



LA MATERIA OSCURA

INDICE

| | |
|--------------------------------------|----|
| INTRODUZIONE..... | 2 |
| PREMESSA..... | 2 |
| OMEGA | 5 |
| VALUTANDO W | 9 |
| LA MASSA LUMINOSA..... | 11 |
| I FONDI UNIVERSALI..... | 13 |
| BREVE STORIA SULLA M.O..... | 14 |
| LE PROVE DELLA M.O. | 15 |
| 1. ANALISI DELLE VELOCITÀ | 15 |
| 2. EFFETTI RELATIVISTICI..... | 20 |
| LENTI GRAVITAZIONALI..... | 22 |
| MICROLENSING..... | 22 |
| 3. LE PROVE DAL BIG BANG..... | 24 |
| RADIAZIONE DI FONDO COSMOLOGICO..... | 25 |
| RAPPORTO BARIONI/FOTONI..... | 27 |
| FONDO DI NEUTRINI..... | 31 |
| TEORIE PARTICELLE E GTU..... | 32 |
| I NEUTRALINI..... | 34 |
| ENERGIA OSCURA..... | 36 |
| I CANDIDATI..... | 37 |



Introduzione

Questa relazione sulla materia oscura (M.O.) è frutto di una preparazione di una mia conferenza svoltasi il 05/03/2002 presso l'associazione SAF di cui faccio parte. Per preparare la conferenza ho preso spunto da internet, riviste scientifiche, e da un libro: "Il cuore oscuro dell'universo" di Krauss. Per chi rilevasse degli errori, o volesse aggiungere delle informazioni, o volesse scambiare qualche opinione, può scrivere a Leonardo377@supereva.it.

Premessa

La M.O., è un settore dell'astronomia nel quale confluiscono molti settori della fisica. Per poter affrontare l'argomento si deve approfondire le conoscenze dalla micro alla macrofisica, ossia la fisica delle particelle, le 4 forze, la teoria dell'unificazione, l'astrofisica, l'evoluzione stellare, l'evoluzione delle galassie, l'evoluzione dell'universo. Pertanto abbiamo una materia completa, che per poterla affrontare nei suoi molti aspetti, richiede una cultura generale molto vasta. Inoltre è un settore ad oggi ancora giovane, molti sviluppi sono praticamente recenti, e quello che si potrà dire sull'argomento, potrebbe essere confutato a breve termine, anzi potrebbe già esserlo stato ieri. Questa sua giovinezza e l'evoluzione costante dell'argomento a cui stiamo assistendo, determina che i vari articoli che possiamo trovare al riguardo, non sempre sono in accordo. Si possono trovare dati discordanti, articoli che trattano un aspetto della M.O. portando come cavallo di battaglia un candidato piuttosto che un altro, e percentuali, ossia valori sulle loro quantità presenti nell'universo, non sempre correlabili. Per complicare il quadro della situazione va aggiunto che il carattere dell'argomento si presta molto a speculazioni. Infatti, molte teorie, probabilmente, non avremo mai l'opportunità di provarle. Quindi per un non addetto al settore, diviene difficile districarsi in mezzo alla grande mole di dati. Tanto che si possono commettere errori di valutazione non indifferenti. La difficoltà sta proprio nel riuscire in qualche modo a filtrare la varietà di dati in contrasto e trovare un filone riconducibile a quello che può essere la realtà dell'argomento. Le potenzialità di questo, settore della scienza, sono molto elevate, dato che, approfondendo le conoscenze sulla M.O. potremo sapere esattamente come è costituito



l'universo e di conseguenza come si svolge la sua dinamica. Ci aspettiamo, di scoprire quale sia stata la sua storia passata e conseguentemente quale sarà il suo futuro, potendo così determinare il suo destino. Potremo avere finalmente l'opportunità di rispondere a domande che fin dall'antichità l'uomo si è sempre posto. Le scoperte sulla M.O. sono in piena evoluzione proprio in questi anni, pertanto per chi volesse seguire l'argomento, di sicuro, si prospetta un periodo culturalmente dinamico. Assisterà alla nascita di nuove teorie, al miglioramento o alla morte di altre. Questo perché le tecnologie insieme a nuove teorie si sono evolute a tal punto che si stanno introducendo nuovi metodi per osservare l'universo. La M.O. si inserisce anche in un quadro filosofico volto a dimostrare l'irrilevanza dell'uomo rispetto all'universo. Fin dall'antichità l'uomo si era posto al centro del cosmo; il modello Tolemaico, poneva la terra al centro dell'universo, e con esso l'uomo. La finalità dell'universo era l'uomo stesso. Tutto l'universo doveva essere asservito all'uomo, ed era stato creato appositamente per lui. Però con l'evoluzione della scienza scopriamo che questo bel quadro, non corrisponde alla realtà. Si incominciano ad assestare i primi colpi, con la teoria copernicana, ovvero con l'ingresso del modello Eliocentrico, si sposta dal centro dell'universo la terra, e quindi l'uomo, per porvi il sole. L'impatto filosofico fu enorme, un vero terremoto, avevamo perso la posizione di centralità, di importanza nell'universo, per una più insignificante e periferica. Comunque, l'uomo dopotutto poteva ancora detenere una posizione di privilegio, era pur sempre vicino al centro. Ma con il proseguire delle scoperte scientifiche, un poco alla volta perde anche questa posizione, per acquisirne una sempre più periferica. Si scopre che in realtà il nostro sole è una stella posta in periferia di una galassia, poi la galassia non è altro che una componente di un'insieme di galassie, ed il nostro ammasso non è a sua volta nel centro, ma vi sono altri ammassi. E così per ogni livello di strutturazione dell'universo. Nel XX secolo si scoprirà che non avrà più senso parlare addirittura di centro. Nel 1929, con la scoperta di Hubble dell'espansione dell'universo, da qualunque parte noi osserviamo il cosmo si osserverà la stessa espansione, pertanto non siamo in grado di rilevare un centro dell'universo, e quindi non ha senso porsi la domanda di dove sia il centro. La condizione dell'uomo rispetto all'universo diviene come quella di un naufrago in mezzo al cosmo. La M.O. si inserisce in questo ragionamento,



nel microcosmo. Se andiamo ad analizzare la materia conosciuta, ovvero tutta quella materia con cui comunemente abbiamo a che fare, come noi stessi, i nostri vestiti, l'aria che respiriamo, in pratica tutto l'universo che osserviamo tramite la sua luce, essa è costituita da un insieme di atomi. Il modello atomico è costituito da un nucleo centrale, un'insieme di particelle di protoni e neutroni. I protoni presentano una carica positiva ed i neutroni, come suggerisce la parola stessa, non presentano alcuna carica. In orbita intorno ai nuclei vi troviamo una nuvola di elettroni. Se analizziamo una proprietà dell'elettrone, la sua massa, ci accorgeremo che rispetto al nucleo è insignificante. E' circa $1/1836$ della massa di un singolo protone o neutrone. Di conseguenza, quando analizziamo la massa dell'universo è come se parlassimo quasi esclusivamente dei nuclei atomici. Nei vari articoli riguardanti la M.O. il protone ed il neutrone sono classificati come particelle Barioniche. Le particelle Barioniche sono una famiglia di particelle composte da particelle più piccole, i quark, le quali hanno a che fare con l'interazione forte, la forza più elevata presente in natura. Dato che le particelle Barioniche più stabili presenti in natura sono i protoni e i neutroni, a livello cosmologico, gli articoli sulla M.O., per materia barionica intendono solo i nuclei atomici. Di conseguenza, successivamente quando mi riferisco alla materia barionica, mi riferisco solo ai protoni e ai neutroni. Negli ultimi anni ci siamo accorti che la presenza della materia barionica nell'universo è insignificante. Se la paragoniamo alla M.O. si presenta come l'elettrone rispetto al nucleo atomico. Pertanto l'uomo non solo ha scoperto di non essere al centro dell'universo ma scopre che non è neanche la materia dell'universo. La materia di cui siamo fatti non è la più importante, la maggior presente nell'universo, ma la minore. Alle soglie, del nuovo millennio, l'uomo fa un altro passo verso la sua declassificazione filosofica: qualsiasi tipo di materia, compresa quella oscura, non è la massima presente nell'universo, ma si trova in minoranza. Entra prepotentemente come attore principale dell'universo una forma di energia: l'energia oscura. Questo passaggio di declassificazione dell'uomo, probabilmente non sarà l'ultimo. Via via che si scopriranno nuove relazioni si scenderà di altri livelli di importanza. Questo dovrebbe far riflettere: l'uomo deve scendere dal suo piedistallo, accettare la condizione di non essere il padrone dell'universo, il centro dell'attenzione di tutto il cosmo, ma ospite di un qualcosa più grande di lui.



L'umanità intera dovrebbe unirsi per iniziare quell'immenso viaggio interminabile alla scoperta di questa casa che ci ospita. Le nostre battaglie, le nostre guerre, sono inutili momenti di orgoglio, che l'universo fagocita come eventi insignificanti. L'universo è come un immenso esperimento che data l'enormità di spazio e di tempo, noi apparteniamo alle ultime cifre, le quali essendo insignificanti vengono annientate dalle tolleranze di misura. Nell'immenso teatro del cosmo, nel passato, ci si era posti come gli attori principali, per poi scoprire di essere degli spettatori che pian piano stanno slittando verso l'ultima fila. Ma il vero problema è che ultimamente, con le nuove teorie, si profilano nuovi scenari, stiamo uscendo dal teatro, cioè la maggior parte dell'universo non solo ci è sconosciuto, ma forse non avremo mai l'opportunità di osservarlo.

Omega

L'uomo fin dall'antichità si è posto domande sull'universo, sulla sua creazione e sul suo destino, e pare che adesso, grazie all'approfondimento delle conoscenze sulla M.O., siamo vicini a svelarne i segreti. Essendo il maggior componente nell'universo, troviamo una quantità di massa dipendente dalla M.O., se riusciamo a identificare da cosa essa sia composta e a quantificarla, potremmo essere in grado di determinare come si stia evolvendo il cosmo, evidenziando il suo passato e il suo futuro. Ed è per questo che, per i vari candidati si esalta la quantità di massa, e la si paragona molto spesso ad un parametro: omega (Ω). " Ω " raccoglie due particolari proprietà: la densità e l'evoluzione dell'universo. Se fosse conosciuto il suo valore, potremmo sapere con quale modello di universo abbiamo a che fare. Per capire l'importanza di tale parametro, dovremo analizzare due forze presenti nell'universo:

1. l'espansione di Hubble
2. la forza gravitazionale.

Nel 1929, grazie ad Hubble si è scoperto che l'universo è in espansione, cioè tutte le galassie si allontanano le une dalle altre seguendo una legge di proporzionalità dipendente dalla loro distanza reciproca:

$$V = H d.$$

Dove H è la costante di Hubble, ad oggi (2002) $\approx 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
"d" distanza in Mpc (Mega parsec).



V Velocità di espansione in Km/s.

