia che distrugge tutto quanto si trova nel raggio d'azione della bomba!

Procedimento opposto è quello della "fusione nucleare". Quando nuclei semplici, in particolare idrogeno, che come sappiamo ha un solo protone, sono portati, in seguito a grande compressione, a fondersi, ecco che creano nuclei più complessi ma meno pesanti dei nuclei originari (anche in questo caso la soglia di confine all'interno della quale avviene il fenomeno è quella del ferro-nichel); e la massa "perduta" dove finisce? Come nel caso della bomba atomica diventa energia distruttiva: è la "bomba H" (bomba a idrogeno, anche se in realtà essa è una bomba che funziona più precisamente su un meccanismo di fissione – fusione – fissione, ma sono approfondimenti che in questa sede non ci interessano).

I procedimenti galvanici (cromature, zincature, etc...).

La galvanostegia (procedimento galvanico) è una tecnica che permette di ricoprire un oggetto metallico con un sottile strato di un altro metallo più prezioso o nobile, capace di aumentare la resistenza dell'oggetto stesso agli agenti atmosferici, all'usura, etc...

Per comprendere, sia pure a grandi linee, questo processo chimico-fisico il quale è in grado di migliorare la qualità stessa della nostra vita rendendo durevolmente servibili

oggetti che altrimenti rischierebbero di non poter essere neppure usati, è necessario soffermarsi su un concetto: la ionizzazione.

Cos'è uno "ione"? Ben sappiamo che un atomo di norma è composto da un nucleo formato da un certo numero di protoni, carichi positivamente, e di neutroni, privi di carica elettrica. Attorno al nucleo ruotano gli elettroni, carichi negativamente, e presenti in egual numero rispetto ai protoni, cosicchè l'atomo risulta elettricamente neutro. Una variazione del numero di protoni comporta il totale cambiamento della qualità chimica dell'elemento in questione (ad esempio: un atomo con 28 protoni costituisce il nichel, mentre un atomo con 47 protoni costituisce l'argento); una variazione del numero di neutroni invece non cambia la qualità chimica dell'elemento ma ne identifica un "isotopo", cioè un elemento analogo ma con diversa massa atomica, dunque più instabile e soggetto a decadimenti radioattivi (ad esempio il deuterio è un isotopo dell'idrogeno: quest'ultimo ha il nucleo composto da un protone e zero neutroni, mentre il deuterio ha un nucleo composto da un protone e un neutrone). Ebbene, quando a variare è il numero di elettroni, accade ancora che non cambia la qualità chimica dell'elemento, ma cambia la sua carica elettrica; un atomo con un numero di elettroni diverso dalla norma è uno "ione"; se ha acquistato uno o più elettroni è un "anione", carico negativamente; se invece ha perduto uno o più elettroni esso è detto "catione", carico positivamente.

Ora, se noi vogliamo ricoprire, ad esempio, un manufatto in acciaio con una patina di cromo (cromatura, utile a fini estetici e di resistenza all'usura), immergiamo l'oggetto in una "vasca galvanica" contenente una soluzione acquosa di sale di cromo; in tal modo l'oggetto immerso funge da "catodo" (il quale altro non è che un elettrodo, un conduttore metallico, carico negativamente); nella medesima vasca immergiamo anche un oggetto (generalmente) in piombo, il quale fungerà da "anodo" (il quale altro non è che un elettrodo carico positivamente); ora, mediante un semplice generatore di corrente imponiamo una differenza di potenziale ai due elettrodi in questione: osserveremo così che, come per magia, i cationi (atomi di cromo carichi positivamente) migreranno dal sale di cromo verso il catodo, andando a fissarsi su quest'ultimo e creando all'istante la cromatura!

Intervista a Sergio Sari, utente del Centro Pertini, domande di Francesco Fontana

D: Sergio, anche tu, con i tuoi suggerimenti, hai contribuito alla redazione di questo opuscolo scientifico. In tutta franchezza, un brevissimo giudizio sul "nostro" lavoro e sulla sua capacità divulgativa in un Centro Culturale così eterogeneo come il nostro.

R: Premesso che io ho contribuito ben poco, l'opuscolo lo trovo ben fatto proprio perché non redatto da professori o tecnici e quindi comprensibile anche alle persone "normali", e così ho dato risposta anche alla seconda parte del quesito.

D: A tuo parere quali sono al giorno d'oggi le più promettenti frontiere della scienza? Mi spiego: quali riflessioni ti provocano i dibattiti intorno al superamento della velocità della luce, ad esempio, e cosa può secondo te venirne, magari fra decenni, per l'umanità?

R: Sapere quali sono le frontiere è quasi impossibile, perché i progressi sono talmente veloci...

D: Ti interrompo un secondo e azzardo: superamento del petrolio come fonte di energia? Nuove letali armi di distruzione? La medicina? I misteri dell'Universo, la sua fine, il suo inizio?

R: Il superamento del petrolio senza dubbio avverrà, potrebbe essere già realtà oggi ma motivi economici lo tengono ancora nel cassetto (auto a idrogeno, etc.); energie rinnovabili ce ne sono davvero tante, io ad esempio ho fatto una ricerca sull'uso dell'acqua sotterranea con temperatura costante estate e inverno e ho trovato che è possibile usarla come riscaldamento con delle semplici pompe di calore. Quanto alle armi di distruzione sono ottimista, quindi penso e spero che su questo l'umanità si fermi. La medicina la vedo davvero fare passi da gigante, soprattutto tramite la genetica. Sul cosmo invece credo che andremo avanti a ipotesi.

D: La fisica classica, la relatività e la quantistica: 3 modi fra loro paralleli oppure incompatibili oppure ancora complementari di interpretare la realtà?

R: Sono complementari, senza dubbio; e tutte e tre ci aiutano.

D: Sergio: 3 nomi (o più, se vuoi...) dei più grandi scienziati, a tuo parere, della storia dell'umanità, diciamo dal '600 in poi...

R: Senza dubbio Galileo, Newton, Einstein, e poi aggiungerei Heisenberg, il padre della quantistica.

D: Chiudiamo, Sergio, così come abbiamo iniziato l'opuscolo: vedere una stella significa osservare la stessa non come è oggi, quando magari già non esiste più, ma come era milioni o miliardi di anni fa! Non è una cosa straordinaria? Quali intime riflessioni ti provoca?

R: E' qualcosa di meraviglioso e ci fa capire quanto piccoli siamo noi che crediamo ancora che le stelle influiscano sul nostro destino...

D: Mi permetto di condividere in pieno: senza alcuna crociata, ma facciamo capire alla gente che l'astrologia può essere un bel passatempo ma nulla più! Purtroppo è anche un ottimo conto corrente per tanti ciarlatani: è giusto che ognuno lo sappia e poi si regoli come vuole... Grazie Sergio