Se l'universo è in espansione, una diretta conseguenza è che, se lo analizziamo come era nel passato, le galassie dovevano essere più vicine. Si giunge così alla teoria del Big Bang: per qualche motivo è avvenuta un'esplosione, lo spazio dell'universo ha cominciato ad espandersi e da allora non si è più fermato. Lo spazio, espandendosi, provoca una dilatazione anche di tutti gli oggetti che stanno al suo interno e quindi anche delle lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica (luce). Noi possiamo percepire questo fenomeno, semplicemente osservando una radiazione campione di una frequenza conosciuta come uno spostamento della sua frequenza di emissione. Si osserverà un calo di frequenza e, in termini astronomici, uno spostamento verso il rosso dello spettro ottico (red shift). Una volta determinato l'esatto valore della costante di Hubble, si inducono le distanze dei vari corpi celesti semplicemente valutando lo spostamento verso il rosso. Ma se questa espansione, presente fin dal momento del Big Bang, continuasse per un tempo infinito, la materia si allontanerebbe reciprocamente da altra materia. Il raggio dell'universo tenderebbe ad infinito e la materia si distribuirebbe omogeneamente con una densità tendente a zero. Con il tempo (in senso astronomico) osserveremmo la graduale diminuzione della luminosità dei vari oggetti stellari, fino a che la sensibilità dei nostri strumenti non sarebbe in grado di evidenziare più alcuna luce. Uno scenario da brividi, ma che per fortuna, potrebbe avvenire per tempi astronomici fuori dalla nostra portata di percezione di vita umana. Questo tipo di evoluzione di universo è chiamato universo "aperto". Ma non è detto che questo possa accadere per il nostro universo. In natura è presente un'altra forza a dimensioni cosmologiche, che si applica in senso inverso all'espansione: la forza gravitazionale. La forza di gravità, tende ad aggregare la materia, e lo possiamo dimostrare tutti i giorni. La nostra terra non ci permette di allontanarci, se proviamo a fare un salto, immancabilmente ricadiamo sulla sua superficie, evitando di disperderci nello spazio. La forza gravitazionale prende spunto da una proprietà della materia: la massa. Maggiore è la massa e maggiori sono le forze gravitazionali in gioco. Di conseguenza, a livello cosmologico, la forza di aggregazione dipende dalla densità della massa nell'universo; maggiore è la densità, maggiore è la velocità di aggregazione della materia. Se fosse presente una densità dell'universo tale



da superare la velocità di espansione cosmologica di Hubble, l'universo andrebbe incontro ad uno scenario inverso a quello dell'universo aperto. L'espansione rallenterebbe poco a poco fino ad arrestarsi, per poi proseguire con una storia evolutiva inversa, ovvero una contrazione. Il raggio dell'universo raggiungerebbe un limite massimo per poi andare verso un'implosione riconcentrandolo in un solo punto. Siamo arrivati allo scenario opposto del Big Bang: il Big Crush. Tale scenario, per il limite raggiunto dell'espansione del suo raggio, è definito universo chiuso. Nell'universo ci ritroviamo così, un tiro alla fune cosmologico, da una parte l'espansione dello spazio di Hubble, dall'altra la contrazione dello spazio dipendente dalla gravità. Chi dei due vince determina lo scenario dell'universo. Ma esiste un'altra possibilità affascinante, le due forze potrebbero essere in perfetto equilibrio. Per ottenere tale condizione bisogna che vi sia una densità della materia (massa) particolare, chiamata "densità critica". Perché densità critica? Perché basta un discostamento anche infinitesimo da tale valore per passare da un tipo di universo all'altro. Purtroppo per noi, esattamente alla densità critica l'universo tenderà ad essere comunque aperto. Pertanto vi sono solo due scenari di evoluzione: aperto e chiuso. La caratteristica che contraddistingue l'universo aperto alla densità critica è che l'espansione, ogni giorno che passa tende a rallentare, solo che rallenta con una velocità sempre inferiore. Per raggiungere l'equilibrio con la forza gravitazionale si deve attendere un'infinità di anni, ma a quel punto la sua dimensione è infinita. Ritornando ad omega " Ω ", è espresso come il rapporto tra la densità osservata e quella critica:

$$\Omega = \rho_o / \rho_c$$

ρ_c rappresenta la densità critica teorica dell'universo

ρ_o la densità che si osserva per l'universo

Riassumendo, in Ω , a secondo di quale densità osserviamo nell'universo, rispetto alla densità critica, abbiamo le 3 condizioni:

1. Densità + bassa $\Omega < 1 \rightarrow$ universo aperto
2. Densità = critica $\Omega = 1 \rightarrow$ universo aperto
3. Densità + alta $\Omega > 1 \rightarrow$ universo chiuso

Benché abbiamo a che fare con solo 2 storie evolutive, analizzando le proprietà dello spazio dal punto di vista relativistico, per ciascuna delle 3



ipotesi abbiamo una geometria diversa. Einstein nel 1916 introduce qualcosa di nuovo per quanto riguarda la forza gravitazionale, o meglio per quanto riguarda le proprietà della massa. Nella teoria della relatività speciale, la massa oltre a determinare la forza di attrazione gravitazionale, deforma lo spazio. La gravità relativistica risulta più forte della gravità di Newton. L'incurvatura della luce, misurata nel 1919 da Eddington nel corso dell'eclisse di Sole, diede ragione a Einstein. Risulta infatti che applicando la gravità relativistica, la luce si incurva esattamente del doppio di quanto risulterebbe dalla sola gravità di Newton. Diviene pertanto importante analizzare le proprietà della massa come geometria, poiché a seconda della densità della massa combinata all'espansione, la geometria dell'universo non è sempre la stessa. In relazione a Ω abbiamo:

1. Densità + bassa $\Omega < 1 \rightarrow$ spazio iperbolico
2. Densità = critica $\Omega = 1 \rightarrow$ spazio euclideo
3. Densità + alta $\Omega > 1 \rightarrow$ spazio sferico

In fig. 1 il disegno rappresenta le diverse condizioni per Ω .

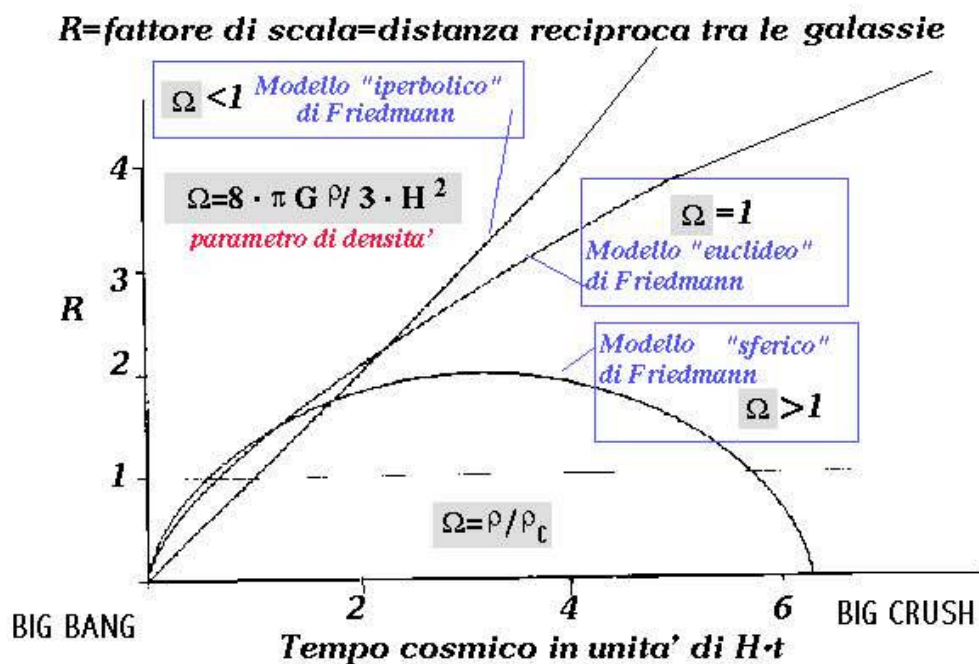


FIG 1.

L'effetto è che in base a quale spazio è presente nell'universo, la luce e la materia seguono dei percorsi diversi. Per uno spazio euclideo non si riscontra nessuna deformazione, nessun effetto relativistico, e pertanto



non vi saranno effetti degni di nota. In uno spazio sferico invece la luce e la materia sono obbligati a percorrere traiettorie curve e l'effetto globale è che un fascio di luce, un'immagine, tenderanno a concentrarsi. Viceversa in uno spazio iperbolico, la deformazione dello spazio tende ad allontanare materia e radiazione. Un fascio di luce, un'immagine, risulteranno ingrandite. Data l'importanza che assume il valore di Ω nell'universo, nei vari articoli riguardanti la M.O., si usa come base di confronto. Le masse presunte nell'universo, per i vari candidati alla M.O., vengono espresse in % di Ω . Viene assunto che il valore di Ω sia esattamente corrispondente ad un universo con densità critica, ovvero $= 1$. Pertanto questo è diventato uno standard di confronto, anche se poi l'esatto valore di Ω non è conosciuto. Ad esempio, quando troviamo un candidato a massa $\Omega = 0,1$, si interpreta come se il candidato sia in grado di giustificare la densità critica per un 10 % del suo valore. Ma se la somma di tutti i candidati nell'universo non è 1, siamo di fronte ad un universo diverso.

Valutando W

Abbiamo visto come nell'universo è importante definire il valore di Ω , di conseguenza fin dal XX secolo si è cercato di quantificarlo. Diverse considerazioni avevano portato vari astronomi ad ipotizzare, che la massa dell'universo dovesse essere proprio equivalente alla densità critica, a assegnare un valore per $\Omega = 1$. Forse perché la geometria dello spazio è la più semplice (Euclidea), o forse perché è più vicino ad uno scenario da universo stazionario, di perfetto equilibrio. Ma si trattava solo di ipotesi. Recentemente pare che la questione si sia finalmente definita, grazie ad un esperimento in parte italiano, seguito dal Dott. De Bernardis dell'Università la sapienza di Roma, denominato "Boomerang". L'esperimento, analizzando le disomogeneità della radiazione di fondo cosmologico, ha confermato che nell'universo $\Omega = 1$. Nel 1992 il satellite COBE aveva già misurato una variazione della temperatura della radiazione di fondo cosmologico non superiore ad 1/100.000. Da qualsiasi parte essa provenga è omogenea. Lo scopo dell'esperimento Boomerang però, non era quella di ripetere la misura quantitativa, ma quello di analizzare la geometria della disomogeneità, la sua distribuzione nell'universo. La radiazione di fondo cosmologico è definita anche fossile, perché da quando, all'epoca del Big Bang si sarebbe formata, avendo una



debole interazione con la materia, non ha modificato la sua forma e la quantità. Le immagini di tali disomogeneità, a seconda di quale geometria prevale nell'universo, iperbolica, euclidea, sferica, dovrebbero essersi propagate in modi diversi tali da poter osservare delle distorsioni sulla loro distribuzione. Se l'universo è euclideo non dovremmo osservare nessuna variazione delle disomogeneità; il gradiente di variazione fra le varie zone più dense e meno dense non sarà variato. Se l'universo è sferico, le disomogeneità, per la distorsione dello spazio, subiscono una contrazione, lasciando ampie zone di omogeneità, evidenziando un gradiente di variazione della densità più ripido. Altre anomalie si evidenzieranno se l'universo è iperbolico. Una tale geometria determina uno spazio in espansione, e le disomogeneità si osservano allargate a tal punto che si sovrappongono. Le disomogeneità divengono più piccole e molteplici. Dai dati di "Boomerang", è venuto fuori che l'universo non ha alcuna deformazione, e le varie immagini delle disomogeneità emesse all'epoca del big bang sono come se la geometria dell'universo fosse euclideo, o anche detto universo piatto. Adesso abbiamo un punto fermo: qualsiasi materia dell'universo, oscura e non, deve nel suo complesso avere una densità di massa pari a quella critica, $\Omega = 1$. In un sol colpo abbiamo definito la densità e l'evoluzione dell'universo. Ma allora, purtroppo per noi, l'universo è destinato ad espandersi all'infinito. Pian piano spariranno dal nostro cielo i vari corpi celesti, perché troppo lontani, fino ad non osservare più nulla. Qualcuno potrebbe obiettare che qualcosa sta già avvenendo oggi, osserviamo meno stelle rispetto al passato, ma è solo colpa dell'inquinamento luminoso, il dramma di astronomi e astrofili.

In fig 2 possiamo vedere l'immagine presa dall'esperimento Boomerang. Sotto, a confronto, abbiamo le 3 ipotesi di osservazione di deformazione delle disomogeneità come ce le aspettiamo a secondo delle geometrie dell'universo.

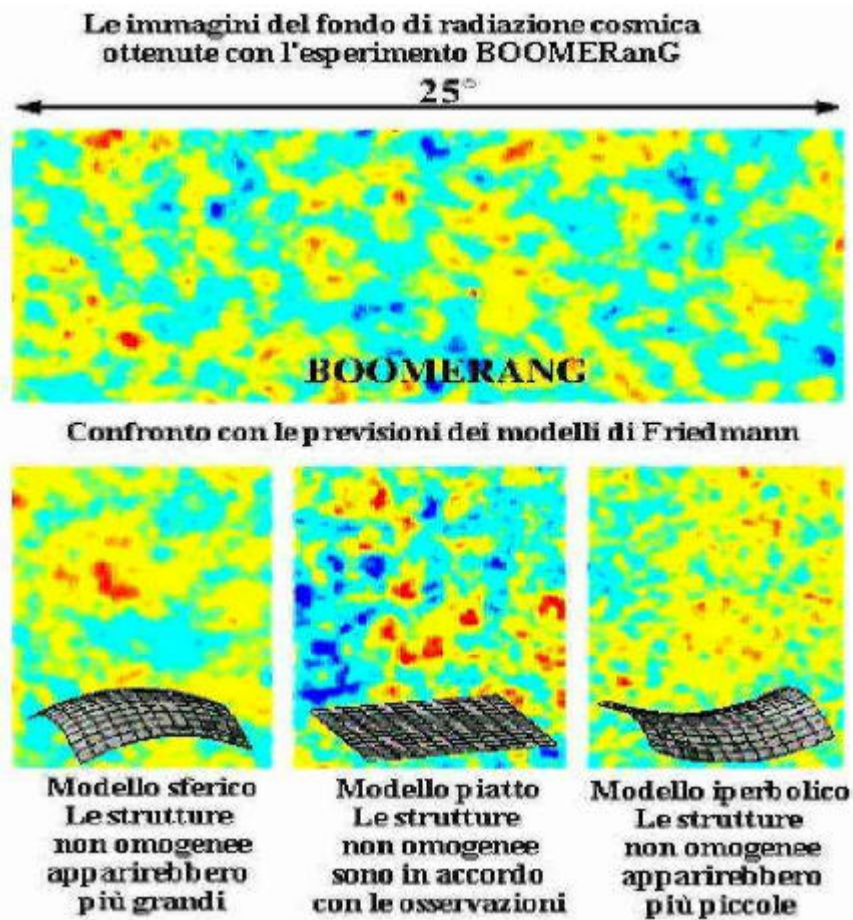


FIG 2.

La massa luminosa

Come possiamo stimare la massa dell'universo? Essendo l'astronomia una scienza basata esclusivamente sull'osservazione, dovremmo in qualche modo valutarla dalla luce. La massa delle stelle si può ricavare banalmente dal loro colore. Dall'analisi della curva spettrale di emissione, si collocano nel digramma H-R (Hertzprung-Russel), e grazie alle teorie dell'astrofisica, ne possiamo stimare la massa. Osservando un insieme di stelle, possiamo statisticamente valutare la loro massa determinando così la massa luminosa di una galassia. Studiando le varie zone dell'universo è stabilito che sia press'a poco omogeneo, e pertanto misurando alcune zone, ed estrapolando dati per altre, siamo arrivati a definire una massa globale. Tale valore pertanto è un valore statistico, e deve essere tenuto conto che è frutto anche di un limite: la sensibilità dei nostri telescopi. Molta materia



non è per noi visibile e pertanto non può entrare nel conto. Con il passare del tempo la tecnologia dell'uomo migliora, ed infatti la sensibilità dei nostri occhi astronomici aumenta di decennio in decennio, ed assistiamo ad una valutazione massa-luminosità sull'universo in continua crescita. Ad oggi la valutazione luminosa globale rende giustizia di Ω solo per un valore dello 0,5 %. Ma l'esperimento "boomerang" ha detto che $\Omega = 1$. Diretta conseguenza è che la nostra osservazione è limitata: il 99,5% dell'universo non è visibile. L'universo che noi osserviamo è costituito da materia tradizionale. Le stelle e i vari corpi celesti non sono altro che un insieme di barioni, e elettroni, come quelli che siamo abituati ad studiare sulla terra. La differenza è che sulla terra queste particelle sono raggruppate come atomi, nell'universo invece la stragrande maggioranza la ritroviamo sotto forma di plasma. Il plasma è uno stato della materia, composto da atomi non neutri, atomi ionizzati. Gli elettroni e protoni sono liberi, ovvero sono slegati. Un esempio è l'interno delle stelle, dove la temperatura è talmente alta che gli elettroni hanno un'energia così elevata da non riuscire ad avere un'orbita stabile intorno ai nuclei atomici. Per quanto riguarda la valutazione della massa dell'universo, la massa luminosa diviene il nostro punto di partenza sicuro. La quantità di materia che noi osserviamo, $\Omega = 0,5$, è costituita da materia barionica. Ma il resto della materia da cosa è costituita? Dopo 30-40 anni di ricerca questo è un problema ancora non risolto. Possiamo comunque raggruppare i candidati in 2 famiglie:

1. Materia Barionica
2. Materia esotica

Una grande quantità della materia barionica, ovviamente è preclusa alla vista per problemi di sensibilità dei telescopi, ma, dato che stiamo assistendo ad un trend di crescita tecnologico continuo ogni anno, grazie a nuovi telescopi, osserviamo corpi celesti con luminosità sempre più basse, permettendoci di effettuare stime della massa della galassia sempre più accurate. Allo stesso modo, possiamo vedere un numero di galassie superiore al passato, pertanto le stime dovrebbero tendere ad un valore sempre più preciso. Ulteriori miglioramenti comporteranno una correzione delle stime in percentuali sempre più irrilevanti, variando poco nella sostanza. L'altro tipo di materia, definita esotica, è la più interessante, poiché è debolmente interagente con la materia e pertanto con la forza



elettromagnetica. In queste condizioni non può emettere onde elettromagnetiche e di conseguenza luce. La conclusione quindi è che, anche se aumentiamo la sensibilità dei nostri telescopi, attraverso la luce, la materia esotica non si osserverà mai. Ma l'astronomia è una scienza fondata sull'osservazione, e a parte qualche altro fenomeno, è basata sull'analisi delle caratteristiche del fotone. Oggi conosciamo l'universo grazie ai fotoni, ed è impressionante come analizzando una sola particella abbiamo costruito una montagna di informazioni. Allora dovremmo trovare altri metodi per osservarla. Ma come possiamo osservare la M.O.? Il metodo preferenziale rimane sempre l'osservazione, basata sui fotoni, e quindi cercheremo sempre attraverso la luce, di individuare effetti indiretti sulla materia visibile circostante. La M.O, essendo nell'universo il 99,5% della massa, è determinante dal punto di vista gravitazionale. Essendo la dinamica dell'universo dipendente dalla gravità si dovrebbero osservare sulla materia visibile, fenomenologie che non sono giustificate dalla sola valutazione della massa dedotta dalla luce.

I fondi universali

La M.O. dovrebbe essere distribuita nell'universo in modo omogeneo. La parte di M.O. barionica, interagisce con la materia tradizionale, e pertanto può essere catturata dai corpi celesti, si ferma sulla loro superficie, ed in parte si aggrega per formarli. La materia esotica invece non interagendo, l'attraversa. In qualsiasi momento siamo penetrati da una miriade di tali particelle senza che noi possiamo percepirle. Queste particelle dovrebbero costituire una sorta di fondo universale che pervade tutto l'universo. Non vi sarebbe un unico candidato, ma più candidati. Analogamente come l'atmosfera terrestre non è costituita da un solo elemento ma da più elementi, ossigeno, azoto, idrogeno, etc, ciascuno con percentuali diverse, nello spazio vi troviamo più fondi universali di particelle, uniti in una sorta di atmosfera cosmologica con i vari candidati, cioè con presenze quantitative e qualitative ancora da scoprire e definire. Non sarebbe la prima volta nella storia che l'uomo si richiama a fondi universali. Il più conosciuto è l'etere inventato nel 450 a.c da Empedocle, poi rivisitato successivamente da Aristotele e alla fine del 1600, grazie ad Huyghens, divenuto mezzo di propagazione delle onde elettromagnetiche. Alla fine del 1800 l'etere passerà di moda, dimostrando che la luce può propagarsi



anche nel vuoto e poi verrà eliminato definitivamente dalla relatività ristretta. Ma i richiami a fondi universali sono ben molto più antichi. Se andiamo ad analizzare i miti della creazione di antiche civiltà come quelle Babilonesi, o Egiziane, Indiane, Cinesi, possiamo notare come queste pur essendo diversificate e disseminate in territori diversi e distanti, hanno una esigenza unanime, una sorta di retaggio culturale comune. Tali miti richiamano un fondo universale definito acqua primordiale, che è all'origine della vita. Sarebbe una sostanza amorfa, eterna, da cui emergono in seguito tutte le strutture dell'universo. Lo stesso richiamo lo troviamo anche nella Bibbia. La storia della creazione nella Genesi è sorprendentemente simile alle antiche storie delle altre civiltà: "In principio dio creò il cielo e la terra. [...] E Dio disse: Ci sia un firmamento in mezzo alle acque che divida le acque dalle acque. E Dio fece il firmamento e le acque che sono sotto il firmamento e le acque che sono sopra il firmamento. E così fu. E Dio chiamò Cielo il firmamento." << Genesi 1:1-2, 6-8 >>.

Breve storia sulla M.O.

La storia moderna della M.O. inizia quando Jan Oort, astronomo Olandese, nel 1932 osserva delle stelle troppo veloci all'interno della nostra galassia. Con tale velocità, la massa luminosa della galassia non è sufficiente ad obbligare tali stelle ad orbitargli intorno. Già un anno dopo nel 1933 Fritz Zwicky, osserva la stessa cosa per un sistema dimensionalmente più grande. Analizzando un ammasso di galassie, nota che le sue componenti, le galassie stesse, sono troppo veloci per poter permettere una stabilità dell'ammasso. Pertanto dall'osservazione della luce, manca della massa per poter stabilizzare questi moti. Ma per poter affrontare il problema è ancora presto e non gli verrà dato troppa importanza. Abbiamo un risveglio nel 1951, quando una scienziata americana Vera Rubin, riesegue le stesse osservazioni di Oort nella galassia: le velocità delle stelle non seguono le leggi di Keplero, sono troppo veloci. Ma la scienziata va ben oltre l'osservazione, ipotizza. Propone che nella galassia vi sia della materia invisibile. Ma immancabilmente non le fu dato alcun peso, anzi come accade per le miglior teorie, venne derisa. Non le venne dato credito fino a dopo gli anni 1970 quando ripresentò misurazioni più accurate ma



identiche nella sostanza. Questo periodo si presenterà più maturo, altre osservazioni portavano alla stessa conclusione e pertanto la comunità scientifica questa volta accettò in pieno la sua tesi. Da ora in poi si affronterà il problema da un altro punto di vista, dalle osservazioni non mancherà più la massa, ma si accetta che sia presente, l'unica cosa che manca pertanto non è la massa, ma la sua luce, da cui il termine di M.O..

Le prove della M.O.

La M.O., non si osserva direttamente, quindi si deve indurre dall'analisi degli effetti sulla materia visibile. Ad oggi vi sono diverse prove che portano a sostenere la sua presenza nell'universo. Io ho provato a darne una classificazione. Possiamo rilevare la presenza della M.O. analizzando gli effetti indiretti basandosi su:

1. Effetti gravitazionali → dall'analisi dei moti dei corpi (Velocità)
2. Effetti gravitazionali → dalla Relatività Generale di Einstein
3. Teorie evoluzione Cosmo e Big Bang

Approfittando dell'analisi di tali effetti esploreremo la M.O. nei suoi vari aspetti.

1. Analisi delle velocità

Il primo punto della classificazione delle prove sulla M.O. è il più semplice: si induce la massa analizzando banalmente la velocità dei corpi celesti. Per capire il principio di tale analisi, partiamo dal nostro sistema solare. Il sistema solare è composto da una stella centrale e da un'insieme di pianeti che gli orbitano intorno. Se prendiamo in considerazione la massa, la maggior parte è concentrata nel sole. Anche se sommiamo tutte le masse dei pianeti non raggiungeremo neanche 1/700 della massa totale, pertanto abbiamo una massa del sistema centralizzato. In tali condizioni se verifichiamo il moto di rivoluzione dei pianeti intorno al sole possiamo constatare che partendo dal più vicino, Mercurio, al più lontano, Plutone, la velocità di propagazione decresce con una legge ben definita. Vedi fig. 3 La posizione dei pianeti nel cielo fu seguita per vari decenni dall'astronomo Tycho Brahe alla fine del 1500. Dato che in quel periodo non era conosciuta la forza gravitazionale, perché ipotizzata più tardi da



Newton, Keplero basandosi su questi dati cercò di scoprire delle regole geometriche che potessero svelare il moto dei corpi.

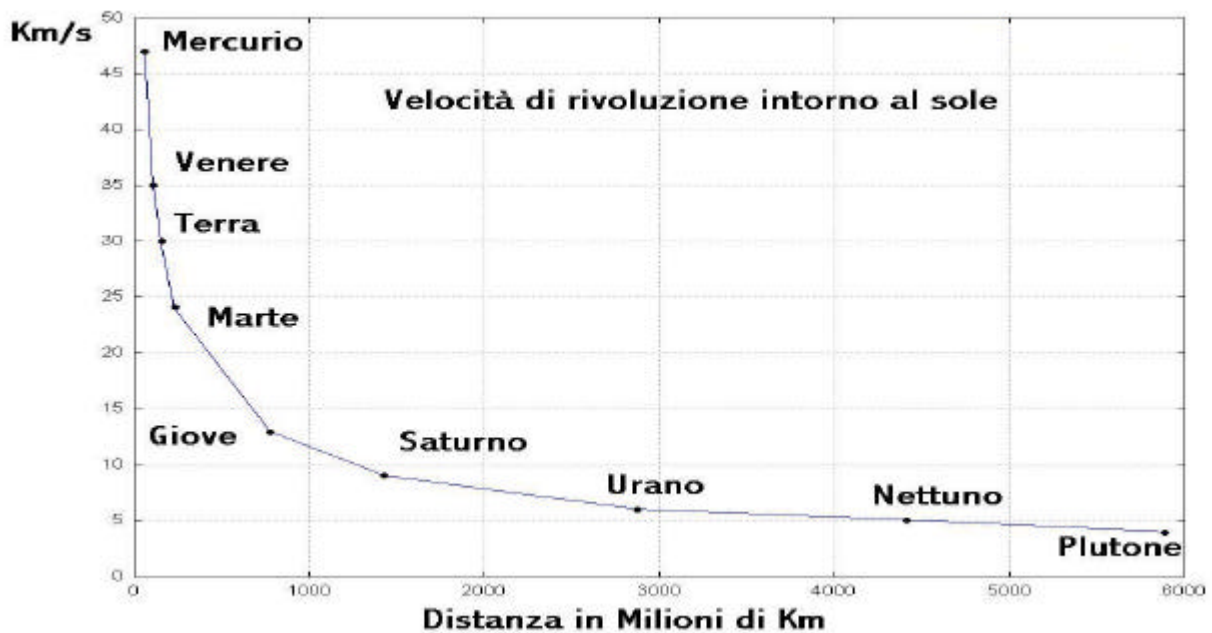


FIG 3.

Il lavoro di Keplero andò a buon fine, tanto che identificò 3 relazioni geometriche conosciute come le 3 leggi di Keplero. Queste leggi, per conferma poi, si possono ricavare anche dalla teoria della gravitazione universale di Newton, e pertanto sono valide. Da queste leggi possiamo ricavare le relazioni della velocità dei corpi celesti:

$$V_p = \sqrt{(G M_{\odot} / d)} \quad \text{Dove:}$$

| | | | |
|-------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| V_p | Velocità del pianeta in | Km/s | |
| G | Costante gravitazionale | $\text{km}^3 / (\text{kg s}^2)$ | $(6,673 \cdot 10^{-20})$ |
| M_{\odot} | Massa del Sole in | Kg | $(1,989 \cdot 10^{30})$ |
| d | Distanza dal sole in | Km | |

Nella formula si osservano ben poche variabili. Essendo G una costante, per possedere un'orbita stabile, la velocità di rivoluzione del pianeta intorno al sole, dipende dalla massa del sole e dalla distanza. Dalla formula possiamo notare che manca la massa del pianeta. Pertanto un qualsiasi corpo celeste di qualsiasi massa che sia una particella, un asteroide, una cometa, una luna, un pianeta leggero, un pianeta pesante, etc, ad una determinata distanza media dal sole non potrà che avere una sola velocità media di rivoluzione attorno al sole. Dal nostro punto di vista, della M.O., ci interessa, più che ricavare la velocità dei pianeti, la massa del sole. Ribaltando la formula abbiamo:



$$M_{\odot} = V_p^2 d / G$$

In questo modo, possiamo calcolare la massa del sole semplicemente osservando la velocità di un pianeta e la sua distanza dall'astro. Per evidenziare la validità del sistema, la massa del sole dedotta per ciascun pianeta, coincide per un valore simile con una precisione di 1 ppm (parte per milione). Ma tale precisione non potrà comunque essere raggiunta per colpa di un altro parametro, G , la costante gravitazionale. Ad oggi è fra le costanti della natura meno conosciute, una precisione di 128 ppm. Questa imprecisione è giustificata dal fatto che la forza gravitazionale è la forza più debole presente in natura e pertanto difficile da misurare. In ogni modo tale imprecisione per noi è più che sufficiente per fare un quadro delle masse dell'universo. Abbiamo pertanto, un metodo per misurare la massa di un sistema, allorquando la massa è concentrata come nel sistema solare. Jan Oort nel 1932, e Vera Rubin nel 1951 esportarono il modello di analisi per dimensioni più grandi, lo applicarono alle stelle della galassia. Non tutte le galassie però si prestano a tale modello, perché occorre avere una massa che sia apparentemente concentrata al suo centro come nel sistema solare. Le galassie a spirale, soddisfano tali caratteristiche (vedi fig. 4), si presentano all'osservazione come un maxi sistema solare.



FIG 4.

Queste sono composte da un nucleo centrale, dove dal punto di vista luminoso, è supposta la maggior parte della massa, e da un'insieme di stelle disposte a bracci a spirale su di un disco posto sul piano orbitale intorno al nucleo. In questo disco benché vi sia una miriade di stelle, la



loro somma, dal punto di vista luminoso, può essere considerato insignificante rispetto al centro galattico. Vera Rubin ricavò un diagramma delle velocità delle stelle in funzione della distanza dal centro galattico. Se il modello della galassia a spirale era come dedotto dalla sua osservazione luminosa, si sarebbe ottenuto una risposta come nel sistema solare e pertanto una curva di risposta che segua la legge di Keplero. Ma invece ricavò un altro grafico, un esempio è presente, in Fig 5. Quello che si aspettava è rappresentato dalla riga continua, la velocità a partire dal centro per la prima parte aumenta. In tale zona non si potrà applicare le leggi di Keplero perché la distribuzione della massa nel nucleo è diffusa e non concentrata.

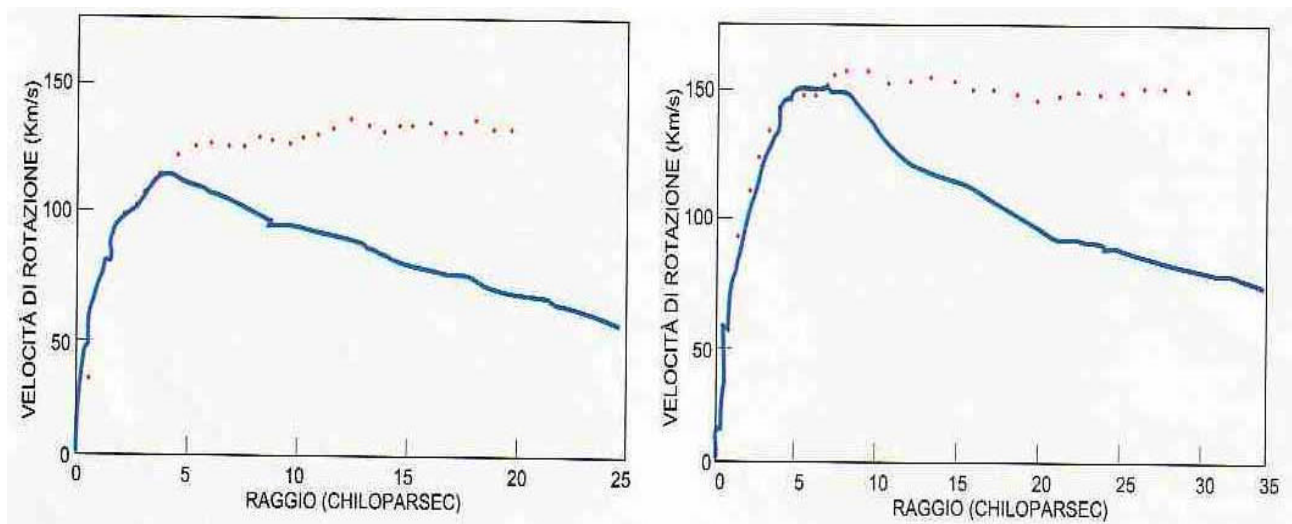


FIG 5.

Ma superato il confine del nucleo ci dovremmo aspettare, delle velocità orbitali, come per il sistema solare, ovvero in decrescita come impongono le leggi di Keplero. Ma Vera Rubin osservò qualcosa di diverso, rappresentato nella figura dalla linea tratteggiata: la velocità superato il nucleo centrale, invece di diminuire, rimane costante. Se proviamo a ricavare la massa della galassia, applicando le formule di Keplero, non avremo più l'accordo che si trovava per il sistema solare, ma un valore diverso per ciascuna stella a distanze diverse. Ciò dimostra che il modello della galassia a spirale, indotto dalla osservazione della sua luce, in realtà è sbagliato. Non si poteva più considerare che la massa fosse concentrata al centro, ma doveva essere distribuita in altro modo. Questa osservazione servì a Rubin per dimostrare che nella galassia vi è della massa che è preclusa all'osservazione, e pertanto è oscura, invisibile. Siamo di fronte



alla prima dimostrazione della presenza della M.O.. Ma allora come è distribuita la massa della galassia a spirale? Il modello più accreditato, per giustificare l'osservazione della velocità costante, è che la massa sia diffusa come un alone sferico in tutto lo spazio. La densità di massa, massima al centro, deve diminuire con legge proporzionale alla sua distanza dal nucleo. Ma mentre la densità cala linearmente alla distanza, non è così per il suo volume che aumenta alla terza potenza. Ciò induce che la maggior parte della massa non è concentrata nel centro della galassia, ma è fuori. Queste analisi hanno portato a ritenere che in realtà in queste galassie ci è oscuro da 5 a 10 volte la loro massa. Prima ritenevamo il diametro di una galassia rispondente alle ultime stelle, ma in realtà, comprendendo anche la parte oscura, si può arrivare a oltre 10 volte la dimensione luminosa. Possiamo osservare la costanza delle velocità di rivoluzione intorno alla galassia ben oltre l'ultima stella visibile. Osservando tramite la radiazione della riga a 21 cm, il moto differenziale del gas primordiale, l'idrogeno, presente ancora nella galassia, si è confermato il modello della M.O. fino a quasi 3-4 volte il suo diametro. Basandoci sull'analisi delle velocità, possiamo confermare questo quadro della situazione, per distanze anche maggiori a quelle della galassia. Se analizziamo gli oggetti appartenenti alla galassia, ma più distanti, come gli ammassi globulari e nubi molecolari, si riconferma che la velocità di orbita intorno al nucleo centrale è troppo alta, e si inducono ancora valori di massa di circa 10 volte rispetto alla massa luminosa. Se andiamo alla ricerca di sistemi a distanze più elevate come galassie binarie, lo scenario non cambia. Per esempio la nostra galassia, la Via Lattea, ha due galassie che gli orbitano intorno, la piccola e la grande nube di Magellano, distante 170.000 anni luce. Allargando ancora la dimensione di indagine si possono osservare gli ammassi di galassie. Come l'ammasso della chioma di Berenice osservata nel 1933 da Fritz Zwicky. Ma questo caso si presenta molto diverso dai precedenti, poiché abbiamo a che fare con un sistema dove la massa non è concentrata ma distribuita fra i vari componenti. Pertanto non si potranno osservare orbite dei sistemi corrispondenti alle leggi di Keplero. In questi casi usiamo il teorema del Viriale, un metodo statistico che mette in relazione l'energia cinetica, e la velocità delle galassie, con la massa globale del sistema. Abbiamo il solito tiro alla fune, un equilibrio tra la forza gravitazionale e l'energia cinetica. La forza



gravitazionale tende ad aggregare la materia, e quindi a rendere il diametro del sistema più piccolo, e la velocità delle galassie che tende ad espandere l'ammasso. Si calcola che per l'ammasso di Berenice, la massa del sistema sia pari a 400 volte la massa luminosa. Ma questo non è altro che un picco, in media si riscontrano valori pari tra 100-180 volte la massa luminosa. Se vogliamo ancora allargare la dimensione d'indagine, tale rapporto diviene ancora più alto. Applicando una tecnica di Viriale cosmico su superammassi si evince che il rapporto di massa passi a 700 volte la massa luminosa. Abbiamo visto come osservando pochi parametri, distanza e velocità di rotazione, si possa provare la presenza della M.O..

2. Effetti relativistici

Il secondo punto, della classificazione delle prove sulla M.O., è leggermente più complicato, si basa sull'analisi degli effetti della teoria della relatività generale. Nel 1916 Einstein introdusse una novità per quanto riguardava la forza di gravità: una massa poteva piegare lo spazio. Per poter evidenziare tale curvatura usiamo paragonare lo spazio come un immenso telo e la massa come un peso poggiatovi sopra, come in Fig 6.

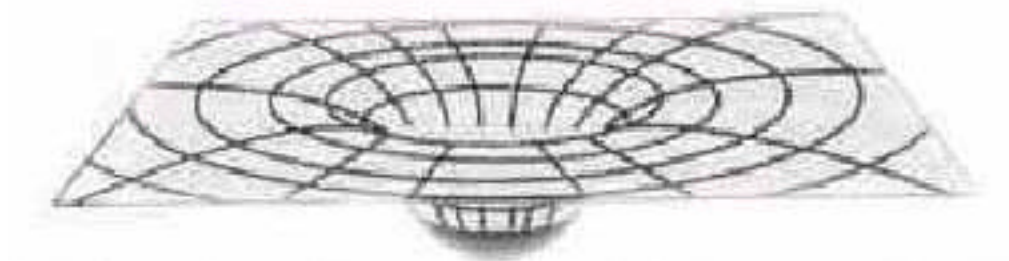


FIG 6

Il peso affondando nel telo, curva la sua superficie, e sia la luce che la materia stessa sono obbligati a seguire le sue pieghe. Nel 1980 due scienziati, Spillar e Loh, hanno tentato di misurare questa curvatura, per l'intero universo. La misurazione è stata contestata ed è in contrasto con l'esperimento Boomerang. Comunque può servire per capire gli effetti relativistici. Conoscendo il raggio di curvatura dell'universo possiamo risalire alla sua massa, e evidenziarne una oscura se non torna con i calcoli dal punto di vista luminoso. Per capire il metodo di analisi possiamo effettuare un ragionamento geometrico per la nostra terra. La nostra terra benché sia sferica, alla nostra dimensione non ce ne accorgiamo. Se disegniamo sul pavimento un triangolo, osserveremo che questo è regolato



da una geometria euclidea, e non noteremo niente di strano, la somma degli angoli interni è di 180° . Ma via a via che disegniamo un triangolo sempre più grande, Fig. 7, a tal punto da arrivare a disegnarlo con base sull'equatore e per i lati i meridiani terrestri, la somma degli angoli può arrivare, quando ogni lato è un semicerchio, al limite di 360° .

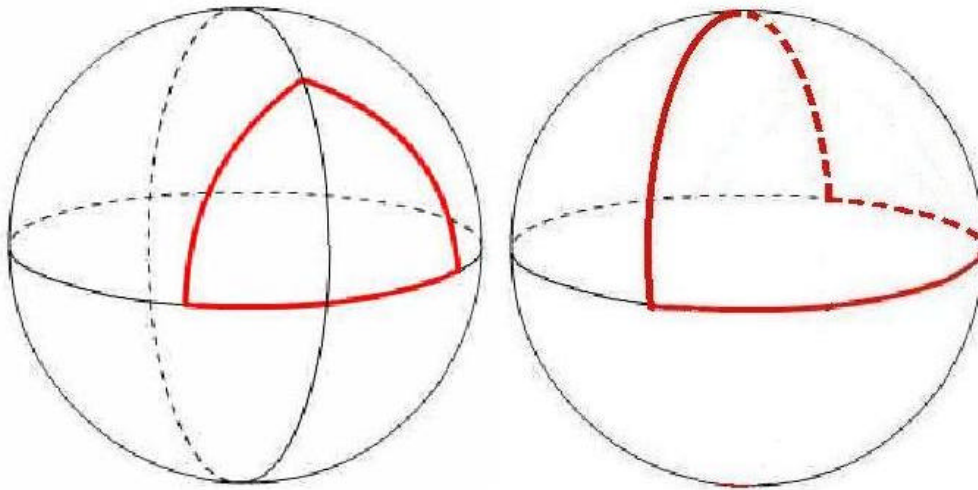


FIG 7.

A questo limite si può rilevare una figura non esistente nella geometria euclidea, un biangolo, ovvero con due soli lati. Queste deformazioni si osservano su di una superficie sferica; Spillar e Loh, analogamente all'esempio del triangolo, hanno evidenziato che il volume varia a seconda della dimensione. Analogamente all'esempio del triangolo sul pavimento, se analizziamo il volume circostante a noi osserveremo nessuna distorsione, e pertanto la geometria coinciderà con quella Euclidea. Ma se analizziamo via a via distanze più elevate, la curvatura dovrebbe farsi sentire, a tal punto che il volume risultante è inferiore se paragonato con una geometria normale, omogenea, senza deformazioni come quella euclidea. Se le galassie sono distribuite in modo omogeneo nell'universo, dovremmo osservare una diversa quantità di galassie all'aumentare della profondità di osservazione. Quindi se ricaviamo un rapporto Galassie/Distanza rileveremmo valori diversi a seconda della distanza da noi, per effetto della curvatura dell'universo. Il risultato è che hanno calcolato una curvatura causata da una massa pari da 2800 a 3500 volte la



massa luminosa. Varie contestazioni hanno portato tale rapporto a circa 10-20 volte.

Lenti gravitazionali

Vi sono altri fenomeni relativistici, più accreditati, che possiamo osservare come curvature dello spazio: le lenti gravitazionali. Vedasi la Fig. 8



FIG 8.

Si presentano solo in particolari condizioni, cioè si devono osservare dei macrosistemi molto distanti svariati miliardi di anni luce. Se frapposto fra un corpo celeste molto intenso, come i quasar, e l'osservatore, è presente una massa molto elevata, come una galassia massiccia o un ammasso di galassie, la curvatura dello spazio può provocare la deviazione della luce in modo tale da formare più percorsi che portano all'osservatore (noi). L'effetto globale è che rileviamo più immagini dello stesso oggetto nella volta celeste. Da queste osservazioni possiamo ricavare un'altra prova della presenza che c'è M.O. nell'universo. Valutando l'angolo della lente costruita fra più immagini, applicando le formule di Einstein, ricaviamo la massa del sistema che l'ha provocato. Questo valore rapportato con la valutazione della massa luminosa ha evidenziato che la M.O. sia tra le 20 e 200 volte.

Microlensing

Recentemente è stato introdotto un nuovo sistema di analisi basato sempre sulla curvatura dello spazio. Se analizziamo microsistemi come stelle poste su galassie vicine, si possono evidenziare sempre fenomeni ascrivibili a lenti gravitazionali, chiamate anche microlenti (microlensing). Se frapposti fra noi ed una di queste stelle, passano dei corpi celesti anche piccoli ma



non visibili, invece di oscurare l'immagine, incrementano la sua luce. Il fenomeno è praticamente una lente gravitazionale, solo che le varie immagini sdoppiate non sono rilevabili, perché troppo vicine. A tali distanze i nostri telescopi non sono in grado di separarle, occorrerebbero telescopi più potenti. Ne consegue che non potendo osservare più immagini separate, le vedremo tutte assieme, provocando un incremento di luminosità. Valutando il gradiente di salita e di discesa della luce della stella, durante l'occultazione, possiamo ricavare la massa e altri parametri del corpo celeste che lo ha provocato. Questo metodo, per quanto riguarda la presenza nelle galassie, ha aperto un nuovo filone di indagine della M.O.. Nella galassia è prevedibile la presenza di svariati corpi celesti costituiti da materia tradizionale e quindi da materia barionica, che emettono una debole luce come: buchi neri, nane brune, nane rosse, nane nere, pianeti etc.. Ad oggi, per limiti di sensibilità dei nostri strumenti, non potendoli osservare, fanno parte della M.O.. Questi oggetti sono stati raggruppati nel nome di MACHOs. Acronimo di Massive Astrophysical Compact Halo Object. (Corpi massicci e compatti dell'alone). Si ritiene che i Machos non possono essere di M.O. esotica, perché non vi è nessun modello teorico che preveda l'addensamento delle sue particelle in corpi massicci. Pertanto i MACHOs sono composti da materia barionica. I Machos dovrebbero vagare nella galassia come le altre stelle e se per combinazione si trovano davanti a una stella posta in una galassia vicina, fin tanto che mantengono le condizioni di occultamento, osserviamo una scintillazione (incremento della luce), per un periodo che può arrivare al massimo di un mese. La prima scintillazione, di tale fenomeno, è stata rilevata nel 1993 osservando la luce di una stella interna alla galassia, a noi vicina, della grande nube di Magellano. Se riusciamo ad osservare un elevato numero di Machos, possiamo avere a disposizione un campione statistico sufficiente a determinare la percentuale di M.O. di tipo barionica presente nella galassia. Conoscendo il valore della massa barionica nella galassia, possiamo a sua volta determinare il quantitativo di massa oscura esotica ed estrapolarla poi per l'intero universo. Inoltre, le osservazioni delle microlenti, evidenziando massa e dimensione dei Machos, possono permettere di verificare le teorie dell'evoluzione delle galassie. L'osservazione del fenomeno risulta ad oggi molto raro, si sono analizzate poche scintillazioni, e pertanto abbiamo un campione statistico troppo



limitato. Nell'immediato futuro dovremmo assistere ad un incremento di queste osservazioni, grazie anche all'affinamento di tecniche nuove, volte ad osservare più stelle contemporaneamente. Tenendo costantemente sott'occhio più stelle si dovrebbe aumentare la probabilità dell'osservazione dei Machos. Non resta che aspettare.

3. Le prove dal Big Bang

Il terzo punto della classificazione delle prove sulla M.O. è il più complicato: si possono indurre prove della presenza della M.O. dall'analisi delle teorie dell'evoluzione del Big Bang. Questa terza categoria di prove, rientra in un contesto sempre più speculativo, dato che via via che si affrontano i vari livelli diviene sempre più complicato poter dimostrare le teorie che la compongono. Il tutto nasce nel 1929, quando Hubble scopre l'espansione dell'universo, confermando così una teoria di un insegnante di matematica, l'abate belga Georges Lemaitre. Procedendo sempre più indietro nel tempo, Lemaitre, lo propose come dimostrazione di una sua teoria dell'atomo primordiale del 1927, affermando che l'universo fosse stato creato in un grande botto, il Big Bang. Lemaitre si poté dire soddisfatto dato che aveva in un sol colpo unito un successo sia scientifico che teologico. Lo scenario del big bang è in accordo con la descrizione della creazione di Dio. Per qualche motivo lo spazio dell'universo ha cominciato ad espandersi, e da allora ancora non si è mai fermato. Procedendo indietro nel tempo si analizzano le condizioni iniziali, con densità e energia dell'universo sempre più elevate. Nei primi istanti non vi sono le strutture dell'universo, che noi oggi osserviamo, la materia non la troviamo più organizzata, ma tendenzialmente, più siamo vicini all'istante del Big Bang e più analizzano stati più semplici della materia, le particelle elementari. Aumentando la densità e l'energia, attraversando un'analisi delle 4 forze e della loro unificazione, le varie particelle rendono visibile la loro struttura interna e possibili stabilità di particelle sempre più piccole ed energetiche. Nei vari istanti possiamo assistere alla nascita di vari fondi universali, costituiti da particelle stabili e non. Quelle instabili, sono decadute in particelle più leggere, o come i quark, si sono fuse per formare insieme di particelle più stabili come i barioni. I residui di questi fondi universali costituirebbero l'atmosfera cosmologica, che fa parte della



M.O., contribuendo alla massa globale dell'universo. Dovremmo rilevare che sommando ciascun contributo si arrivi ad ottenere un $\Omega = 1$. Analizzando tali particelle si è arrivati a classificare la M.O. in fredda e calda. Si evidenzia la loro velocità, in analogia alla temperatura, che in fin dei conti non è altro che una misura dell'energia cinetica delle particelle. Per M.O. fredda intendiamo quei fondi universali costituiti da particelle molto lente, viceversa per M.O. calda intendiamo quei fondi universali costituiti da particelle molto veloci fino a quella della luce.

Radiazione di fondo cosmologico

Procedendo a ritroso nel tempo, la radiazione di fondo cosmologico, è il primo fondo universale che troviamo. In realtà, estrapolando, si ritrovano prima altri fondi universali strutturati, come atomi, le molecole, i corpi celesti, le stelle, le galassie, gli ammassi etc. etc. Tutti i livelli organizzati possono costituire un livello d'insieme di fondo universale. Questi altri livelli li abbiamo già scrutati e ci siamo avvalsi della forza gravitazionale per individuarli. Per quanto riguarda questa prova, pur essendo la forza elettromagnetica a governare le caratteristiche del fondo di radiazione, continueremo ad avvalerci ancora della forza gravitazionale, ma successivamente avvicinandosi all'istante del big bang dovremo analizzare le altre forze della natura. La radiazione cosmologica è costituita da un fondo di fotoni che fino a circa 300.000 anni dal Big Bang, per la densità ed energia, e quindi della temperatura, era in equilibrio termico con la materia. In quelle condizioni gli atomi non potevano essere stabili, gli elettroni a quelle temperature possedevano un'energia troppo elevata per poter orbitare intorno ai nuclei. Tutti i nuclei dell'universo erano pertanto ionizzati, e costituivano uno stato della materia definito plasma. I fotoni non riuscivano a propagarsi senza essere continuamente assorbiti, e ridiffusi. Per fare un esempio, l'interno del sole può essere paragonato all'universo di allora, la materia si presenta al suo interno allo stato di plasma, e i fotoni emessi dalla fusione nucleare prima di arrivare alla sua superficie impiegano centinaia di migliaia di anni. Dopo che l'universo si è espanso e la densità e la temperatura si abbassarono, l'energia cinetica dell'elettrone non era più sufficiente a contrastare l'attrazione del nucleo e pertanto cominciò ad orbitargli intorno. Proprio per questa unione fra



nucleo e elettrone tale periodo è soprannominato il periodo della ricombinazione. Gli atomi non erano più ionizzati, lo stato di plasma non governava più l'universo e i fotoni poterono propagarsi indisturbati. In questo istante abbiamo la nascita del fondo universale dei fotoni, ma contemporaneamente anche quella degli atomi. L'universo da allora, per circa una decina di miliardi di anni, si è espanso ancora, e la radiazione, avendo avuto una minima interazione con la materia, non ha subito modifiche, viene quindi considerata una radiazione fossile. Osservandola è come se osservassimo un fotogramma dell'epoca della ricombinazione e quindi a circa 300.000 anni dal Big Bang. Questo scenario fu ipotizzato da Alpher, Gamow e Robert Herman nel 1948, e quando il fondo di radiazione fu scoperto, da Penzias e Wilson nel 1965, divenne uno dei pilastri della dimostrazione della teoria del Big Bang. Non si può parlare però del fondo di radiazione cosmologica come di M.O. calda (i fotoni si propagano alla velocità della luce), perché i fotoni si possono rilevare. Comunque non sarebbero rilevanti perché il loro contributo alla massa nell'universo è pari a 0,005% di Ω (5 ppm). Quello che vogliamo analizzare, invece, è la loro distribuzione, la disomogeneità. Nel 1992 il satellite COBE ha verificato che tali disomogeneità sono dell'ordine di 1/100.000, in qualche modo abbiamo una valutazione di come ci si dovrebbe aspettare le disomogeneità per quanto riguarda la materia. Essendo la radiazione nei primi istanti in equilibrio termico, è come se noi avessimo analizzato la distribuzione della materia al momento della ricombinazione ovvero a 300.000 anni dal Big Bang. Dalla teoria dell'evoluzione delle strutture dell'universo risulta che queste disomogeneità hanno funzionato da germi di accrescimento, da cui si sarebbero formate le stelle, le galassie, gli ammassi e così via. Se l'universo fosse completamente omogeneo, non esistendo fra i vari punti del cosmo nessun differenziale gravitazionale, non si sarebbe formato alcuna struttura. Se invece abbiamo anche una seppur minima disomogeneità, questa ha permesso l'aggregazione della materia. E' evidente che più sono elevate le disomogeneità presenti nel periodo della ricombinazione, più è veloce l'aggregazione.

In realtà i parametri da tenere in considerazione sono 3:

1. La velocità di espansione
2. La densità di massa dell'universo



3. La disomogeneità della materia

La densità della massa e la disomogeneità contribuiscono alla quantificazione della forza locale gravitazionale di aggregazione e quindi alla velocità di costruzione delle strutture. Nell'evoluzione, abbiamo pertanto il solito tiro alla fune, la forza gravitazionale che tende a raggruppare la materia e l'espansione che tende ad allontanarla, e quindi a rallentare la formazione di strutture nell'universo. Grosso modo conosciamo 2 parametri su 3: la forza di espansione è quella scoperta da Hubble, e la disomogeneità è evidenziata dall'analisi sulla radiazione di fondo cosmologico, da Boomerang. Quello che manca è una valutazione della densità della massa dell'universo. Se ipotizziamo la massa dell'universo quella equivalente dal punto di vista luminoso, dalle simulazioni al computer abbiamo che 15 miliardi di anni non sarebbero sufficienti a creare la strutturazione a più livelli che noi oggi osserviamo. Pertanto nell'universo vi deve essere più massa rispetto a quella valutata dal punto di vista luminoso. Questa diviene una prova indiretta della M.O. nell'universo, e da questo tipo di analisi trova giustificazione che la massa nell'universo debba essere almeno 10 volte maggiore di quella luminosa.

Rapporto barioni/fotoni

Un altro pilastro di dimostrazione del Big Bang fu la definizione della teoria della nucleosintesi di Gamow. Tale teoria spiega la presenza e le quantità degli elementi nell'universo. Nel periodo della nucleosintesi abbiamo che la forza della natura che entra in scena è quella che determina le reazioni nucleari: la forza debole. Da questa analisi poi scaturì anche la teorizzazione della radiazione di fondo effettivamente osservata successivamente. L'atomo primordiale di Lemaitrè sintetizza i nuclei dei primi elementi chimici. Gamow, insieme ad un suo studente, Ralph Alpher, calcola l'entità di questa nucleosintesi primordiale. Con ironia, per rendere l'evento solenne, chiama il fisico nucleare Hanse Bethe a firmare l'articolo. Il 10 Aprile 1948 esce su Physical Review una sorta di ABC delle origini. Firmato con le prime lettere dell'alfabeto Alpher, Bethe, Gamow. Dal primo secondo, del big bang, al 3° minuto le particelle barioniche si trasformano e uniscono a formare i nuclei dei vari elementi



nell'universo. Abbiamo così la formazione di vari fondi universali, come in una sorta di atmosfera di particelle barioniche, organizzate in nuclei atomici. Le condizioni iniziali al primo secondo sono tali che il numero dei protoni è equivalente al numero degli elettroni, e pertanto l'universo dal punto di vista elettrico si presenta neutro. In realtà gli elettroni, per mantenere la neutralità dell'universo, dovranno essere un poco di più, perché sono presenti anche dei positroni, antiparticella dell'elettrone. Inoltre il numero dei neutroni è equivalente a quello dei protoni. Vedere Fig. 9.

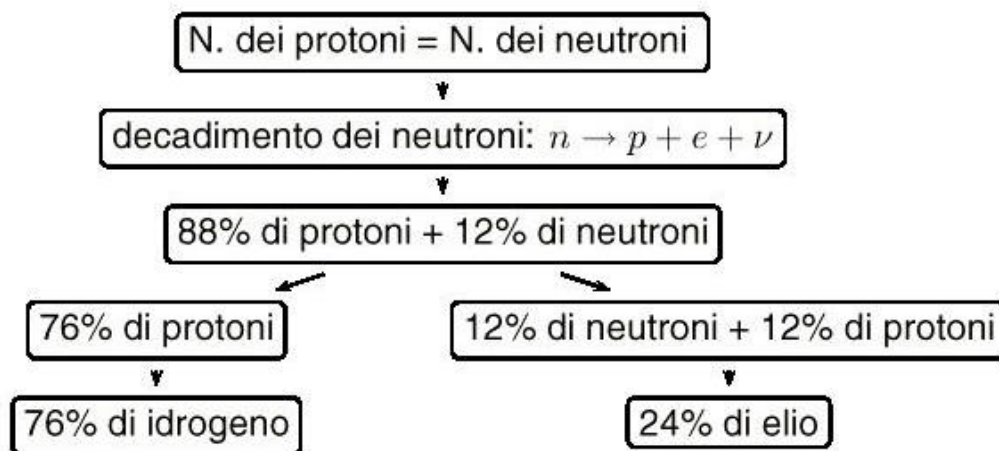
| Composizione dell'universo all'età di 1 secondo. | |
|--|--|
| N. dei protoni + N. dei positroni = N. degli elettroni | |
| N. dei protoni = N. dei neutroni | |
| $\frac{\text{N. dei fotoni}}{\text{N. dei protoni} + \text{N. dei neutroni}} = 10^9$ | |
| N. dei neutrini = N. dei fotoni | |

FIG 9.

Ma i neutroni, in natura se non legati, dopo 11' decadono in altre particelle. Pertanto dal 1 secondo al 3° minuto abbiamo che la quantità dei protoni aumenta a discapito dei neutroni, e considerando che le temperature in quel periodo sono maggiori di 1 Miliardo di gradi sono favorite reazioni nucleari di fusione fra più protoni per formare i nuclei degli elementi più pesanti. Maggiore sarà la densità di radiazione e maggiore sarà la probabilità e quindi la velocità di reazioni nucleari di fusione dei nuclei atomici. Pertanto le quantità dei vari nuclei degli elementi dipendono dalla densità, sia dei protoni che dei fotoni. Per rappresentare questo quadro si usa un rapporto, il rapporto fra i barioni e i fotoni. Ad oggi tale rapporto è ritenuto essere intorno 1 barione per 10^9 fotoni. Nella Fig 10 abbiamo il ciclo della nucleosintesi di base che spiega la formazione di elio



nell'universo, mentre nella figura 11, abbiamo le abbondanze relative degli elementi nell'universo. Analizzando tali teorie si è evidenziato che se tale rapporto variasse di 10 volte, da 1 a 10 barioni per 10^9 fotoni, si dovrebbe osservare una variazione di percentuale nell'universo dei vari elementi e isotopi. Prendendo un isotopo dell'idrogeno, il deuterio, rileviamo una variazione di 4 ordini di grandezza, e pertanto di 10000 volte. Se oggi misuriamo il fondo di deuterio nell'universo, anche se non con grande precisione, siamo in grado di dare un peso ai barioni.



Abbondanze percentuali della massa totale di idrogeno e dell'elio.

FIG 10.

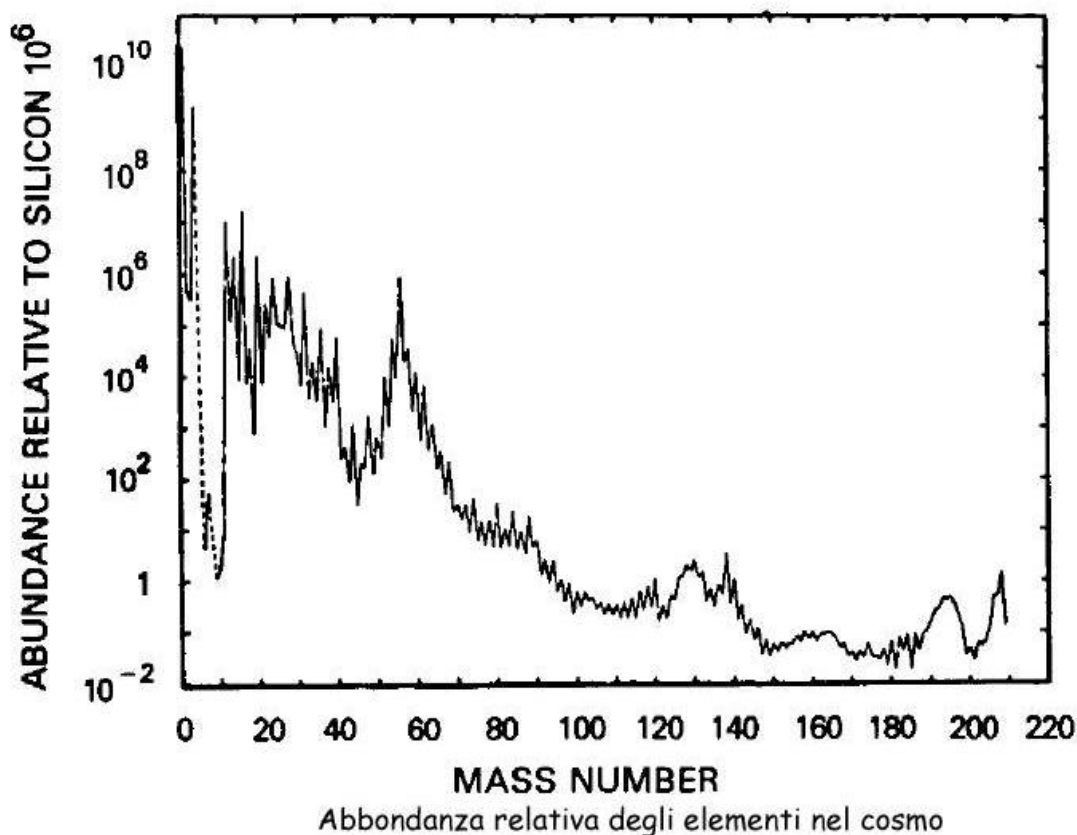


FIG 11.

Grazie all'affinamento di tali teorie siamo in grado oggi di indurre che la massa della materia barionica nell'universo sia 1000 volte quella dei fotoni. Essendo conosciuta la quantità dei fotoni presenti nell'universo, perché equivalenti alla radiazione di fondo cosmologica, induciamo, dalla conoscenza del rapporto fra barioni e fotoni, la materia barionica. La materia barionica si è rilevata essere in grado di soddisfare Ω per un 5%. Una quantità di massa superiore a 10 volte quella valutata dal punto di vista luminoso. Pertanto possiamo fare diverse considerazioni: non solo questa prova induce la quantità totale di M.O. barionica nell'universo, ma determina anche la prova che il resto del 95% della massa dell'universo deve per forza essere formata da qualche altra forma di materia, come per esempio quella esotica. La M.O. barionica scaturita dalla nucleosintesi in forma di nuclei atomici, possedendo una velocità molto bassa, può essere considerata appartenente alla categoria di M.O. fredda. Essendo la materia barionica tendente all'aggregazione, dal periodo della sua formazione si è evoluta in strutture complesse nell'universo. Pertanto, quella che osserviamo oggi non può essere utilizzata qualitativamente, come per i



fotoni, come una immagine dei primi istanti dell'universo, ma valutata quantitativamente solo come massa globale.

Fondo di neutrini

Il fondo di neutrini ha subito una storia analoga al fondo di fotoni, solo che è nato prima. All'origine dell'universo, a temperature e densità molto elevate, anche il neutrino era in equilibrio termico con la materia, poi successivamente con l'espandersi dell'universo, ha cominciato a propagarsi indisturbato senza interagire con le altre particelle. Ad oggi è ritenuta fra le particelle con la minore interazione con la materia tradizionale barionica. La forza della natura che regola le sue interazioni è la forza debole. Nel periodo della nucleosintesi si è incrementata la sua presenza grazie al decadimento del neutrone e come prodotto di scarto alle reazioni nucleari di fusione. Questo accumulo è proseguito sino ad oggi, in misura inferiore, all'interno delle stelle. Data la quasi non interazione con la materia, in analogia a come si è osservato per la radiazione di fondo cosmologico, nel periodo della ricombinazione, se nell'universo avessimo modo di poter osservare la sua presenza, analizzando la sua distribuzione e quindi le disomogeneità, potremmo sapere come la materia si presentava nei primi minuti, una sorta di immagine fossile. Il neutrino data la sua velocità, vicino a quella della luce, è considerata facente parte della M.O. calda. Fin dal passato è stato ritenuto il candidato più probabile, perché a differenza degli altri candidati, ne era stata dedotta la sua presenza negli acceleratori di particelle. In passato si pensava che il neutrino non avesse massa, ma poi grazie ad un Italiano, Pontecorvo, si suppose che la particella, mentre si propaga nello spazio, possa oscillare fra le sue varianti presenti in natura: neutrino elettronico, muonico, tauonico. Pontecorvo affermò, che il neutrino per poter oscillare nelle sue 3 versioni, implicava di possedere una massa. Osservazioni successive sui neutrini solari, hanno dimostrato, che effettivamente vi è qualcosa che non torna sul loro numero. Mancano all'appello circa il 30 % dei neutrini, noto come il problema dei neutrini solari. Essendo il sole fonte di reazioni di fusione nucleare si ha un'enorme emissione di neutrini, che avendo una bassissima interazione con la



materia possono attraversare il sole indisturbati e giungere a noi in pochi minuti. Lungo il tragitto si trasformerebbero da uno all'altro tipo, dato che i rilevatori terrestri sono in grado di rilevarne un solo tipo, ne rileverebbero un numero inferiore. I neutrini sono debolmente interagenti, se ne osservano pochi nei vari laboratori sparsi nel mondo, e pertanto è giustificato che nel tempo la valutazione della massa sia stata rivista più volte. Una prima valutazione aveva portato all'ipotesi che fosse sufficiente a determinare la massa oscura dell'universo, ma la stima si è poi abbassata. Oggi possiamo affermare con più certezza che la massa di un neutrino si aggiri intorno ai 2,5 eV pari a $= 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ Kg} = 1/200.000$ dell'elettrone. Con tale massa il neutrino renderebbe ragione solo per uno 0,3 % di Ω . Pertanto il neutrino contribuisce alla M.O., ma per una minima parte.

Teorie Particelle e GTU

Andando ad analizzare periodi sempre più vicini al Big Bang, tempi inferiori al 1 secondo dalla nascita dell'universo, la densità della materia e l'energia sono così elevate che sulla terra ad oggi non riusciamo più a verificare tramite gli acceleratori di particelle cosa possa veramente essere successo. Si entra in un territorio fortemente speculativo, dove probabilmente per molto tempo non saremo in grado di dimostrare nulla. Per poter accedere a queste alte energie si devono costruire degli acceleratori di particelle così enormi che praticamente non ne vedremo mai la loro realizzazione. Si deve poter trovare dei modi nuovi per analizzare questo livello della materia. L'analisi sulle forze della natura che si esegue per questi periodi, per una visione della natura sempre più semplice, è volta alla ricerca di una loro unificazione. Le forze della natura storicamente conosciute sono 5, se analizziamo tutta la storia della fisica delle particelle non è altro che uno sforzo atto a dimostrare che in realtà abbiamo a che fare con un'unica forza. Si pensa che le varie forze che noi osserviamo distinte non sono altro che vari aspetti di un'unica forza che si manifestano in più modi. La storia delle unificazioni parte con Maxwell, nel 1865, integrando la forza elettrica con quella magnetica. Nasce così la teoria dell'elettromagnetismo; in un sol colpo unificò praticamente tutta la scienza del 1800, fuorché i fenomeni di natura dipendenti dalla forza



gravitazionale. Insieme alla forza elettromagnetica introdusse la nascita delle onde elettromagnetiche e la loro unificazione con la luce, i fotoni. Successivamente nel 1979, dopo anni di ricerca Glashow, Salam e Weinberg, teorizzando la forza elettrodebole furono ricompensati con il premio Nobel per la fisica, per avere integrato la forza elettromagnetica con la forza debole. Questo processo è ancora in corso e si tende a completare l'opera tentando di unificare la forza forte e poi ancora la forza gravitazionale (GUT). Se queste teorie sono valide e se troviamo ragione per evidenziare dei fondi di particelle nell'universo, nate nei periodi in cui le energie intervengono alle varie unificazioni, in un sol colpo abbiamo dimostrato la presenza della M.O. e le teorie di grande unificazione (GTU). Abbiamo quindi l'opportunità di spostare l'analisi dagli acceleratori delle particelle, impossibile ad oggi per quelle energie, all'osservazione dell'universo. Alla nascita, le particelle e le antiparticelle, si devono essere formate in egual misura, ma per una rottura di simmetria della natura devono essere rimaste presenti più particelle di un tipo rispetto ad un altro. Senza questa rottura di simmetria non avremmo avuto l'universo barionico che osserviamo, e la prova è che noi siamo qui. Durante l'era delle GTU a 10^{-35} secondi dopo il big bang, processi fisici devono aver prodotto un'asimmetria fra i protoni e le loro antiparticelle. Se ciò accadesse, gli antiprotoni potrebbero essersi annichiliti scorrettamente con un numero equivalente di protoni lasciando 1 protone ogni 10.000.000.000. Sarebbe dunque rimasto un protone per ogni quantità iniziale di 10 miliardi di protoni nell'universo. Se questo fosse accaduto anche per altre particelle, che sono debolmente interagenti con la materia barionica, dovremmo aspettarci vari fondi universali. La teoria supersimmetrica, SUSY, per poter semplificare la spiegazione della natura delle particelle, ha introdotto delle nuove particelle, praticamente le ha raddoppiate. Il concetto di fondo della SUSY consiste nel postulare una nuova simmetria della natura, detta appunto supersimmetrica, che fa corrispondere ad ogni particella con spin semintero (fermione) un partner supersimmetrico il cui spin è intero (bosone) e viceversa. I superpartner se presentano spin "0" sono indicati ponendo il prefisso "s" al nome della particella. I superpartner se presentano spin "1" sono indicati ponendo il prefisso "ino" al nome della particella. Tali superpartner presentano masse molto elevate. A livello cosmologico, alla ricerca della M.O., vengono inseriti nella famiglia delle



WIMP, acronimo di Weakly Interacting Massive Particles, (Particelle Massive Debolmente Interagenti). Ritroviamo così in questo insieme, particelle come fotini, higgsini, gravitini, neutralini etc. Nelle WIMPs comunque rientrano tutte quelle particelle che non interagiscono con la forza elettromagnetica e quindi debolmente interagenti con la materia barionica. Come gli Assioni, particelle formatesi dalla rottura della simmetria della interazione debole, e grande ricercato come M.O. nell'universo ma mai osservati. L'osservazione di tali fondi nel cosmo ha portato alla nascita di una nuova astronomia; non si costruiscono telescopi per osservare l'universo, ma lo si osserva, come già fatto con i rilevatori del neutrino, costruendo rilevatori sottoterra.

I neutralini

Un nuovo modo di poter osservare la M.O. e la fisica delle particelle è attraverso i neutralini. I neutralini fanno parte di un'insieme di particelle introdotte dalla teoria della supersimmetria. Essendo una particella debolmente interagente con la materia, ha tutte le carte in regola per poter far parte della famiglia delle WIMPs. E' un candidato privilegiato, perché, fra tutte le particelle della teoria supersimmetrica, è quella che pesa meno. Le particelle molto pesanti hanno una maggiore probabilità di essere instabili e decadere in quelle più piccole, e il neutralino essendo la più leggera ne avrebbe beneficiato. Come le altre, si sarebbe formata ai primordi del Big Bang quando l'universo aveva temperature e densità altissime. Essendo una particella con una massa dell'ordine di ≈ 60 masse protoniche non dovrebbe avere velocità molto elevate e pertanto rientra, come del resto tutte le particelle della teoria supersimmetrica, nella categoria della M.O. fredda. Data la bassa velocità, il fondo cosmologico di neutralini, dovrebbe risentire delle attrazioni della forza gravitazionale dei vari corpi celesti, e addirittura, se fosse il maggior componente, determinare esso stesso la dinamica dell'universo. Se i neutralini esistono, dovrebbero orbitare intorno alla galassia come fanno le stelle. Mentre i neutralini ce li aspettiamo come un fondo omogeneo che orbita intorno alla galassia, le stelle hanno moti propri di mutua interazione con le stelle vicine. Pertanto il nostro sistema solare non si propaga insieme a tale fondo. La terra orbitando intorno al sole in alcuni periodi dell'anno si



troverebbe controcorrente al fondo dei neutralini, mentre 6 mesi dopo li inseguirebbe. Tale stagionalità diviene quindi un banco di prova della loro osservazione. Benché siano debolmente interagenti, in qualche modo, qualche interazione oggi riusciamo pur a rilevarla. Nel mondo vi sono diversi esperimenti, come per esempio quello italo-cinese, DAMA Acronimo di DArk Matter. L'esperimento è diretto da Rita Bernabei dell'università di Roma, di Tor vergata, presso i laboratori del Gran Sasso, protetti da 1400 metri di roccia. Il metodo per osservare i neutralini si basa su di un rivelatore costituito da 9 cristalli di NaI (Ioduro di sodio), ognuno dei quali pesa 9,7 Kg situati all'interno di un contenitore di rame. Il meccanismo di rilevazione si basa, non sulle interazioni fra le varie forze della natura, ma su di un ipotetico urto meccanico con altre particelle. Un atomo del rivelatore, a causa dell'energia cinetica impressa dall'urto, provoca la sua ionizzazione. Questa ionizzazione provoca un'emissione di un'onda elettromagnetica, e quindi un'emissione di un fotone. Ogni volta che un Neutralino interagisce con uno dei cristalli, un lampo di luce viene emesso e contato. A causa della radioattività naturale delle rocce che sovrastano per 1 Km il rivelatore e sotto il rivelatore, il rumore di fondo, ossia i segnali spuri che arrivano al rivelatore sono assai numerosi. In tali condizioni sono riusciti comunque ad evidenziare, in 4 anni di osservazioni, un migliaio di eventi significativi imputabili alla particella neutralino. A conferma dell'effettiva osservazione è stata effettivamente osservata una stagionalità con un picco max a giugno ed uno minimo a Dicembre. Questi mesi, confermano la giusta direzione di rotazione intorno al centro galattico dell'ipotetico fondo. Tale ricerca è recente, e il primo annuncio dei risultati dell'esperimento DAMA è stato dato nel 2000, pertanto si prevede nei prossimi anni un incremento del campione statistico per ottenere qualche informazione più dettagliata di tale particella. Dai vari esperimenti ci aspettiamo di sapere l'effettiva massa e l'esatta densità, quantificando così la sua parte come candidato alla M.O.. La sua osservazione ha aperto una nuova strada nell'osservazione dell'universo, ha introdotto nuove tecniche per osservare il cosmo.



Energia Oscura

Valutazioni della materia barionica e oscura fanno pensare che insieme non raggiungano più di $1/3$ della densità critica. In questo caso l'universo sarebbe in continua espansione e lo spazio iperbolico. Ma le misure sulla radiazione di fondo cosmico hanno dimostrato che lo spazio è piatto e che quindi l'universo deve possedere la densità critica. Pertanto rimane da spiegare i $2/3$ di materia mancante. Qualunque cosa sia non deve né emettere né assorbire luce, altrimenti sarebbe stata scoperta da tempo. Recentemente ha fatto il suo ingresso una spiegazione basata non sulla materia ma sull'energia, che comunque per il principio dell'equivalenza di Einstein sono la stessa cosa. Si ritiene che questo fenomeno sia ascrivibile all'energia del vuoto. Nella fisica moderna, il vuoto possiede un ruolo determinante nella meccanica quantistica. Grazie al principio di indeterminazione di Heisenberg, appaiono e scompaiono coppie di particelle-antiparticelle virtuali, ma che hanno effetti riscontrabili. E' grazie a loro, infatti, che il vuoto può avere una densità di energia non nulla ed esercitare un effetto di pressione sulla materia ordinaria.



I CANDIDATI

I candidati alla M.O. sono tanti, raggruppandoli per tipologie di materia, si trovano molti articoli che presentano stime non sempre in accordo. Di seguito un esempio, di come ancora non vi sia chiarezza:

| Massa | | | | Sonda Galileo | Paolo de Bernardis | Harvey Richer | Ostriker Steinhardt | Rubbia | Cappi |
|-----------------------|---|--------------------------|--------------|---------------|--------------------|---------------|---------------------|--------|--------|
| | Radiazione | Fotoni | | | | | 0,005 % | | |
| | Materia Ordinaria visibile | | | | | | 0,5 % | 5 % | 0,5 % |
| Materia oscura | Materia Ordinaria Non Visibile (Barioni) | H, He | gas | | | | | | 4 % |
| | | Atomi pesanti | Elementi | | | | | | 0,03 % |
| | | Macho | Nane bianche | > 33 % | > 30 % | 90 % | 3,5 % | | |
| | | | Nane Brune | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | Stelle Inter Gal. | | | | | | | |
| | | Neutrini | | | | | | | 0,3 % |
| | Wimp | Neutralini | | > 66 % | | | 26 % | 95 % | 30 % |
| | | Fotini | | | | | | | |
| | | Assioni | | | | | | | |
| | | Altri | | | | | | | |
| | Energia Oscura | Energia del vuoto | | | > 65 % | | 70 % | | 65 % |

L'ultima colonna rappresenta la convinzione al momento più accreditata e dove più previsioni sono in accordo. Le particelle candidate alla M.O. sono molte di più di quelle inserite in questa relazione, ma ad oggi oltre alla loro teorizzazione non sono supportate da prove di osservazione. L'argomento della M.O. sta uscendo dalla sua infanzia, i preliminari sono ormai dettati, e nel giro di qualche decennio, grazie all'evoluzione tecnologica e all'introduzione di tecniche nuove d'osservazione, le varie stime dovrebbero cominciare a convergere su numeri sempre più coincidenti. Non ci resta che aspettare di poter svelare sempre più particolari di questo immenso e sconosciuto universo che ci ospita. Sicuramente non potremmo mai essere certi di come sia regolato e composto, ma ogni anno che passa, la nostra finestra percettiva si apre sempre più, facendo passare una luce più intensa sui vari segreti della natura.